

**Betriebliche Maßnahmen zur Optimierung der  
Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken und zur Erhöhung  
der Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs  
in China**

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

-Dr.-Ing.-

genehmigte Dissertation

von

M. Sc. Lei Shi

geboren am 01.11.1979 in Wuhan, V. R. China

Hannover 2011

Referenten: Prof. Dr.-Ing. Thomas Siefer

Prof. Dr.-Ing. Jörn Pacht

Tag der Promotion 26.09.2011

## **Danksagung**

Mit der Fertigung dieser Dissertation ist es an der Zeit, nochmals denjenigen zu danken, die mich begleitet und unterstützt haben. Bedanken möchte ich mich für den Zuspruch von meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Thomas Siefer, denn Sie brachten mir sehr viel Geduld entgegen und sorgten mit wertvollen Ratschlägen für das Gelingen der Arbeit, ohne Ihre Begleitung ich niemals ein Licht am Ende dieser Dissertation gesehen hätte. Für die bereitwillige Übernahme des Zweitgutachtens bedanke ich mich herzlich bei Herren Prof. Dr. Jörn Pahl. Herrn Prof. Dr. Jürgen Hothan und Herrn PD. Dr. Alfons Radtke danke ich für die Mitwirkung an der Disputation.

Ein großer Dank gilt meinen Kollegen für die schöne Zeit am Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb, Universität Hannover, die Zusammenarbeit mit Ihnen war ein Meilenstein bei der Erstellung meiner Doktorarbeit. Mein Dank gilt auch meinen Freunden, die mich nicht nur tatkräftig unterstützt haben, sondern mich stets aufbauten. Besonderer Dank gilt Herrn Detlef Frohse und Frau Claudia Sander für die übernommenen Korrekturarbeiten.

Bedanken möchte ich mich des Weiteren bei meiner Familie, ohne die mein Studium und meine Doktorarbeit niemals möglich geworden wären. Ein besonders herzlicher Dank geht an meine Frau Lei Zhang, der ich diese Arbeit widmen möchte. Deine umfassende Unterstützung in jeglicher Hinsicht erleichterte mir den nicht immer einfachen Weg in Deutschland.

Hannover 26.09.2011

Lei Shi



## Vorwort

Aufgrund der raschen Entwicklung der Wirtschaft in den letzten Jahrzehnten hat sich die Nachfrage am Verkehrsmarkt in China erheblich erhöht. Die Eisenbahn, die einen niedrigen Energieverbrauch und große Beförderungskapazität im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern hat, wurde von dem chinesischen Eisenbahnministerium beziehungsweise der chinesischen Regierung tatkräftig entwickelt.

Obwohl das Eisenbahnministerium die Unsummen für die Entwicklung der Eisenbahn investiert, sind die Bahnkunden zurzeit wegen der geringen Angebote, der langsamen Reisegeschwindigkeit und der wiederholten Erhöhung des Fahrpreises noch nicht zufrieden. Die Logistik und die Passagiere haben eine große Nachfrage nach einem verbesserten Eisenbahnnetz, dafür wurde das Ausmaß des chinesischen Eisenbahnnetzes in den vergangenen Jahren anhaltend weiter ausgebaut und die moderne Infrastruktur, z. B. Triebzüge, von den weltführenden Herstellern in China importiert. Die zahlreichen Bauprojekte und Importe der Technik haben einerseits das gesamte Leistungsvermögen bzw. die Kapazität der chinesischen Bahn erhöht, andererseits haben die Investitionen den hohen Schuldenberg des chinesischen Eisenbahnministeriums und Erhöhung des Fahrpreises direkt verursacht. Die baulichen Maßnahmen zur Erweiterung des Eisenbahnnetzes sind immer mit großem zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden.

Während der sprunghaften Entwicklung des Bahnwesens in China stellt sich die Frage, ob die bauliche Maßnahme die einzige Lösung zur Verbesserung des chinesischen Bahnbetriebs ist. Zur Beantwortung dieser Frage muss man andere mögliche Lösungen durch eine Analyse des Bahnbetriebszustandes und Überprüfung der einschlägigen Richtlinien sowie Ordnungen suchen.

In der vorliegenden Arbeit werden der Betriebszustand und die Probleme in der chinesischen Eisenbahn analysiert, danach werden die passenden betrieblichen Maßnahmen entwickelt wurden, mit den man die Probleme lösen kann. Durch die Anwendung der entwickelten Maßnahmen und anschließend Bewertung ihrer Auswirkungen auf einer Untersuchungsstrecke mithilfe der Simulationssoftware RailSys<sup>®</sup> wird nachgewiesen, dass durch die betrieblichen Maßnahmen die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken optimiert und die Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs erhöht werden kann.

Der praktische Wert dieser Arbeit wird dadurch unterstrichen, dass das chinesische Eisenbahnministerium seinen Schwerpunkt nicht nur auf die Modernisierung der Infrastruktur, sondern auch auf das „Update“ der Theorien, die der modernen Technik

entsprechen sollen, legen muss. Damit können die Bahnstrecken in China optimal und effizient ausgenutzt werden und der Bahnbetrieb ohne große infrastrukturelle Investitionen verbessert werden.

Hannover, im Sept. 2011

# Kurzfassung

Lei Shi

## **Betriebliche Maßnahmen zur Optimierung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken und zur Erhöhung der Reisegeschwindigkeit des Personenschienenverkehrs in China**

Stichwörter: **Eisenbahnbetrieb, Leistungsfähigkeit, Reisegeschwindigkeit**

Die Wirtschaft in China entwickelte sich rasant und die Nachfrage im Personen- und Güterschienenverkehr konnte nicht abgedeckt werden. Das Schienennetz, das durch die chinesischen bahnbetrieblichen Theorien als „vollbelastet“ beurteilt wurde, kann jedoch keine hundertprozentig zufriedenstellenden Angebote anbieten.

Als Betreiber der gesamten Eisenbahninfrastruktur hat das MOR (Ministry of Railways) in den letzten Jahren Unsummen für die weitere Entwicklung der Eisenbahn in China investiert. Die zahlreichen Bauprojekte und die Importe der Produkte von den weltführenden Herstellern einerseits haben das Leistungsvermögen des Bahnnetzes erhöht und andererseits einen hohen Schuldenberg von MOR verursacht.

Die Modernisierung der Infrastruktur ist jedoch nicht die einzige Lösung zur Verbesserung des chinesischen Eisenbahnbetriebs. In der Arbeit wurden betriebliche Maßnahmen entwickelt, wodurch die Bahnstrecken optimiert belastet und die Erhöhung der Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs verwirklicht werden können. Mithilfe der synchronen Simulation können die entwickelten Maßnahmen anschließend im Betrieb simuliert und die erzeugten Auswirkungen überprüft werden.

Die vorliegende Arbeit hat nachgewiesen, dass die meisten Bahnstrecken in China nicht wirklich „vollbelastet“ sind, ihre Leistungsfähigkeit kann durch ein „Update“ der bahnbetrieblichen Theorien erneut untersucht und berechnet werden. Das Forschungsergebnis fasst den Vorschlag für MOR zusammen, dass die Entwicklung der bahnbetrieblichen Theorien nicht vernachlässigt werden darf, weil die Lösung der auftretenden Probleme im Bahnbetrieb mit betrieblichen Methoden aus wirtschaftlicher Sicht vorrangig gegenüber der Entscheidung für die Investitionen in die Infrastruktur in der Praxis ist.

# Abstract

Lei Shi

**Operational measures to improve the performance of the railway tracks and to increase the cruising speed of passenger train in China**

Keywords: **Railway operations, performance, cruising speed**

The rapidly development of the economy in China and the demand for both rail passenger traffic and rail freight traffic could not be satisfied. The network of railway, which is assessed by the Chinese railway-operational theories as "fully loaded", however can't provide 100 % satisfying services.

The operator of rail infrastructure, the MOR (Ministry of Railways) invested in recent years enormous sums for the further development of railways in China. On one hand the many construction projects and imports of products from the world's leading manufacturer have increased the capacity of the network, but on the other hand caused high debt of MOR.

The modernization of the infrastructure is not the only solution to improve the operation of Chinese railway. In the dissertation operational measures have been developed, thereby the railway can be loaded optimized and the increasing of the travel speed of passenger transport can be achieved. Then, using the synchronous simulation, the developed measures can be simulated and their effects can be verified.

The present research has shown that most railways in China are not really "fully loaded", their performance can be calculated and reconfirmed because of the "update" of railway-operational theories. The dissertation results summarized the proposal for MOR, that the development of the railway-operational theories can't be neglected, because in practice the operational solution comparing to the other solution can more economical Advantages achieved.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN DES EISENBAHNWESENS IN CHINA .....</b>	<b>4</b>
2.1	GESCHICHTE DER ENTWICKLUNG DER CHINESISCHEN EISENBAHN.....	4
2.2	ORGANISATION DES MOR.....	6
2.3	SIGNAL UND SICHERUNGSSYSTEM IN CHINA.....	8
2.4	KLASSIFIZIERUNG DER FAHRZEUGE UND BAHNSTRECKEN .....	12
2.5	STATISTIK DER BETRIEBSLEISTUNGEN UND KENNZAHLEN DER CHINESISCHEN BAHN.....	15
<b>3</b>	<b>FAHRPLAN.....</b>	<b>17</b>
3.1	KOMPONENTEN DES FAHRPLANS .....	18
3.2	KONSTRUKTION DES FAHRPLANS.....	22
3.3	DISPOSITION DES FAHRPLANS .....	28
<b>4</b>	<b>LEISTUNGSFÄHIGKEIT UND BETRIEBSQUALITÄT .....</b>	<b>33</b>
4.1	DEFINITIONEN.....	33
4.2	CHINA .....	34
4.3	DEUTSCHLAND .....	46
<b>5</b>	<b>DER BETRIEBSZUSTAND DES SCHIENENPERSONENVERKEHRS IN CHINA.....</b>	<b>53</b>
5.1	ANALYSE DES FAHRPLANS VON SCHIENENPERSONENVERKEHR.....	54
5.2	ANALYSE DES BETRIEBSZUSTANDES DES PERSONENVERKEHRS.....	61
5.3	ZUGFOLGEZEIT IM CHINESISCHEN BAHNBETRIEB .....	62
5.4	REISEGESCHWINDIGKEIT IM CHINESISCHEN BAHNBETRIEB .....	64
5.5	ZUSAMMENFASSUNG.....	84
<b>6</b>	<b>ENTWICKLUNG DER MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DES BAHNBETRIEBS..</b>	<b>86</b>
6.1	„RAPID DEVELOPMENT“-STRATEGIEN .....	86
6.2	MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DES BAHNBETRIEBES.....	89
6.3	STANDARDISIERUNG DER BAHNSTRECKEN UND BESTIMMUNG DER DARAUF ZULÄSSIGEN ZUGKOMBINATIONEN.....	90
6.4	OPTIMIERUNG DER FAHRPLANKONSTRUKTION IM PERSONENVERKEHR .....	98
6.5	NEUE BERECHNUNG DER ZUGFOLGEZEIT.....	110
6.6	NEUE BERECHNUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER BAHNSTRECKE FÜR CHINA.....	127
6.7	REFORM UND REORGANISATION VON VERWALTUNG UND BETRIEB DER CHINESISCHEN BAHN .....	132
<b>7</b>	<b>ANWENDUNG DER ENTWICKELTEN MAßNAHMEN AUF DER UNTERSUCHUNGSSTRECKE .....</b>	<b>134</b>
7.1	DARSTELLUNG DER VERSUCHSSTRECKE.....	134

---

7.2	SIMULATIONSMODELL.....	137
7.3	ANALYSE UND BEWERTUNG DES IST-FAHRPLANES.....	140
7.4	VERBESSERUNGSKONZEPT.....	146
7.5	ÜBERPRÜFUNG DER DURCHFÜHRBARKEIT DES VERBESSERUNGSKONZEPTS MIT BETRIEBSSIMULATION .....	153
7.6	FAZIT .....	156
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>158</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>161</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>166</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Abteilungen der Regionaldirektion .....	7
Abbildung 2-2	Drei-Aspekt-Signalisierung .....	9
Abbildung 2-3	Vier-Aspekt-Signalisierung mit abgestuftem Bremsweg .....	10
Abbildung 3-1	Anforderungen an den Fahrplan .....	17
Abbildung 3-2	Sperrzeitentreppe und Sperrzeit eines einzelnen Blockabschnitts .....	18
Abbildung 3-3	stehender Bildfahrplan .....	18
Abbildung 3-4	Phasen einer Zugfahrt .....	19
Abbildung 3-5	Haltezeit bei Kombination von Betriebs- und Verkehrshalten [Pac08] .....	20
Abbildung 3-6	Zeitanteile eines Verkehrshalts im Personenverkehr [Pac08] .....	20
Abbildung 3-7	Einteilung der auf die Fahrzeitmesspunkte der Betriebsstellen bezogenen Zugfolgezeiten [Pac08] .....	21
Abbildung 3-8	Prozess des Fahrplan-Entwurfs in China .....	23
Abbildung 3-9	Der Prozess der Netzfahrplanerstellung (X= Beginn der Netzfahrplanwechsel) (Quelle: DB AG) .....	26
Abbildung 3-10	Entscheidungsverfahren bei Trassenkonflikten im Rahmen der Netzfahrplanerstellung (Quelle: DB Netz AG) .....	26
Abbildung 3-11	TDCS System (eigene Darstellung) .....	30
Abbildung 3-12	NLZ und BZ in Deutschland .....	31
Abbildung 4-1	allgemeine Wirkungsgefüge .....	33
Abbildung 4-2	unterschiedliche Gestaltungen der Zykluseinheit und Zykluszeit $T_T$ .....	35
Abbildung 4-3	die Anteile der Belegungszeit eines Taktes $T_T$ .....	37
Abbildung 4-4	grafische Methode .....	38
Abbildung 4-5	Einlegen eines Schnell-Reisezugs im Fahrplan .....	41
Abbildung 4-6	Langsam-Reisezüge ohne Überholen im Fahrplan .....	44
Abbildung 4-7	Wartezeitfunktion .....	47
Abbildung 4-8	Wartezeitfunktion in der Fahrplanerstellung und Betriebsabwicklung .....	48
Abbildung 4-9	Verfahren für Leistungsfähigkeitsuntersuchungen .....	49
Abbildung 4-10	Ablauf einer analytischen Leistungsfähigkeitsuntersuchung [Pac08] .....	50
Abbildung 4-11	Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit durch Simulation einer unbeschränkten Leistungsanforderung am Eingang des Systems .....	51
Abbildung 5-1	Vergleiche der beförderten Personen und Güter zwischen Jahr 1978 und Jahr 2008 .....	53
Abbildung 5-2	Darstellung der 1.649 Fahrtrelationen mit Datenpunktdiagramm .....	54
Abbildung 5-3	mögliche Zeitscheibe für die Abfahrt und Ankunft nach Angebotsstrategien ..	59
Abbildung 5-4	Fahrtablauf und Weg-Zeit-Diagramm .....	67
Abbildung 5-5	Komponente der Haltezeit $\overline{t_H}$ .....	68
Abbildung 5-6	Kurven von $f_R$ .....	69
Abbildung 5-7	Verhältnisse zwischen der Anzahl der Halte $N$ , $V_F$ und $f_R$ .....	70

Abbildung 5-8	durchschnittliche Distanz der Halte $\overline{L_H^{j,j+1}}$ und Abhängigkeit von $f_R$ .....	71
Abbildung 5-9	Zunahme der Reisezeit in Prozent .....	72
Abbildung 5-10	Verzahnung zwischen $f_R$ und Haltestelle .....	73
Abbildung 5-11	Lösung der Konflikte auf freier Strecke .....	77
Abbildung 5-12	Zeitverlust von Modellzug L .....	80
Abbildung 5-13	komplette Durchführung einer Überholung .....	81
Abbildung 5-14	Haltezeit für kombinierte Halte und Betriebshalte.....	82
Abbildung 6-1	Beeinflussungsparameter für die Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes ...	86
Abbildung 6-2	„Rapid Development“-Strategien .....	87
Abbildung 6-3	Abteilung „Fahrplankonstruktion“ zwischen MOR und Regionaldirektion ....	101
Abbildung 6-4	Mindestzugfolgezeiten in einem Streckenabschnitt [Pac08] .....	111
Abbildung 6-5	Zugsperrzeit $t_{zj,aus}$ .....	113
Abbildung 6-6	Zugsperrzeit $t_{zj,str}$ .....	113
Abbildung 6-7	Zugsperrzeit $t_{zj,ein}$ .....	114
Abbildung 6-8	Zugsperrzeit $t_{zj,dur}$ .....	114
Abbildung 6-9	erforderliche Zugfolgezeiten in einem Streckenabschnitt .....	115
Abbildung 6-10	Unterschied zwischen zwei Berechnungen der Vorbereitungszeit zur Ermittlung der Mindestzugfolgezeit .....	119
Abbildung 6-11	Zielsetzungen für die Optimierung der Signalisierung .....	123
Abbildung 6-12	Ermittlungsprozess im Flussdiagramm .....	126
Abbildung 7-1	Aufriss der Strecke „Hu-Ning-Abschnitt“ und Darstellung der Lage auf Google Earth© .....	135
Abbildung 7-2	ein CRH fährt auf der Bahnstrecke „Hu-Ning-Abschnitt“ (Quelle: Xinhua News Agency).....	136
Abbildung 7-3	Betriebsprogramm IST-Zustand.....	141
Abbildung 7-4	Belastung der Untersuchungsstrecke.....	141
Abbildung 7-5	zweistündlicher Takt in der Entwurfsvariante .....	150
Abbildung 7-6	Betriebsprogramm Entwurfsvariante .....	152

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Vergleich Vier-Aspekt-Signalisierung und Drei-Aspekt-Signalisierung .....	10
Tabelle 2-2	Regel der Nummerierung der Reisezüge mit 4-stelligen Nummer .....	13
Tabelle 2-3	Regel der Nummerierung der Reisezüge mit Buchstabe.....	13
Tabelle 2-4	Modellierung der Züge .....	14
Tabelle 2-5	Streckenklasse und zulässige Leitgeschwindigkeit des Personenverkehrs .....	15
Tabelle 4-1	Empfehlungswert von Abzugsfaktoren.....	42
Tabelle 4-2	Empfehlungswert $\alpha$ .....	43
Tabelle 4-3	Empfehlungswert $\beta$ .....	45
Tabelle 4-4	empirischer Wert des Abzugsfaktors .....	45
Tabelle 4-5	Abzugsfaktor eines Reisezugs auf zweigleisiger Strecke mit Drei-Aspekt-Signalisierung [Mtn90].....	46
Tabelle 4-6	Gegenüberstellung synchrone und asynchrone Simulation [Mat98].....	51
Tabelle 4-7	Auswahl geeigneter Untersuchungsverfahren [Pac08].....	52
Tabelle 5-1	Annäherungsverhältnisse zwischen Reisezeit und Reisedistanz .....	55
Tabelle 5-2	statistische Aufteilung der Reisezüge nach Reiseweite und Reisedauer .....	55
Tabelle 5-3	Angebotsstrategien des Personenfernverkehrs .....	57
Tabelle 5-4	Festlegung der Zeitscheibe mit traditionellem Verfahren.....	59
Tabelle 5-5	Berechnungsbeispiel für die Zugfolgezeit .....	64
Tabelle 5-6	Vergleich der Modellzüge und vorgeschlagene Haltestellenabstände der Modellzüge .....	74
Tabelle 5-7	berechneter Haltestellenabstand ohne Berücksichtigung der Betriebshalte .....	75
Tabelle 5-8	ideale Reisegeschwindigkeit mit angepasstem Haltestellenabstand je nach Modellzug .....	76
Tabelle 5-9	Vier verschiedene Überholungsmöglichkeiten .....	78
Tabelle 5-10	Ermittlung der Anzahl der Überholungen wegen kombinierter Zwischenhalte ...	82
Tabelle 5-11	Ermittlung der Anzahl der Überholungen wegen der separat auftretenden Betriebshalte.....	82
Tabelle 5-12	Modellzug und entsprechende Reisegeschwindigkeit .....	84
Tabelle 6-1	Übersicht der Hochgeschwindigkeitszüge in China .....	88
Tabelle 6-2	Aufteilung der Netzlänge auf die Streckenstandards (Stand 2002) [Sie04].....	93
Tabelle 6-3	Zusammenstellung der Streckenstandards nach Richtlinie 413 [DBA00] .....	94
Tabelle 6-4	Zugklassen und ihre Geschwindigkeit.....	96
Tabelle 6-5	Anordnung der Streckenstandards und dazu erlaubte Zugkombinationen.....	97
Tabelle 6-6	Matrix zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten der Zugfolgefälle.....	130
Tabelle 7-1	Kilometrierung der Betriebsstellen entlang der Untersuchungsstrecke .....	138
Tabelle 7-2	betriebliche Merkmale der Modellzüge .....	142
Tabelle 7-3	Anzahl der Züge auf dem Untersuchungsabschnitt .....	142
Tabelle 7-4	Modellierung der Züge im IST-Fahrplan 24 h .....	144

---

<i>Tabelle 7-5</i>	<i>Prognostizierte regionale Nachfrage im Bahnverkehr zwischen den Städten in YRD .....</i>	<i>146</i>
<i>Tabelle 7-6</i>	<i>die Anzahl der erforderlichen Züge zwischen den Städten in YRD .....</i>	<i>147</i>
<i>Tabelle 7-7</i>	<i>Ordnung der Halteregelel .....</i>	<i>148</i>
<i>Tabelle 7-8</i>	<i>die Priorität und die gewünschte Reisegeschwindigkeit des Modellzuges im Takt .....</i>	<i>149</i>
<i>Tabelle 7-9</i>	<i>Vergleich IST-Fahrplan und Entwurfsvariante.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabelle 7-10</i>	<i>Berechnung des Kapazitätsverbrauchs jedes Streckenabschnittes .....</i>	<i>153</i>
<i>Tabelle 7-11</i>	<i>Urverspätungen als Haltezeitverlängerung [Deu92].....</i>	<i>154</i>
<i>Tabelle 7-12</i>	<i>Einbruchsverspätungen im Untersuchungsbereich [Deu92] .....</i>	<i>154</i>
<i>Tabelle 7-13</i>	<i>Wahrscheinlichkeit der Urverspätungen und Einbruchsverspätungen.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabelle 7-14</i>	<i>Vergleiche der Pünktlichkeit der Personenzüge.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabelle 7-15</i>	<i>Mittelwert der Verspätung für die Relation HBF Nanjing- HBF Shanghai.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabelle 7-16</i>	<i>Vergleich der Streckenbelastung in „IST“ und „Entwurf“ .....</i>	<i>156</i>
<i>Tabelle 7-17</i>	<i>Vorschläge der Standardisierung des Streckenstandards M160 .....</i>	<i>157</i>

## Anhangverzeichnis

A.	<i>Organisation des MOR und China Railway</i> .....	166
B.	<i>Detaillierte Klassifizierung der Züge in China</i> .....	169
C.	<i>Hochgeschwindigkeitsstrecken in China</i> .....	171
D.	<i>Betriebliche Kennzahlen der chinesischen Bahn</i> .....	172
E.	<i>Berechnungsbeispiel der Streckenauslastung mit Abzugsfaktor</i> .....	176
F.	<i>Die Schritte der Leistungsfähigkeitsuntersuchung mit analytischen Verfahren in Deutschland</i> .....	178
G.	<i>Verteilungsdiagramm des Schienenpersonenverkehrs in China</i> .....	182
H.	<i>Zeitverlust jedes Modellzuges je 100 km</i> .....	186
I.	<i>Berechnungsbeispiel der Signalisierung bzw. Aufteilung der Blocklänge</i> .....	188
J.	<i>Untersuchungsstrecke im Railsys<sup>®</sup>-Modell</i> .....	193

## Abkürzungen

∅	Durchschnittlich
Abb.	Abbildung
Abs.	Abschnitt
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AG	Aktiengesellschaft
Bez.	Bezeichnung
Bf.	Bahnhof
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BLST	Betriebsleitstellen
Bs.	Betriebsstelle
BZ	Betriebszentrale
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
CARS	China Academy Railway Science
CABS	Die chinesischen ausgebauten Bahnstrecken
CBBS	Die chinesischen bestehenden Bahnstrecken
CHGS	Die chinesischen Hochgeschwindigkeitsstrecken
CNBS	Die chinesischen neu gebauten Bahnstrecken
CNY	Die Währung der Volksrepublik China
CR	China Railway
CRH	China Railway Highspeed
CTCS	Chinese Train Control System
DB	Deutsche Bahn
D. h.	Das heißt
DMI	Führerstandsanzeige
DMIS	Dispatch Management Information System
DRC	Development Research Center of the State
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
Eva	Eisenbahnverwaltungsamt
EVC	CTCS-Rechner
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FRz	Fernreisezug
GB	China national Standards
Ggf.	Gegebenenfalls
GV	Güterverkehr
HBF	Hauptbahnhof
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
Inc.	Aktiengesellschaft
inkl.	Inklusiv
ITF	Integraler Taktfahrplan
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
Ltd.	Limited Company

---

max.	maximal
min.	minimal
Mio.	Million
MOR	Chinesisches Ministerium für Eisenbahnwesen
Mrd.	Milliarde
NLZ	Netzeitzentrale
NRz	Nahreisezug
ÖzF	Örtlich zuständiger Fahrdienstleiter
PDL	High-speed passenger designated line
PBF	Personenbahnhof
PV	Personenverkehr
RBC	Radio Block Centre
RBF	Rangierbahnhof
Rv	Reisegeschwindigkeit
Rz	Reisezug
S	Strecke
s.	sieht
SGV	Schienengüterverkehr
SPV	Schienenpersonenverkehr
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
Std.	Stunde
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TDCS	Train operation Dispatching Command System
u. a.	unter anderem
V	Geschwindigkeit
Var.	Variante
V. R. China	Volksrepublik China
VzG	Verzeichnis örtlich zulässiger Geschwindigkeiten
W.Rv.	Gewünschte Reisegeschwindigkeit
YRD	Jangtse River Delta wirtschaftlicher Kreis
z. B.	Zum Beispiel
zul.	Zulässig



# 1 Einleitung

Schienenbahnen haben aufgrund der geringen Rollreibung zwischen Stahlrad und Stahlschiene und dem hieraus resultierenden niedrigen Energieverbrauch einen Systemvorteil gegenüber anderen Verkehrsträgern. Die zunehmende Forderung nach einer möglichst umwelt- und ressourcenschonenden Abwicklung des Verkehrs hat in den letzten Jahren zu einer Renaissance der Schiene als umweltfreundlichem Verkehrsträger geführt.

Die Aufnahme von Mengen an Reisenden und Gütern kann vom bestehenden Schienennetz aber nur begrenzt bewerkstelligt werden, da die Leistungsfähigkeit einer Bahnstrecke durch die bestehende Infrastruktur der Bahnstrecke, die technischen Ausrüstungen der Eisenbahnfahrzeuge, die Zugmischung und die Fahrbetriebsprogramme beschränkt ist. Jede Eisenbahnstrecke kann nur von einer bestimmten Anzahl von Zügen befahren werden und die Züge können wiederum nur eine bestimmte Zahl von Reisenden und Gütern aufnehmen. Für den Betrieb der Eisenbahninfrastruktur mit hoher Leistungsfähigkeit sind die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und das Eisenbahnverwaltungsamt (Eva) verantwortlich. Das Ziel von EIU bzw. Eva ist sehr deutlich, alle Strecken möglichst wirtschaftlich ausnutzen zu können.

Da die Investition in Eisenbahninfrastruktur zur weiteren Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke immer mit großem zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden ist, ist die optimierte Ausnutzung der Kapazität der Bahnstrecke durch betriebliche Maßnahmen, z. B. Verkürzung der Zugfolgezeit, optimaler Koordination und Harmonisierung des Verkehrs (Personenverkehr; Güterverkehr) aus wirtschaftlicher Sicht vorrangiger als die Entscheidung der baulichen Maßnahmen.

In der V. R. China, die in den letzten zehn Jahren die am schnellsten wachsende Volkswirtschaft in der Welt hat, hat die bestehende Verkehrsinfrastruktur im Schienenwesen das Wachstum der Wirtschaft beeinträchtigt. Ein modernes Eisenbahnnetz wird von der chinesischen Regierung als ein wichtiger Faktor für die weitere Entwicklung gesehen, die Logistik und die Reisenden schaffen auch eine große Nachfrage nach einem verbesserten Eisenbahnnetz. Das bestehende „vollbelastete“ Eisenbahnnetz in China kann momentan keine hundertprozentig zufriedenstellenden Angebote anbieten, denn die wesentlichen Ursachen dafür sind in zwei Aspekten zu sehen:

Zum einen ist die Länge und Dichte des chinesischen Eisenbahnnetzes für das riesige Land nicht passend. Im Vergleich zwischen Deutschland und China ist das Ausmaß des Bahnnetzes in China kleiner, weil die durchschnittliche Länge der Eisenbahnstrecke nur ca. 0,06 [m/Person] und 8,24 [m/km<sup>2</sup>] in China beträgt und 0,51 [m/Person] und 115,65 [m/km<sup>2</sup>] in Deutschland ist (Stand: Ende 2008). Aus diesem Grund gibt es besondere Schwierigkeiten beim Entwurf des Fahrplans, um der Nachfragen des Güterverkehrs und Personenverkehrs gerecht zu werden.

Zum anderen sind die theoretischen Grundlagen der Wissenschaft des Eisenbahnbetriebs in China noch rückständig, viele Richtlinien wurden lange Zeit nicht überarbeitet und entsprechen deshalb nicht mehr den neuen modernen Techniken und der Infrastruktur. Das Resultat ist, dass die meisten Eisenbahnstrecken in China nicht optimal und effizient ausgenutzt wurden.

Als Betreiber der gesamten Eisenbahninfrastrukturen ist das chinesische Eisenbahnverwaltungsamt „Ministry of Railways“ (MOR, das chinesische Eisenbahnministerium) gleichzeitig auch ein Eisenbahnverkehrsunternehmen. Laut der Entwicklungsstrategien des „Elften Fünfjahrplans“ sind folgende Schwerpunkte für die Aufgaben zwischen 2006 und 2010 aufgeführt:

1. Neu- und Umbau der Eisenbahnstrecken und Ausbreitung des Eisenbahnnetzes
2. Förderung der Anwendung der modernen Techniken und Infrastrukturen
3. Gewährleistung der Sicherheit des Eisenbahnbetriebs
4. Verbesserung der Servicequalität
5. Fortsetzung der internen Bahnreform
6. Ständige Investition der Weiterbildung der Mitarbeiter

Von der Entwicklungsstrategien des MOR kann man sehen, dass das MOR die Schwierigkeit der chinesischen Bahn erkannte und durch bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazität seines Eisenbahnnetzes angewendet hat, damit können die Anzahl der beförderbaren Personen und Güter erheblich erhöht werden. Im Jahre 2004 hat der Staatsrat der V. R. China den Beschluss „Mittel- und langfristige Planung des Eisenbahnnetzes“ gefasst und 2008 erneuert. Das Ziel der Planung ist, ein optimal angeordnetes, effizientes und leistungsfähiges Netz zu gründen. In 2020 soll eine Gesamtlänge der Eisenbahnstrecke in China über 120.000 km im Betrieb sein, davon 14.000 km Hochgeschwindigkeitsstrecken und 41.000 km Neubaustrecken. Das MOR würde in der Zukunft den Güter- und Personenverkehr auf den Hauptkorridoren

trennen, die Verkehrsleistung und die Beförderungen per Bahn könnten zufriedenstellend sein.

Die Erweiterung des Eisenbahnnetzes durch den Neubau der Eisenbahnstrecken kann natürlich die Erhöhung des Leistungsvermögens des Bahnsystems erfolgen, allerdings ist die Leistungsfähigkeit der bestehenden Bahnstrecken in China nicht optimal ausgenutzt, die vollständige Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke kann durch die Anwendung der modernen eisenbahnbetrieblichen Maßnahmen realisiert werden.

Das Ziel dieser vorliegenden Arbeit ist es, durch die Anwendung der neuen Eisenbahnbetriebswissenschaft den Betriebszustand der chinesischen Eisenbahn zu verbessern. Dabei sollen durch Bewertung, Vergleich und Analyse der Betriebsverfahren in China und Deutschland die betrieblichen Maßnahmen zur Optimierung der Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes und zur Erhöhung der Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs in China entwickelt werden. Mithilfe der synchronen Simulation können die betrieblichen Maßnahmen im Betrieb angewendet und die erzeugten Auswirkungen überprüft werden.

Zunächst werden die Grundstrukturen der chinesischen Eisenbahn, die Organisation des MOR, die Richtlinien bzw. die Ordnungen und der Betriebszustand der Eisenbahn usw. dargestellt, danach werden die Probleme analysiert und die betrieblichen Maßnahmen entwickelt, anschließend werden die entwickelten Maßnahmen auf einer bestehenden Eisenbahnstrecke angewendet. Schließlich werden die Auswirkungen der Maßnahmen durch Betriebssimulation in RailSys<sup>®</sup> bewertet und gut nachgewiesen, dass der Betriebszustand der chinesischen Eisenbahn durch betriebliche Maßnahmen erheblich verbessert werden kann.

## **2 Grundlagen des Eisenbahnwesens in China**

### **2.1 Geschichte der Entwicklung der chinesischen Eisenbahn**

#### ***Frühe Bemühungen***

Im Jahre 1865 hat ein englischer Kaufmann eine kurze Bahnstrecke mit einer Länge 0,5 km außerhalb des Stadttors „Xuan Wu“ der Kaiserstadt Peking gebaut. Das Ziel war eine Darstellung der Vorteile der Eisenbahn. Die Regierung in der „Verbotenen Stadt“ beurteilte die Eisenbahn aber als „komische Spielerei“ und berücksichtigte sie überhaupt nicht mehr.

Die erste in Betrieb genommene Bahnstrecke wurde im Jahre 1876 von einem britisch-amerikanischen Konsortium (Jardine Matheson Holdings) ohne Genehmigung der Qing-Dynastie in Shanghai gebaut. Bald wurde sie von der Regierung gekauft und im Oktober 1877 demontiert.

Die zweite Bahnstrecke war eine 10 km lange Strecke zwischen Tangshan und Xugezhuang, sie war seit 1881 im Betrieb und die im Kohlebergwerk geförderte Kohle wurde auf der Strecke nach Stadt Tangshan transportiert. Die Westerweiterung dieser Strecke von Xugezhuang nach Tianjing war 1888 fertig, die Osterweiterung reichte 1894 von Tangshan bis zum Shanhaiguan und Suizhong. Diese Bahnstrecke wurde „Guanneiwai Strecke“ („Innere und äußere Shanhaiguan Eisenbahnstrecke“) genannt und galt als ein Symbol für den „Anfang der Geschichte der chinesischen Eisenbahnarchitektur“.

#### ***Schnelle Entwicklung von 1895-1911***

Die Niederlage gegen die Japaner im ersten Chinesisch-Japanischen Krieg war eine Tragödie für China, allerdings ironischerweise regte sie die Bahnentwicklung der Nation an. Einerseits erkannten der Kaiser und die Mandarine schließlich die wichtige Bedeutung des Bahntransportes durch den Krieg, andererseits war die Qing-Dynastie nach dem Krieg zu schwach und musste alle Ansprüche der Großmächte befriedigen. Sie bewilligte die Erlaubnisse und versprach denen Privilegien, die Eisenbahnen in China konstruierten. Bis 1911 gab es ungefähr 9.100 km Schienen in China. Die meisten Gleise hatten die Standardspurweite (1.435 Millimeter). Die „Peking-Zhangjiakou“-Strecke war die erste Bahnstrecke, die von den Chinesen selbst finanziert und gebaut wurde.

#### ***Kriegszeit 1911-1949***

Trotz der Kriegszeit zwischen 1911 und 1949 hat die Republik China insgesamt 17.100 km Bahnstrecke in dem unruhigen Land neu gebaut. Nach dem zweiten Chinesisch-Japanischen Krieg 1945 hatte das chinesische Zentralland knapp 27.000 km Gleise, wovon ungefähr 23.000 km noch verwendbar waren. Bis 1948 wurde die Länge der verwendbaren Strecken wegen des chinesischen Bürgerkrieges auf nur noch 8.000 km gesenkt.

### ***V. R. China***

Nach der umfangreichen Investition in die Rekonstruktion der Eisenbahn 1951 hat die Volksrepublik China 22.000 km Strecke in dem riesigen Land wieder in Betrieb genommen. Im Anschluss daran wurden viele Bahnstrecken, Eisenbahnbrücken, Knotenpunkte und die erste Strecke mit Elektrifizierung um- und neu gebaut, sodass bis Ende 1965 die neue Volksrepublik über ein Schienennetz von 34.406 km verfügte.

Die chinesische Kulturrevolution störte die Erweiterung der Bahnindustrie in China zwischen 1966 und 1976, allerdings stagnierte der Neubau der Bahn nicht. Bis zum Ende des Jahres 1976 waren in China insgesamt 46.262 km Bahnstrecke in Betrieb, wovon 15.7 % zweigleisig waren.

In den 1980er Jahren hat die V. R. China das Programm „Reform und wirtschaftliche Öffnung“ als politische Leitlinie im ganzen Land durchgeführt. Die Wirtschaft entwickelte sich rasant, die Nachfrage im Personen- und Güterverkehr konnte nicht abgedeckt werden und die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken war voll ausgelastet. Bis Ende 1990 waren 53.378 km Bahnstrecke im Betrieb, davon 13.024 km zweigleisig und 6.941 km mit Elektrifizierung. Die unzulängliche Eisenbahninfrastruktur hat das Wachstum der Wirtschaft in China stark beeinträchtigt. Die wirtschaftliche Nachfrage nach Transportmöglichkeiten erhöhte das Interesse an der Bahnentwicklung in dem großen Land wieder. Viele Bahnstrecken, insbesondere Hochgeschwindigkeitsstrecken, sind in China geplant und sollen gebaut werden; neue Technologien und moderne Fahrzeuge werden aus dem Ausland importiert; die Zusammenarbeit und Kooperation mit ausländischen erfahrenen Unternehmen wird gefördert.

In April 1997 hat China eine Strategie zur Erhöhung der Geschwindigkeit im ganzen Eisenbahnnetz beschlossen. Seitdem war in China erstmals zulässig, dass die Eisenbahnzüge mit Geschwindigkeiten über 120 km/h fahren können. Danach hat China sechsmal die zulässige Geschwindigkeit im ganzen Netz erhöht, im Jahr 2007 waren erstmals Triebzüge mit Geschwindigkeiten von 250 km/h im Betrieb. Bis Ende 2010 sind in China 91.000 km Strecke im Betrieb, davon 37.000 km zweigleisig und

42.000 km mit Elektrifizierung. Somit ist der chinesische Eisenbahnverkehr jetzt in einer Periode der raschen Entwicklung.

## 2.2 Organisation des MOR

Das MOR wurde 1949 gegründet und ist gegenwärtig eines der 28 Organe des Staatsrates der Volksrepublik China. Das Ministerium ist für Personen- und Güterverkehrsdienstleistungen, Regelung der Bahnindustrie, Entwicklung des Eisenbahnnetzes und der Eisenbahninfrastruktur verantwortlich.

Die Hauptaufgabe des Ministeriums besteht in der Organisation der Operationen der chinesischen Eisenbahnen, die von den 18 Regionaldirektionen zusammen betrieben werden, davon wurden zwei Regionaldirektionen aufgrund der Teilprivatisierung als Bahnunternehmen gegründet.

Mit dem deutlich steigenden Bedarf von Systemreformen seit den 1980er Jahren aufgrund der Politik „Reform und wirtschaftliche Öffnung“ entstanden immer größere Konflikte zwischen den zentralistisch planwirtschaftlichen Steuerungen und der marktwirtschaftlich betriebenen Eisenbahn. Deshalb hat MOR viele nicht zum Kernbereich „Transport“ gehörende Abteilungen und Organisationseinheiten vom MOR teilweise getrennt und danach in „Unternehmen“ umgewandelt. Daraus sind die folgenden wichtigsten Konzerne im chinesischen Eisenbahnmarkt entstanden, die große Anteile am Bauwesen und Infrastrukturmarkt der Eisenbahn besitzen und bereits als Aktiengesellschaft an die Börse gehen:

- ✚ **China South Locomotive and Rolling Stock Industry (Group) Corporation (CSR)**
- ✚ **China North Locomotive and Rolling Stock Industry (Group) Corporation (CNR)**
- ✚ **China Railway Construction Corporation (CRCC)**
- ✚ **China Railway Engineering Corporation (CREC)**
- ✚ **China Railway Materials Commercial Corporation (CRM)**

Diese Aktiengesellschaften haben mehr Freiheiten und rechtliches Eigentum, um eigene Produkte zum Wettbewerb zu entwickeln, Kooperation mit ausländischen Unternehmen durchzuführen und ausländische Direktinvestitionen zu ermöglichen.

Nach der teilweisen Systemreform und dem Umbau der Organisation hat das MOR momentan 18 Exekutivorgane und Behörden, 18 Regionaldirektionen, 22 direkt unterstellte Institutionen und 6 zugehörige Unternehmen. Diese werden in Anhang A detailliert vorgestellt.

Um die Transportaufgaben und alltäglichen Arbeiten reibungslos durchzuführen, besteht die Regionaldirektion in China grundsätzlich aus sechs Abteilungen.

Die Abteilung „Bahnbetrieb“ ist für die Verwaltung von Bahnhöfen, Überwachung der Zugfahrt sowie Planung und Durchführung der Transportaufgabe von Personen- und Güterverkehr innerhalb des zu betreibenden Bezirks zuständig. Sie muss alle Zugfahrten ohne Konflikte im Betrieb gewährleisten, um das Umsetzungsziel nach Plan zu realisieren.

Die Abteilung „Lok-Depot“ verwaltet die Betriebshöfe für die Lokomotiven, dort können die Wartung, kleinere Reparaturen und die Reinigung von Lokomotiven und Triebwagen erfolgen.

„Fahrwegdienste“ bietet die regelmäßige Pflege, Umbau und Instandhaltung der Schienen, Weichen, Schwellen, Schotterbettung und der Infrastruktur auf den Bahnstrecken. Außerdem ist diese Abteilung auch für die Überwachung von Bahnübergängen verantwortlich.

„Stellwerk“ verwaltet die Einrichtungen im und am Schienenfahrweg, wie Weichen und Signale bzw. Fahrstandssignale, um die Sicherheit der Zugfahrten zu gewährleisten.

Die Abteilung „Wagen-Instandhaltung“ ist für die Wartung und Pflege von Waggons verantwortlich, die Güterwagen und Personenwagen sollen nach bestimmten Laufkilometern überprüft und repariert werden.

„Zugpersonal“ verwaltet alle Mitarbeiter, die während der Fahrt eines Zuges mitfahren und Service bieten sollen, z. B. Sauberkeit des Zuges, Fahrkartenkontrolle usw.



Abbildung 2-1 Abteilungen der Regionaldirektion

Die oben genannten sechs Abteilungen haben noch jeweilige Unterabteilungen, die die detaillierten Tätigkeiten organisieren und durchführen, dadurch kann das ganze System der chinesischen Eisenbahn täglich konfliktlos betrieben werden.

## 2.3 Signal und Sicherungssystem in China

### 2.3.1 Signalsysteme

In China wird die Sicherheit auf den meisten Bahnstrecken durch ortsfeste Signale gewährleistet. Um die Zugfolge auf den Bahnstrecken, die das automatische Blocksystem haben, zu regeln, gibt es grundsätzlich zwei Signalisierungsprinzipien:

- drei-Aspekt-Signalisierung
- vier-Aspekt-Signalisierung

Vor der landesweiten Geschwindigkeitserhöhung auf den bestehenden Eisenbahnstrecken durfte der Reisezug mit einer Geschwindigkeit von nicht mehr als 120 km/h fahren, die Höchstgeschwindigkeit des Güterzugs war max. 80 km/h zulässig. Der Bremsweg des Zuges ist aufgrund der Geschwindigkeitsbeschränkung nicht mehr als 800 m und kürzer als die Mindestlänge eines Blocks. Der fahrende Zug kann innerhalb eines Blocks bremsen und vor dem rot blinkenden Signal halten, dadurch die Sicherheit der Zugfolge gewährleistet werden kann. Hinsichtlich des Sicherheitsabstandes erfolgt der Eisenbahntransport in China aufgrund ihres damaligen Kerngeschäfts im Güterverkehr im „Gleich-Geschwindigkeitsmodul“, in dem alle Züge theoretisch mit gleicher Geschwindigkeit im Bahnbetrieb betrachtet werden. Darüber erzeugt das chinesische Signalsystem ohne Begriffe der Geschwindigkeitsdifferenz, allerdings hat die wirkliche Differenz der Geschwindigkeit große Beeinflussung der Leistungsfähigkeit.

Die **drei-Aspekt-Signalisierung** ist auf den Strecken installiert, deren max. Fahrgeschwindigkeit kleiner als 120 km/h beträgt und auf denen der max. Bremsweg der Züge mit bis zu 800 m definiert ist. Die Signale können nur die Informationen der Streckenbelegung über maximal zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Blockabschnitte geben, d. h., bei Grün-Beleuchtung sind mindestens zwei Blöcke in der Fahrtrichtung frei und bei Gelb ist nur ein Block vor dem rot blinkenden Signal frei. Eine Vorankündigung der nächsten Signale in der Fahrtrichtung durch das grünblinkende Signal ist nicht möglich. Die zwei nachfolgenden Züge auf der freien Strecke müssen nach der Betriebsregel den Abstand haben, der mindesten der Länge von drei Blöcken entspricht.

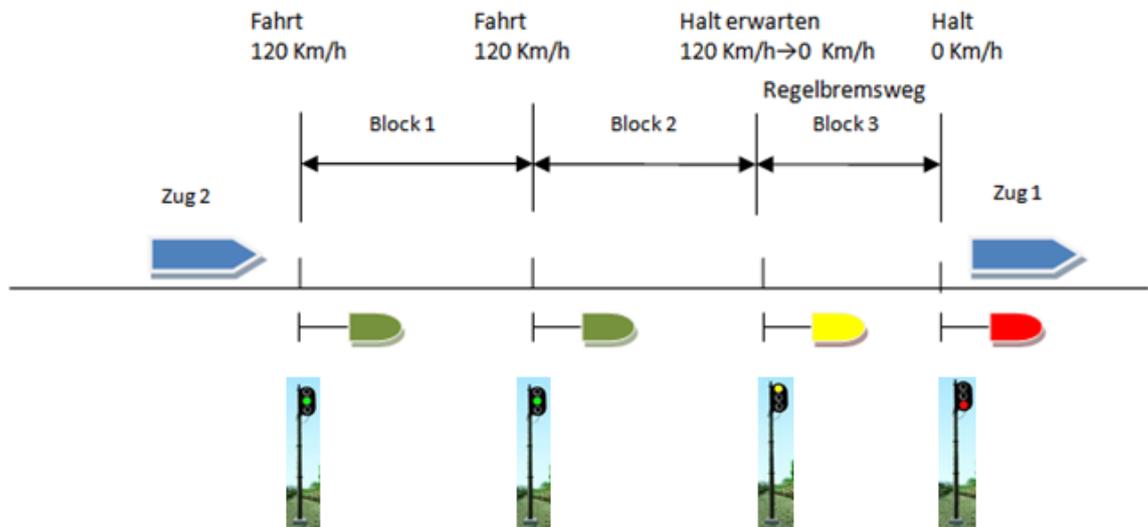


Abbildung 2-2 Drei-Aspekt-Signalisierung

Nach der landesweiten Geschwindigkeitserhöhung auf den bestehenden Eisenbahnstrecken hat China die Geschwindigkeit der Reisezüge erheblich erhöht. Aus diesem Grund wurde ein neues Signalisierungssystem „Vier-Aspekt-Signalisierung“ entwickelt, um die Zugfolge zu sichern.

Die **Vier-Aspekt-Signalisierung** gewährleistet, dass mindestens drei Blöcke in der Fahrtrichtung frei sind. Sie kann die Züge, die mit der Geschwindigkeit größer als 120 km/h fahren, auf der Strecke sichern. Die Besonderheit dieses Signalsystems ist das Grün/Gelb Signal, es sendet die Informationen über zwei unmittelbar folgende Blöcke. Die Hochgeschwindigkeitszüge und die schwer beladenen Züge müssen nach dem Passieren dieses Grün/Gelb-Signals auf die entsprechende Geschwindigkeit vor dem Gelb-Signal reduzieren, um vollständig innerhalb zwei Blöcken vor dem rot blinkenden Signal zu halten. Der Bremsweg des Zuges wird bei abgestufter Geschwindigkeit auf zwei Blockabschnitte verteilt. Die Züge mit einer Geschwindigkeit unter 120 km/h können noch ohne Berücksichtigung des Grün/Gelb-Signals mit der IST-Geschwindigkeit weiter bis zum Gelb-Signal fahren.

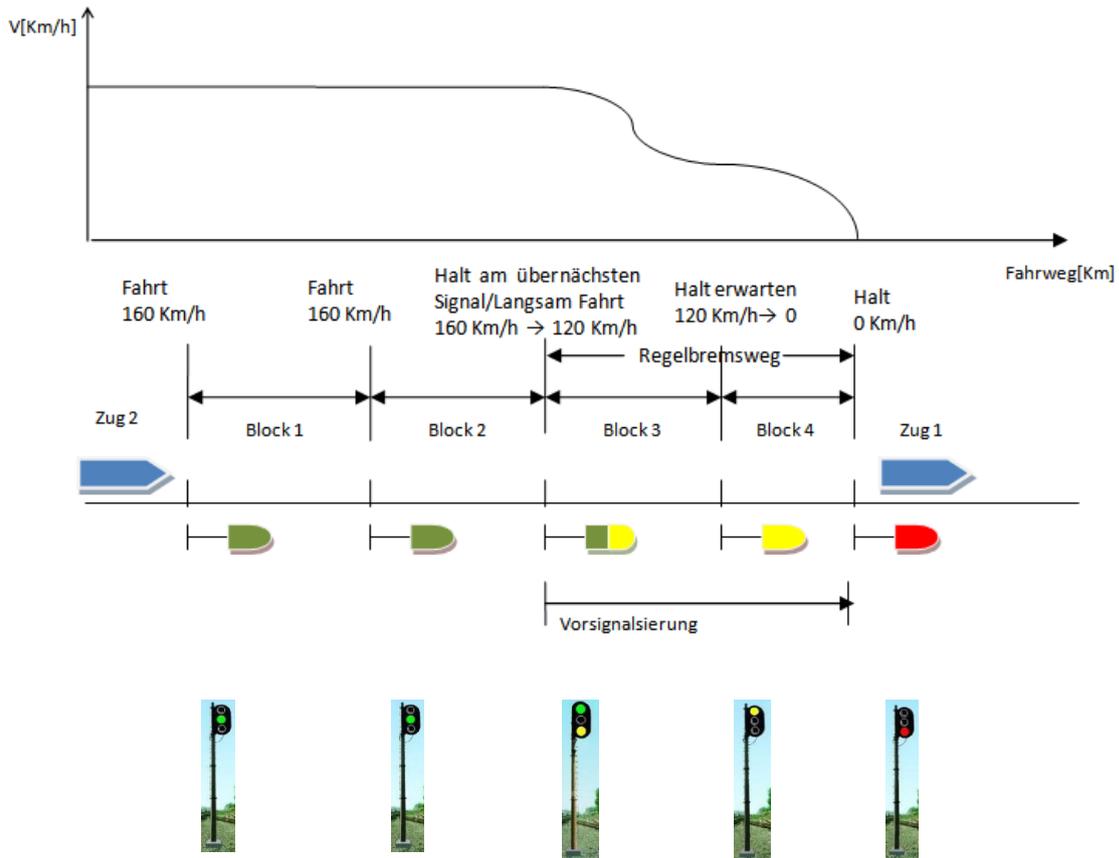


Abbildung 2-3 Vier-Aspekt-Signalisierung mit abgestuften Bremsweg

	Vier-Aspekt	Drei-Aspekt
<b>Signalisierung</b>	Grün/Gelb-Grün/Gelb/Rot	Grün/Gelb/Rot
<b>Bremsweg</b>	2 Blöcke	1 Block
<b>Zugfolge</b>	4 (5*) Blöcke	3 Blöcke
<b>Blocklänge [m]</b>	700-900	1600-2600
<b>Zugfolgezeit [min]</b>	$t_z = \frac{4 * l_B + l_{Zug}}{v_t}$ <p>Oder</p> $t_z = \frac{5 * l_B + l_{Zug}}{v_t}$	$t_z = \frac{3 * l_B + l_{Zug}}{v_t}$
<b>Bemerkung</b>	*Der 5. Block bei der Vier-Aspekt-Signalisierung wird aus Sicherheitsgrund als eine Schutzstrecke vorgehalten.	

Tabelle 2-1 Vergleich Vier-Aspekt-Signalisierung und Drei-Aspekt-Signalisierung

In der Tabelle 2-1 wurden die zwei Signalisierungen miteinander verglichen. Die Ermittlung der Zugfolgezeit ist stark mit Blocklänge und durchschnittlicher Geschwindigkeit des Zuges verbunden. Wenn die Länge der Blockabschnitte wesentlich hoch ist, führt das zu einer unnötigen Erhöhung der Sperrzeit, dadurch

würden die Mindestzugfolgezeiten zunehmen und die Leistungsfähigkeit der Strecke würde nicht ausnutzen. Die Verkürzung der Mindestzugfolgezeit ist das Kernstück zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Strecke im chinesischen Eisenbahnbetrieb, die Maßnahme zur Verkürzung der Mindestzugfolgezeit wird danach in dem Kapitel 6 detailliert darstellen.

### **2.3.2 Sicherungssystem**

Die Entwicklung des modernen Zugsicherungssystems, das die Informationen (z. B. Geschwindigkeiten, Stromabnehmer heben bzw. senken) vom Gleis zum Führerstand der Lokomotive überträgt, begann in China später als in Europa. Durch den Import des französischen Tonfrequenzgleisstromkreises „UM 71“ und Transmission Voie–Machine „TVM 300“ von dem Unternehmen „CESS Transport (AnsaldoSTS)“ im Jahr 1985 konnte der Lokomotivführer in China erstmals die Zustimmung zur Fahrt nach Digitalsignal im Führerstand bekommen.

In 1995 ist das erste von Chinesen selbst entwickelte ATP-System „LSK“ auf den Diesellokomotiven „DongFong 11“, die auf der Strecke „Guangzhou - Shenzhen“ mit Geschwindigkeiten zwischen 160 km/h und 200 km/h fahren, installiert worden. Das ist ein Meilenstein des chinesischen Zugbeeinflussungssystems, das die Fahrt von Zügen in Abhängigkeit von der zulässigen Geschwindigkeit automatisch kontrollieren kann, womit ein wirklich modernes Eisenbahnsicherungssystem in China realisiert worden ist.

Mit der raschen Entwicklung von Computer-, Kommunikations- und Kontrolltechnik wird das Zugsicherungssystem weiter modernisiert. Entsprechend dem Bedarf des chinesischen Hochgeschwindigkeitsverkehrs entwickelte MOR das Zugsicherungs- und Leitsystem „CTCS“. CTCS ist die Abkürzung für „Chinese Train Control System“, das System wurde nach dem Nutzungsprofil und der Infrastruktur der Bahnstrecke in fünf Stufen von Level 0 bis Level 4 spezifiziert.

CTCS übernimmt mehre Funktionen:

- Bringt den Zug automatisch vor einem Gefahrenpunkt zum Halten
- Überwachung der Zuggeschwindigkeit, der örtlichen Höchstgeschwindigkeit und der korrekten Fahrstrecke und Fahrtrichtung
- Überwachung der Einhaltung der Betriebsvorschriften

Die Strecken- und Zuginformationen werden durch die Komponenten des CTCS gesammelt und verarbeitet. Durch streckenseitig die im Gleis verlegten Tonfrequenzgleisstromkreise, Balisen und die mit dem Stellwerk verbundene TCC (Train Control Center) sowie RBC (Radio Block Center), fahrzeugseitig der im Zug installierte CTCS-Rechner, der die empfangenen Daten mit Streckendatenbank

auswertet, können die richtigen und ausgewerteten Informationen dem Lokomotivführer mit der Führerstandsanzeige DMI anzeigen. Das automatische Zugsicherungssystem wird ebenfalls eingeführt, um den Zug vor einem Gefahrenpunkt den Zug zum Halten zu bringen.

Das CTCS-Level 2 wurde schon aufgrund der sechsten und auch letzten landesweiten Geschwindigkeitserhöhung im April 2007 auf den 6.277 km bestehenden Eisenbahnstrecken mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über 200 km/h erfolgreich eingesetzt, davon werden auf den 1.019 km Bahnstrecken über 250 km/h gefahren.

## **2.4 Klassifizierung der Fahrzeuge und Bahnstrecken**

### **2.4.1 Eisenbahnfahrzeuge**

In China werden alle Züge mit einer Nummer und meistens zusätzlich mit einem Buchstabe nummeriert, wie z. B. Zug T170 und Zug 1231. Die Zugnummer wird verwendet, um einen Zug von den anderen zu unterscheiden und im Bahnbetrieb zu überwachen. Von der Zugnummer und dem Sonderbuchstabe kann man folgende Informationen entnehmen:

1. Zuggattung (Überregionalzug, Regionalzug, Schnellzug usw.)
2. Zur welchen Regionaldirektion der Zug gehört
3. In welcher Fahrtrichtung der Zug verkehrt, die Fahrtrichtung nach „Peking“ und der Wechsel des Fahrwegs von einer Nebenstrecke auf eine Hauptstrecke wird als „Up-Richtung“ bezeichnet und mit einer geraden Nummern versehen, die Gegenrichtung gilt als „Down-Richtung“ mit einer ungeraden Nummer.

Die Nummerierung der Züge darf nur von dem MOR vergeben werden und wird nach folgendem Regel aufgeteilt:

Nr.	Beschreibung
1xxx	Ferne Betriebsdistanz (mindestens über 600 km) und relativ niedriger Reisegeschwindigkeit wegen vieler Zwischenhalte im Fahrplan.
2xxx	Die Züge sind innerhalb des Verwaltungsgebietes zweier Regionaldirektionen im Betrieb. Die Betriebsdistanz von solchen Zügen ist nicht zu lang (maximal 1200 km) und die Reisegeschwindigkeit der Züge ist auch langsam.
4xxx 5xxx	Die Züge sind innerhalb des Verwaltungsgebietes einer Regionaldirektion im Betrieb, sie halten in den wichtigen Bahnhöfen und auch in einigen kleineren Bahnhöfen. Sie fahren meistens auf den Nebenstrecken und mit kurzer Reisedistanz.
6xxx 7xxx 8xxx	Die Züge sind innerhalb des Verwaltungsgebietes einer Regionaldirektion im Betrieb, sie halten in jedem Bahnhof, der einen Service für Personalverkehr bieten kann.

Tabelle 2-2 Regel der Nummerierung der Reisezüge mit 4-stelligen Nummer

Sonderbuchstabe	Beschreibung
G	Die Züge mit dem Buchstabe „G“ sind Hochgeschwindigkeitszüge, die auch mit „CRH (China Railway Highspeed)“ und „Serial Harmonie“ bezeichnet werden. Diese Züge sind die schnellsten Reisezüge und mit Geschwindigkeiten von 300-350 km/h auf den Hochgeschwindigkeitsstrecken im Betrieb.
D	Die Züge mit dem Buchstabe „D“ sind Hochgeschwindigkeitszüge, die auch „CRH (China Railway Highspeed)“ und „Serial Harmonie“ genannt werden. Diese Züge verkehren mit Geschwindigkeiten von 200-250 km/h auf den Neu- und Ausbaustrecken.
Z	Die Züge mit dem Buchstabe „Z“ sind Direkt-Express-Züge, die eine direkte Verbindung ohne Halte bieten oder nur Betriebshalte zwischen den größten Städten in der V. R. China haben, z. B. Peking- Shanghai „Z 21“. Alle Z-Züge sind seitdem 18. April 2004 überregional im Betrieb.
T	Die Züge mit dem Buchstabe „T“ sind Express-Schnellzüge, die nur in der Hauptstadt und den Großstädten der Provinzen planmäßig halten.
K	Die Züge mit dem Buchstabe „K“ sind Schnellzüge, die zwischen den bezirksfreien Städten und den wichtigsten Stadtbezirken laufen. Seitdem 18. April 2004 sind alle K-Züge überregional im Betrieb.
N	Die Züge mit dem Buchstabe „N“ sind Schnellzüge, die innerhalb des Verwaltungsbereiches einer Regionaldirektion im Betrieb sind. Die Züge halten an den wichtigsten Bahnhöfen.
L	Die Züge mit dem Buchstabe „L“ sind Bedarfszüge, die nur an den Fest- bzw. Feiertagen wegen der großen Nachfrage der Fahrgäste überregional im Betrieb sind.
A	Die Züge mit Buchstabe „A“ sind Bedarfszüge, die wegen der großen Nachfrage von Fahrgästen bei Bedarf im regionalen Bereich verkehren.
Y	Die Züge mit Buchstabe „Y“ sind Tourismuszüge, die die schnellen Verbindungen zwischen großen Städten und Urlaubsziel ermöglichen.

Tabelle 2-3 Regel der Nummerierung der Reisezüge mit Buchstabe

Die im Betrieb täglich eingesetzten Züge können mit folgenden Modellzügen gebildet werden.

Modellzug	Zugnummer	Bemerkung	Betriebsbereich	Länge [m]	Technische V [km/h]
<b>S</b>	K	Schnellzug	überregional	500	140
	N	Schnellzug	regional		
<b>P</b>	1xxx, 2xxx 4xxx, 5xxx	Normalzug	überregional und regional	500	120
<b>L</b>	6xxx, 7xxx	Langsamzug	regional	400	100
<b>E</b>	T	Express-Schnellzug	überregional und regional	500	160
	Z	Direkt-Express Zug	überregional		
<b>D</b>	D, G	Triebzug, Hochgeschwindigkeit	überregional und regional	200/400	200-250/ 300-350
<b>SG</b>	1xxxx 8xxxx	Direkt-Güterzug	überregional und regional	800	120
<b>G</b>	2xxxx, 3xxxx 4xxxx, 5xxxx 6xxxx, 7xxxx	Güterzug	überregional und regional	800	100

Tabelle 2-4 Modellierung der Züge

## 2.4.2 Bahnstrecke

In China werden die Bahnstrecken außer den Hochgeschwindigkeitsstrecken nach dem Standard GB 50090 – 2006 „Code for design of railway line“ in vier Stufen klassifiziert. Der Standard ist gültig für die Strecken mit Mischbetrieb, deren zulässige Höchstgeschwindigkeit für Personenzüge kleiner als 160 km/h und für Güterzüge kleiner als 120 km/h ist. Die Klassifizierungen richten sich nach der Beförderungsleistung der Bahnstrecke und den Funktionen im gesamten Eisenbahnnetz.

- I. Stufe: die Hauptkorridore im Netz. Das kurzfristige jährliche Verkehrsaufkommen ist gleich oder größer als 20 Mio.t.\*
- II. Stufe: die Strecken, die im Netz als Verbindungen zwischen den Hauptkorridoren dienen. Das kurzfristige jährliche Verkehrsaufkommen ist zwischen 10 Mio.t und 20 Mio.t.
- III. Stufe: die Strecken, die für einen Bezirk oder ein Unternehmen dienen. Das kurzfristige jährliche Verkehrsaufkommen ist zwischen 5 Mio.t und 10 Mio.t.

- IV. Stufe: die Strecken, die für einen Bezirk oder ein Unternehmen dienen. Das kurzfristige jährliche Verkehrsaufkommen ist kleiner als 5 Mio.t.

Das Personenverkehrsaufkommen ist in Mio.t umgerechnet, ein Reisezugpaar pro Tag wird als 1 Mio.t pro Jahr betrachtet.

Streckenklasse	I	II
Leitgeschwindigkeit von Personenverkehr [km/h]	160, 140, 120	120, 100, 80

Tabelle 2-5 Streckenklasse und zulässige Leitgeschwindigkeit des Personenverkehrs

Gemäß dem Entwicklungsplan hat MOR 16.000 km Hochgeschwindigkeitsstrecke für den Personenverkehr (Passenger Dedicated Lines, PDLs) geplant und teilweise schon fertig gebaut. Es umfasst vier Ost-West- und vier Nord-Süd-Hauptkorridore, die mit Geschwindigkeiten zwischen 200 und 380 km/h befahren werden können. Die zu dem Netz des Hochgeschwindigkeitsverkehrs gehörenden Strecken sind wie folgt geordnet:

- Passenger Dedicated Lines
- Schnellfahrstrecken in Ballungsgebiete
- Ausbaustrecken (Geschwindigkeiten bis 250 km/h)
- Neubaustrecken zur Unterstützung des wirtschaftlichen Entwicklungsprogramms für den Westen Chinas
- Schnellfahrstrecken im Bezirk „Western Taiwan Straits Economic Zone“

Der umfangreiche Zuwachs der gesamten Länge der Eisenbahnstrecken für den Hochgeschwindigkeitsverkehr wird deutliche Steigerung der Verkehrsleistung ermöglichen.

## **2.5 Statistik der Betriebsleistungen und Kennzahlen der chinesischen Bahn**

Die Investitionen in die Eisenbahn in China sind in den vergangenen Jahren nachhaltig gestiegen. Insbesondere nach dem Beschluss der Planung „Der Entwurf des mittel- und langfristigen Eisenbahnnetzes“ in 2008 und der Durchführung der aufgrund der „Weltfinanzkrise ab 2007“ erzeugten „2008-2009 Chinesischen wirtschaftlichen Anreiz-Programme“ wurden zahlreiche Aus- und Neubauprojekte der Eisenbahninfrastruktur mit hohen Investitionen gleichzeitig durchgeführt. Die gesamte Summe der Investitionen in die Sachanlagen im Jahr 2010 beträgt 84,26 Mrd. Euro, davon sind 70,75 Mrd. Euro für den Aus- und Neubau der Eisenbahnstrecken.

Die Anzahl der Beschäftigten bei der staatlichen chinesischen Eisenbahn ist Ende 2010 auf 2,1 Mio. Mitarbeiter gesunken, davon arbeiten ca. 1,5 Mio. Mitarbeiter im Bereich Transport. Die Arbeitsproduktivität je Erwerbstätigen ist im Vergleich zu 2009 um 18,7 % gestiegen, die Arbeitsproduktivität wird als Quotient aus gesamtem Umsatz und Erwerbstätigen berechnet. Die durchschnittliche Reiseweite im Personenverkehr und Güterverkehr hat sich bei der Bahn in den letzten Jahren kaum verändert. Die Reiseweite der Passagiere beträgt etwa 500 km und die des Güterverkehrs etwa 750 km. Die detaillierten Informationen werden in Anhang D mit Tabellen und Diagramm dargestellt.

### 3 Fahrplan

Unter dem Fahrplan wird allgemein die vorausschauende Festlegung des Fahrtverlaufs der Züge verstanden. Notwendige Angaben hierfür sind Zugnummer, Verkehrstage, Laufweg, Ankunfts-, Abfahrts- und Durchfahrtszeiten an den Betriebsstellen sowie die zulässigen Geschwindigkeiten in den einzelnen Abschnitten des Laufwegs. [Pac08]

Der Begriff „Fahrplan“ ist bei der Eisenbahn mehrschichtig: [Wei08]

- Der **Fahrplan eines Zuges** enthält die für die sichere und zweckmäßige Zugfahrt erforderlichen Angaben wie Bezeichnung des Zuges, Streckenangaben, zulässige Geschwindigkeit, erforderliches Bremsvermögen („Brems-hundertstel“), Zahl und Art der Triebfahrzeuge, Last und Uhrzeiten sind in der Fahrdienstvorschrift festgelegt.
- Der **Fahrplan einer Strecke** ist das Bedienungskonzept und stellt die betriebliche Belastung der gesamten Strecke oder eines Streckenabschnittes dar. Man kann aus den Fahrplänen aller Züge die Richtung und Gegenrichtung, Überholungen, Begegnungen, Kreuzungen und Anschlussbindungen erkennen.
- Der **Fahrplan eines Netzes** ist die Integration und das Ineinandergreifen der Fahrpläne verschiedener Strecken unter Berücksichtigung von Anschlussbindungen und Wagenübergängen. Aus ihm ist das Bedienungssystem eines ganzen Bezirkes ersichtlich.
- Der **Fahrplan einer Zeitperiode** ist das Betriebsprogramm für alle Tage dieses Zeitabschnittes. Er legt die Zugfahrten in allen Einzelheiten fest und stellt somit das Dienstleistungsangebot des Unternehmens dar.

Die grundsätzlichen Anforderungen an den Fahrplan sind in der Abb. 3-1 dargestellt.



Abbildung 3-1 Anforderungen an den Fahrplan

Weiterhin dient der Fahrplan als maßgebende Information zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit und zur Sicherung der Service-Qualität für die Kunden der Eisenbahnverkehrsunternehmen.

### 3.1 Komponenten des Fahrplans

Eine Fahrplantrasse beschreibt die im Fahrplan vorgesehene räumliche und zeitliche Inanspruchnahme der Infrastruktur durch eine Zugfahrt. In Deutschland wird die Fahrplantrasse durch die auf den planmäßigen Laufweg bezogene Sperrzeitentreppe charakterisiert. [Pac08]

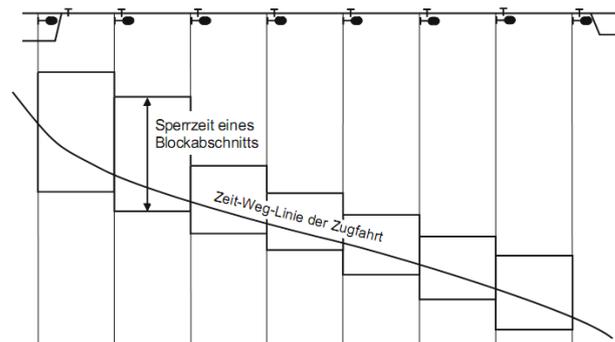


Abbildung 3-2 Sperrzeitentreppe und Sperrzeit eines einzelnen Blockabschnitts

Zur Darstellung der Fahrplantrassen wird in China ein stehender Bildfahrplan eingesetzt, der zur grafischen Darstellung der Zeit-Weg-Linien der Züge dient. Der Bildfahrplan besteht aus zwei Koordinatenachsen: Die stehende Ortsachse entspricht den Fahrzeitmesspunkten der Betriebsstellen mit einem bestimmten Maßstab und durch die horizontale Zeitachse können die Abfahrts-, Ankunfts- und Durchfahrzeitpunkte mit den Minutenwerten abgelesen werden.

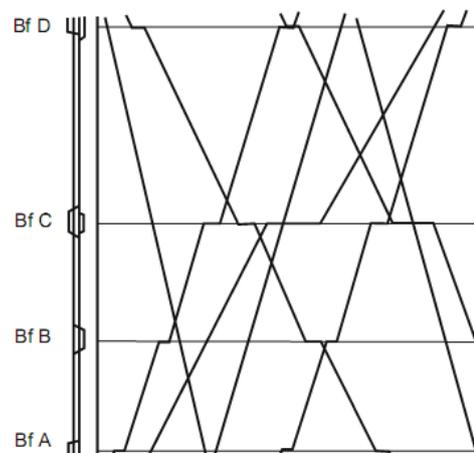


Abbildung 3-3 stehender Bildfahrplan

Die drei wichtigsten Bausteine des Bildfahrplans sind **Fahrzeit, Haltezeit und Zugfolgezeit**. Die Fahrzeit und die Haltezeit bilden die Beförderungszeit einer Zugfahrt, die Zugfolgezeiten füllen die Zeitanteile zwischen den Zugfahrten aus. Um die bauliche Instandhaltung der Infrastruktur und Oberleitungen auf der Bahnstrecke durchzuführen, stellt die **Instandhaltungszeit** in China das vierte wichtige Element der Gestaltung des Bildfahrplans dar. Diese Instandhaltungszeit wird mit dem Fachbegriff „Wartungsfenster“ in China im Fahrplan beschrieben.

### 3.1.1 Beförderungszeit einer Zugfahrt

Die Fahrzeit ergibt sich normalerweise als Summe aus reiner Fahrzeit und dem Zuschlag. Die reine Fahrzeit basiert auf einer durch fahrdynamische Rechnung erzeugte Fahrzeit eines Zuges, das fahrdynamische Verfahren zur Fahrzeitermittlung hat eine sehr hohe Genauigkeit und kann mithilfe der rechnergestützten Simulation berechnet werden. Der Fahrzeitzuschlag wird als prozentualer Zuschlag der reinen Fahrzeit (in Deutschland Größenordnung 3–7 % und in China ca. 10 %) im Durchschnitt zugeschlagen.

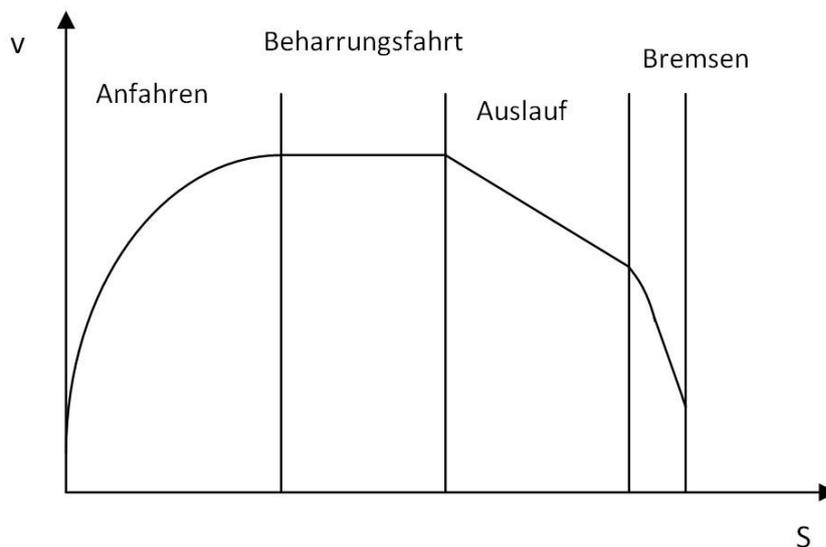


Abbildung 3-4 Phasen einer Zugfahrt

Haltezeiten gibt es bei Verkehrs- und Betriebshalten. Die Halte für den Fahrgastwechsel im Personenverkehr und die Be- und Abladung der Güter im Güterverkehr sind als Verkehrshalte definiert. Aus innerbetrieblichen Gründen erfordert der Bahnverkehr Betriebshalte wie beispielsweise Halte für betrieblich notwendige Kreuzungen und Überholungen sind.

Die Näherungswerte für die Verkehrshaltezeit des Personenverkehrs werden in Deutschland der DB AG in der Richtlinie 405 mit Tabelle 203 [DBA99] für Leistungsuntersuchung empfohlen. In China sind diese Näherungswerte mit einer

Obergrenze für die Expressschnellzüge mit 5 min und für die Schnellzüge mit 4 min in [Vrp95] als Standard für die Durchführung der Transportaufgabe des Personenverkehrs vorgeschrieben.

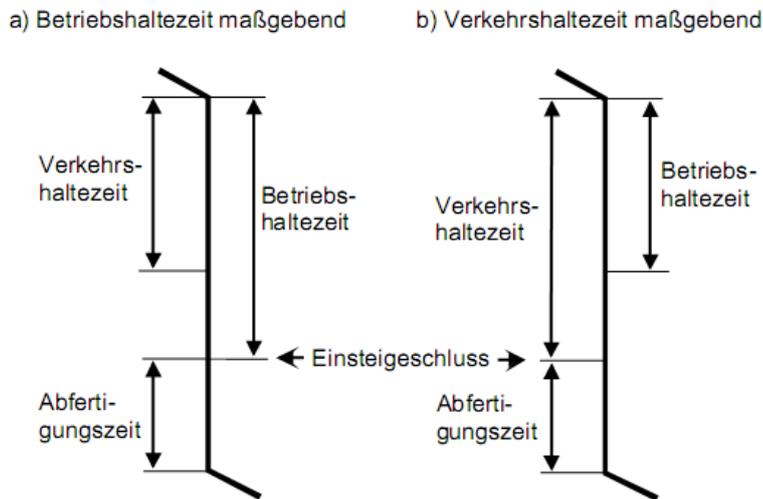


Abbildung 3-5 Haltezeit bei Kombination von Betriebs- und Verkehrshalten [Pac08]

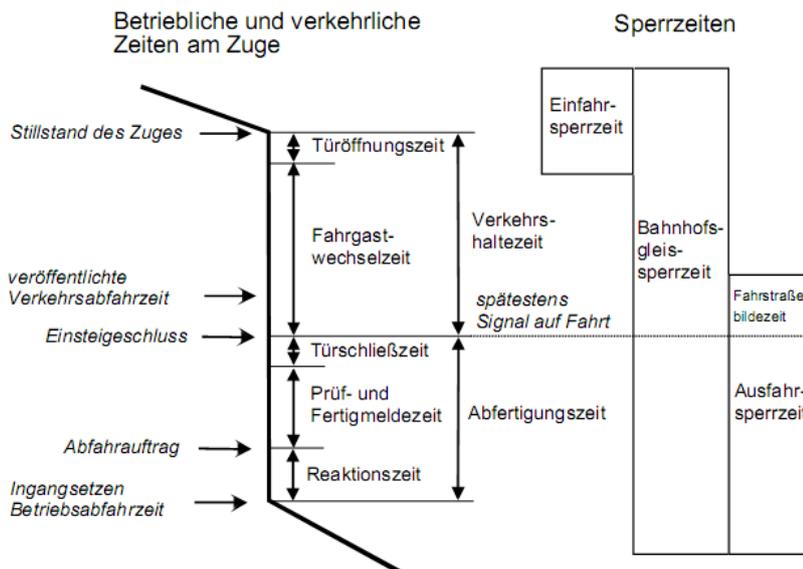


Abbildung 3-6 Zeitanteile eines Verkehrshalts im Personenverkehr [Pac08]

### 3.1.2 Zeitanteile zwischen den Zugfahrten

Die Zugfolgezeit beschreibt den zeitlichen Abstand zwischen zwei hintereinander fahrenden Zügen, sie ist von dem Signalsystem, der Länge des Zuges, der Zuggeschwindigkeit und der Blocklänge abhängig.

In der Fahrplankonstruktion werden Zugfolgezeiten im Unterschied zu dem bei analytischen Leistungsuntersuchungen üblichen Vorgehen nicht auf den Einfahrzeitpunkt in einem Streckenabschnitt, sondern auf das Passieren des

Fahrzeitmesspunkt eines Betriebsstellen bezogen. Bei dieser Betrachtung unterscheidet man in Abhängigkeit vom vorliegenden Zugfolgefall die folgenden Zugfolgezeiten: [Pac08]

- Die Vorsprungszeit als Zugfolgezeit zwischen zwei nacheinander auf das gleiche Streckengleis ausfahrenden Zügen
- Die Nachfolgezeit als Zugfolgezeit zwischen zwei nacheinander vom gleichen Streckengleis einfahrenden Zügen
- Die Kreuzungszeit als Zugfolgezeit zwischen der Ankunft eines Gegenzuges und der Abfahrt eines Zuges auf das gleiche Streckengleis
- Die Abstandszeit als Zugfolgezeit zwischen der Abfahrt eines Zuges und der Ankunft eines Gegenzuges vom gleichen Streckengleis

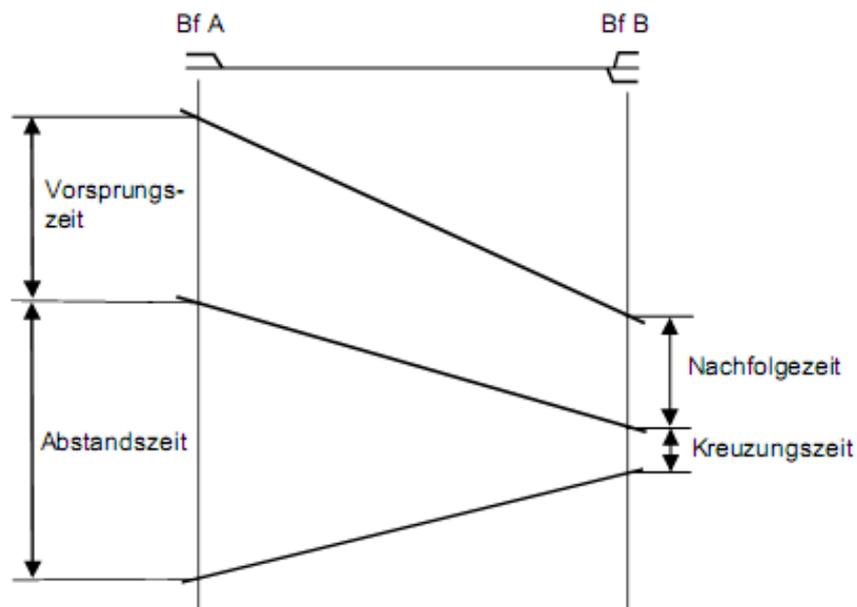


Abbildung 3-7 Einteilung der auf die Fahrzeitmesspunkte der Betriebsstellen bezogenen Zugfolgezeiten [Pac08]

### 3.1.3 Pufferzeit

Pufferzeiten wirken sich durch die Reduzierung der Übertragung von Folgeverspätungen positiv auf die Betriebsqualität aus. Andererseits schränken sie aber die Betriebsleistung durch eine Verringerung der Anzahl planbarer Fahrplantrassen ein. Die Bemessung und Verteilung der Pufferzeiten ist daher eines der entscheidenden Werkzeuge des Betriebsplaners zur Beeinflussung von Leistung und Qualität. [Pac08]

Die Größe der Pufferzeiten hängt maßgeblich von der Größenordnung der erwarteten Verspätungen ab. Bei der Bemessung und Verteilung der Pufferzeiten sind zwei Teilaufgaben zu bearbeiten:

- Die Ermittlung der Größe der erforderlichen Pufferzeiten
- Die Zuordnung der Pufferzeiten zu Fahrplantrassen bzw. Zugfolgefällen

## **3.2 Konstruktion des Fahrplans**

### **3.2.1 China**

In China ist die Fahrplan-Entwurfs-Kommission von MOR für die Aufstellung des Fahrplans verantwortlich. Im Auftrag von dem Eisenbahnministern legt die Fahrplan-Entwurfs-Kommission die Konstruktionsprinzipien, Zielmarkt und vorgeplanten Transportaufgaben des Fahrplans fest, die passende Lösung für die einschlägigen Probleme bei der Konstruktion des Fahrplans. Die sehr wichtigen technischen Schwierigkeiten, die Investitionen in Infrastruktur zur Beseitigung von Engpässen im Eisenbahnnetz und das Personalcontrolling wurden auch von der Kommission entwickelt.

Grundsätzlich findet landesweit der Fahrplanwechsel alle zwei Jahre und im Sommer statt. Das Fahrplan-Entwurfs-Gremium der Regionaldirektionen gestaltet den konkreten Entwurf des Fahrplans für den eigenen Verwaltungsbereich, der Fahrplan ist gemäß dem Beschluss von MOR und unter Berücksichtigung ihrer eigenen Situation der jeweiligen Regionaldirektion. Die Fahrplan-Entwurfs-Arbeitsgruppe, die direkt unter der Führung der Fahrplan-Entwurfs-Kommission von MOR steht, fasst die Entwürfe des Fahrplans der Regionaldirektionen zusammen und bearbeitet sie weiter. Die Fahrplan-Entwurfs-Kommission von MOR überprüft den Entwurf des Fahrplans für das ganze Netz und legt ihn zur Zulassung dem Eisenbahnminister vor.

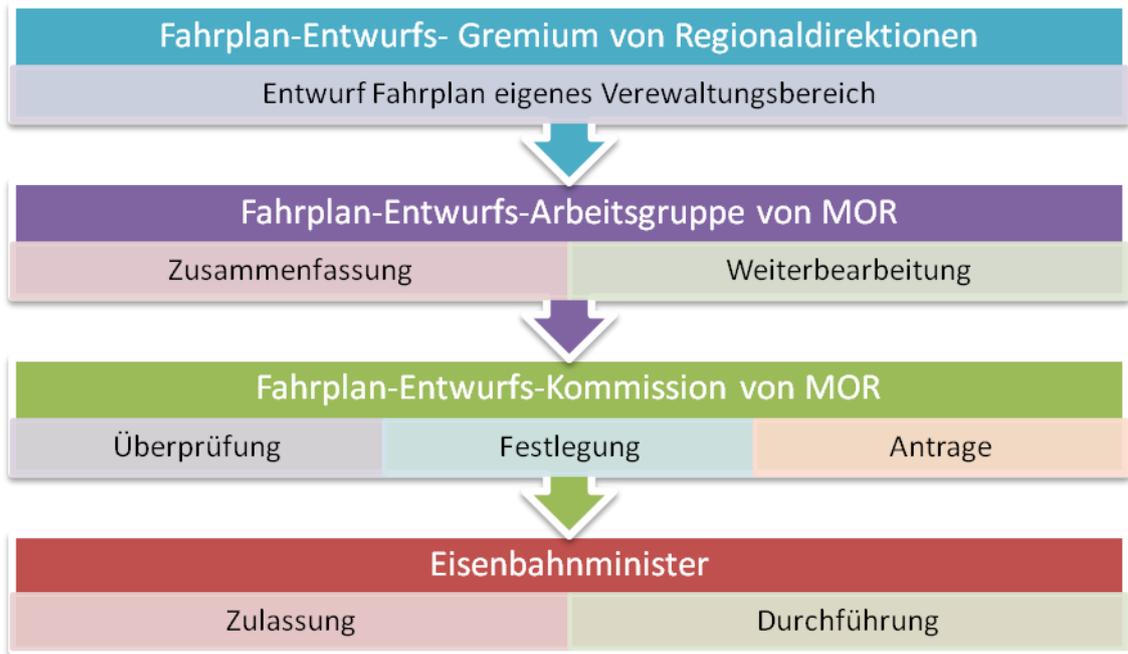


Abbildung 3-8 Prozess des Fahrplan-Entwurfs in China

Die Konstruktion des Fahrplans muss grundsätzlich die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Sicherheit der Zugfahrt
- Anpassung des Bedarfs für den Personenverkehr, Erhöhung der Service-Qualität
- Erfüllen des vom Staat vorgegebene Planziel im Güterverkehr
- Optimierung des Umlaufplans der Lokomotiven und Waggons
- Optimierung der empirischen Größen der Abzugsfaktoren, da die theoretische Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Fahrplans durch die Abzugsfaktoren (in Abschnitt 4.2) berechnet wird, die von MOR bestimmt werden sollen
- Optimale Ausnutzung der Infrastruktur und Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit
- Aktive Anwendung der neuen Techniken und modernen Arbeitsweisen

Um alle notwendigen Unterlagen zum Entwurf des Fahrplans vorzubereiten, müssen die untergeordneten Abteilungen der Regionaldirektion zusammenarbeiten.

- Die Planungsabteilung hat die Aufgabe, die jährliche Beförderungsleistung im Güterverkehr auf den zuständigen Strecken (inkl. Grenze zwischen den Regionaldirektionen) vorzuschlagen. Die Aufträge von Großkunden, die mit MOR Dauerauftrag haben, und die vom Staat vorgegebenen

Transportaufgaben des Güterverkehrs sollen sich als Mindestleistung der Güterbeförderung im Jahresplan betrachtet werden. Die prognostizierte bzw. zusätzliche Beförderungsleistung wird von der Planungsabteilung unter Berücksichtigung der Marktnachfrage analysiert und als Ziel festgelegt.

- Die Abteilung „Fahrwegdienst“ stellt alle notwendigen technischen Parameter der Strecken bereit, wie z. B., die zulässige Geschwindigkeit jedes Abschnittes der Bahnstrecke, die max. zulässige Geschwindigkeit jeder Weiche, die geplanten Bauarbeiten und die Langsamfahrstellen (inkl. Anfang, Ende, Zeitraum, Ursachen und Geschwindigkeit).
- Die Abteilung „Infrastrukturentwicklung“ ist verantwortlich für die Planung der Bauarbeit und Sperrung des Zugangs aufgrund Umbau der bestehenden Strecken.
- Das „Lok-Depot“ muss alle Informationen und Dokumente über die technischen Parameter der Züge vorbereiten, wie z. B. für die Baureihe der Lokomotiven, die Führungskräfte, die technische Fahrzeit zwischen den Betriebsstellen, die zusätzliche Fahrzeit aufgrund der Langsamfahrstellen, sowie der Beschleunigungs- und Bremszeiten.
- Die „Wagen-Instandhaltung“ ist verantwortlich für die Planungen der Instandhaltung von Waggons und die Festlegung des Standards der technischen Prüfungszeiten für die Personen- und Güterwaggons.
- Die Aufgaben der Abteilung „Güterverkehr“ bestehen in der Anfertigung der Entwürfe der Rangierpläne und der Fahrpläne des Schnell-Güterverkehrs, des Stückgutverkehrs, der Festlegung der zulässigen Haltezeit und der Arbeitszeit für das Be- und Entladen im Güterbahnhof.
- Die Transportabteilung „Bahnbetrieb“ entwickelt die Maßnahmen zur Ausnutzung der Leistungsfähigkeit der Strecken. Sie entwirft die Fahrpläne für den Personen- und Güterverkehr und ist zuständig für die Festlegung der Betriebs- und Verkehrshaltstellen und alle damit verbundenen detaillierten Arbeiten.

Die Fahrplankonstruktion koordiniert die Trassenwünsche der EVU, ein gut organisierter Fahrplan kann die Sicherheit der Zugfahrt, die Pünktlichkeit und den wirtschaftlichen Betriebsablauf des Bahntransports gewährleisten. Die Ausnutzung der Infrastruktur und die Arbeitsschritte des Bahntransports werden durch den Fahrplan als eine Einheit gekoppelt, um die Zugfahrt planmäßig im Betrieb ablaufen zu lassen. Da der Güterverkehr in der Vergangenheit das Kerngeschäft der chinesischen Bahn war,

waren die Planungen der Fahrtrassen des Güterverkehrs vorrangiger gegenüber dem Personenverkehr, die Beförderungsleistung der Bahnstrecke ist bis heute noch mit den beförderten Gütern dargestellt. Die Konstruktion des Fahrplans in China wird aus den Komponenten von Marktwirtschaft und Planwirtschaft kombiniert. Einerseits muss sie die Nachfrage aus dem Transportmarkt möglichst zufriedenstellen, andererseits muss sie aber auch den Transportplan der Regierung erfüllen.

Die steigenden Lasten der Güterzüge und höheren Geschwindigkeiten im Personenverkehr erfordern eine verstärkte Erhaltung der Gleise. Um die Instandhaltung der Bahnstrecken und der Bahninfrastruktur zu gewährleisten, ist ein separater Zeitraum im Fahrplan reserviert, der in China unter dem Fachbegriff „Wartungsfenster“ definiert wird. In dem Zeitraum dürfen keine Züge auf dem bestimmten Streckenabschnitt fahren, damit kann die Instandhaltung durchgeführt werden. Die Reservierung der Wartungszeit im Fahrplan ist sehr vorteilhaft, weil die Organisation der Wartungsarbeiten und des Transports dadurch vereinfacht werden. Auf diese Weise gibt es keine Konflikte zwischen der Abteilung „Fahrwegdienst“ und der Transportabteilung, allerdings haben die Wartungsfenster im Fahrplan die Ausnutzung der Leistungsfähigkeit der Strecke beschränkt, weil in dem Zeitraum keine Züge fahren dürfen.

### **3.2.2 Deutschland**

Das Angebot im Schienenverkehr in Deutschland ist marktgerecht und wirtschaftlich zu gestalten, um der Nachfrage optimal gerecht zu werden, den Modal Split zugunsten der Bahn zu beeinflussen und um einen hohen Deckungsbeitrag für die Betreiber zu erzielen. [Wei08]

Bei der Gestaltung des Angebotes sind zu unterscheiden:

- Benutzerorientierte Zielsetzungen, die von den Marktanforderungen und der Wettbewerbssituation bestimmt werden
- Betriebsorientierte Zielsetzungen, die aus dem Ziel kostengünstiger Produktion abgeleitet sind

Mit weit über 350 Eisenbahnverkehrsunternehmen als Kunden, die das deutsche Schienennetz nutzen, wird die DB Netz AG mithilfe der speziellen Fahrplan-Programme „Rechnerunterstütztes Trassenmanagement – Konstruktion (RUT-K)“ die Fahrplantrassen als Produkte nach dem Bedarf der EVU bearbeiten und anbieten.

Die Trassenanträge sollen zu bestimmten Monaten vor dem Fahrplanwechsel bei der DB Netz AG angemeldet werden, diese Wünsche werden dann von der DB Netz AG

an die Zugangsberechtigten (ZB) /EVU für deren weitere Planungen und zur Umsetzung in den Trassenanmeldungen übergeben. [Wei08]

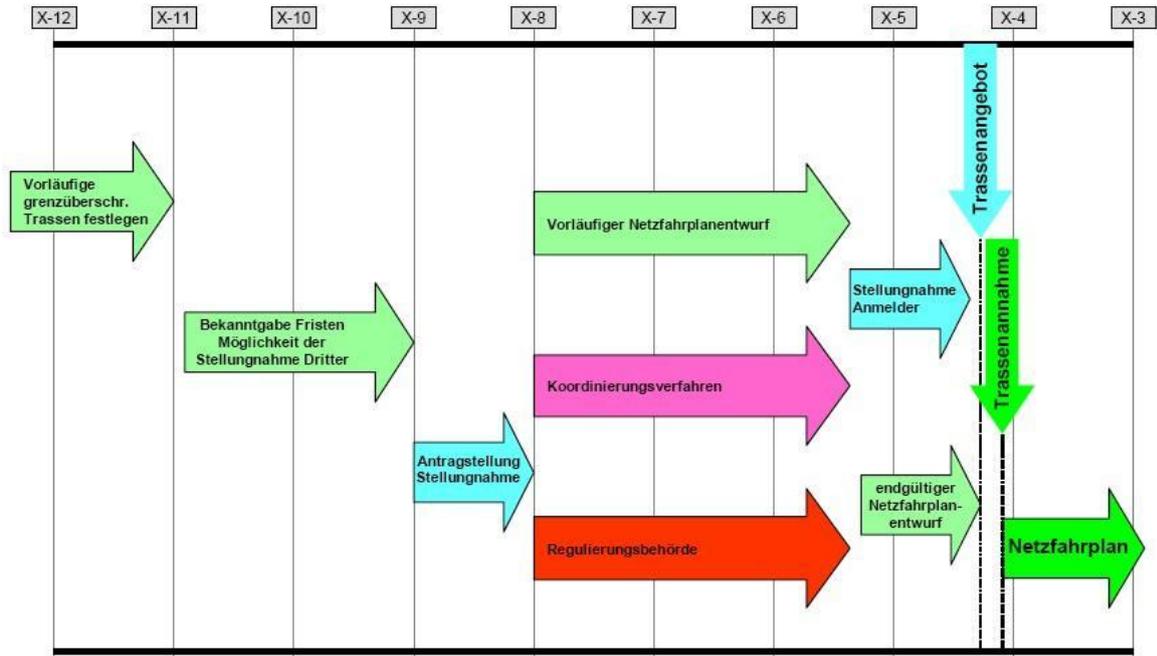


Abbildung 3-9 Der Prozess der Netzfahrplänenstellung (X= Beginn der Netzfahrplanwechsel)  
(Quelle: DB AG)



Abbildung 3-10 Entscheidungsverfahren bei Trassenkonflikten im Rahmen der Netzfahrplänenstellung  
(Quelle: DB Netz AG)

Das Entscheidungsverfahren bei Trassenkonflikten wird auf die in Abbildung 3-10 dargestellte Weise durchgeführt, um den EVU, die als Konkurrenten bzw. Ausschreibungsteilnehmer auftreten, gerechte Chance zu garantieren.

Die Angebotsplanung umfasst die Netzplanung, die Linienplanung, die Fahrplanung und die Kapazitätsplanung. Folgende Planungsschritte müssen beachtet werden: [Wei08]

- Zunächst muss die Verkehrsnachfrage berechnet und eine Prognose erstellt werden.
- Dann wird die Netzstruktur untersucht und das relevante Netz herausgefiltert. Man spricht von der Phase der Netzreduktion und Bildung von Angebotsnetzen.
- Dann wird die Verkehrsnachfrage auf die Angebotsnetze gesplittet.
- Es folgt die Linienplanung.
- Nun wird der Fahrplan erstellt.
- In der Belastungssimulation werden das Liniennetz und der Fahrplan überprüft. Ggf. werden Liniennetz und Fahrplan iterativ verbessert.
- Ergänzend sind Pünktlichkeit und Kapazitäten zu planen.

Die Planungen des Zugangebotes beeinflussen neben Komfort und Service die Kundenwünsche nach:

- kurzen Reisezeiten,
- Fahrpreis,
- nachfragegerechten Ankunfts- und Abfahrtszeiten,
- Direktverbindungen und
- hohem Pünktlichkeitsniveau.

### **3.2.3 Strategien für Fahrpläne**

Ein besonderes Merkmal der Fahrplankonstruktion des Personenverkehrs in Deutschland ist ein integraler Taktfahrplan (ITF). Die meisten deutschen Bundesländer haben seit Mitte der 1990er Jahre integrierte Taktfahrpläne für den Schienenpersonennahverkehr mit Zeitstunden- oder Stundentakt eingeführt. Aufgrund des Vertaktens des Nahverkehrs gibt es die Möglichkeit, den Fernverkehr auch im Takt in Deutschland anzubieten. Der ITF ist vorteilhaft für die Kunden, weil der Fahrplan einprägsam und die Angebote hoch verfügbar sind.

Im Gegensatz dazu waren „Einzelfahrten“ in China die einzige Strategie des Entwurfs des Personenverkehrs. Die Lage jeder Zugfahrt ist unabhängig von den anderen Zügen im Fahrplan festzulegen, weil sich der Schienenpersonenverkehr wegen vorheriger Leistungsbeschränkung des kleinen Eisenbahnnetzes und geringen Anteils im gesamten Schienenverkehr nur individuell an den stärksten Verkehrsströmen orientieren kann.

### **3.3 Disposition des Fahrplans**

#### **3.3.1 Dispositionsregeln**

Durch externe, technische und betriebliche Einflüsse ist der Eisenbahnbetrieb sehr komplex. Störungen im Betrieb verursachen die Urverspätungen von Zugfahrten und können noch operative Abweichungen vom Fahrplan erzeugen, woraus dann wiederum Belegungs-, Anschluss- und Umlaufkonflikte hervorgehen. Solche Konflikte können Zugfahrten behindern und zu Folgeverspätungen führen. Die Störungen haben für die Reisenden und das Bahnpersonal als Konflikte im Eisenbahnbetrieb vor allem zur Folge:

- Verlängerung der Beförderungszeit
- Verlust der Zuganschlüsse
- Störung des Umlaufs von Betriebsmitteln und Personal

Aufgabe des Bahnbetriebs von EIU und EVU ist es, die negative Wirkung auf Reisende und Gütertransport möglichst gering zu halten und die vom Kunden eingekaufte Leistungsqualität zu gewährleisten und die Wirtschaftlichkeit zu garantieren.

Um ein sicheres, pünktliches und wirtschaftlich betriebenes Eisenbahnnetz zu realisieren, muss die kurzfristige Planung bzw. die Disposition rechtzeitig während der Betriebsabwicklung erfolgen, um auf Abweichungen des Fahrplanes zu reagieren. Die wichtigste Voraussetzung bei der Disposition ist, dass die Adjustierung im Fahrplan nicht die Betriebsflüssigkeit und Betriebsqualität beeinträchtigen darf.

#### **3.3.2 China**

Aufgrund der Wichtigkeit der Dispositionen des Fahrplans wurde ein Dispositionssystem mit EDV-Technik in China entwickelt, damit können die routinemäßigen Entscheidungen im Bahnbetrieb augenblicklich durch das System ermittelt werden. In China wird der Zugbetrieb mittels **Train operation Dispatching Command System (TDCS)** überwacht und kontrolliert. Das TDCS ist ein Rechner-Netzgestütztes-Dispositionssystem und kann automatisch optimale Konfliktlösungen unter Berücksichtigung aller auf den Betriebsprozess aktuell einwirkenden Randbedingungen

suchen sowie eine rechtzeitig angepasste Disposition erzeugen. Das System wurde vorher auch **Dispatch Management Information System (DMIS)** genannt und danach weiter entwickelt.

Das TDCS besteht aus den drei Ebenen: TDCS (MOR), TDCS (Regionaldirektion) und TDCS (Betriebsstelle). Das TDCS (MOR) überwacht makroskopisch die Zustände der Hauptkorridore, die Betriebsgrenze zwischen den Regionaldirektionen, die wichtigsten Knotenpunkte und die Rangierbahnhöfe. Das TDCS (Regionaldirektion) überwacht die Züge innerhalb des Netzes der Regionaldirektion und entwirft routinemäßige Entscheidungen. Das TDCS (Betriebsstelle) soll die Entscheidungen bzw. Dispositionen durchführen sowie die IST-Ankunfts- und Abfahrtszeit der Züge sammeln, diese Informationen sollen vom TDCS (Betriebsstelle) dem TDCS (Regionaldirektion) weitergeleitet werden.

Die Disposition des Zugbetriebes läuft in folgenden Arbeitsschritten ab:

- Feststellung des aktuellen Zustands des Zugs (IST-Ankunfts- und Abfahrtszeit, Position, usw.)
- Durchführen eines Soll-IST-Vergleiches zur Ermittlung der Planabweichungen und zur präzisen Identifikation der Konfliktlage (Konflikterkennung) in folgenden Konfliktfällen:
  - Belegungskonflikte zwischen den Zügen, die in gleicher Richtung fahren und die gleiche Kante belegen
  - Belegungskonflikte zwischen den Zügen, die in entgegengesetzter Richtung fahren und dieselbe Kante belegen
  - Belegungskonflikte zwischen den Zügen, die in Bahnhof halten bzw. fahren und die Nebengleise belegen oder wenn die reale Zugfolgezeit kleiner ist als die zulässige Zugfolgezeit
  - Konflikte im Sperrbereich oder dem Bahnhof, wenn z. B. ein Zug in den Sperrbereich einfährt
- Vorausschau (Prognose 3 bis 4 Stunden) der aus den Begleitumständen zu erwartenden Entwicklung und Festlegung der Prioritäten der Züge nach:
  - Von MOR bestimmte Priorität der Personenzüge (Hochgeschwindigkeitszug  $\geq$  Direkt-Express-Zug > extra Schnellzug > überregionaler Schnellzug > regionaler Schnellzug > Normalzug). Die Güterzüge haben dynamische Zugprioritäten, diese Prioritäten liegen

zwischen den maßgebenden Güterzugprioritäten und den niedrigsten Personenzugprioritäten

- Pünktlichkeit bei gleicher Zugklasse, die Vorrangfolge der Züge ist:
- Für Personenverkehr pünktlich (< 5 min) > wenig verspätet (5-10 min) > stark verspätet (> 10 min)
- Für Güterverkehr pünktlich (< 15 min) > wenig verspätet (15 - 30 min) > stark verspätet (> 30 min)
- Wenn die Züge zu gleicher Zugklasse gehören, die Vorrangfolge der Züge in der Betriebsstelle ist:
- Durchfahrende oder haltende Züge > ankommende und abfahrende Züge
- Nebenwirkungen für die Störungen der Fahrt anderer Züge
- Eine die Konfliktlage beseitigende bzw. entspannende Lösung/Maßnahme (Konfliktlösung) soll nach dem Konfliktfall innerhalb 5 Stunden gesucht werden
- Kontrollieren der Auswirkungen der Maßnahme

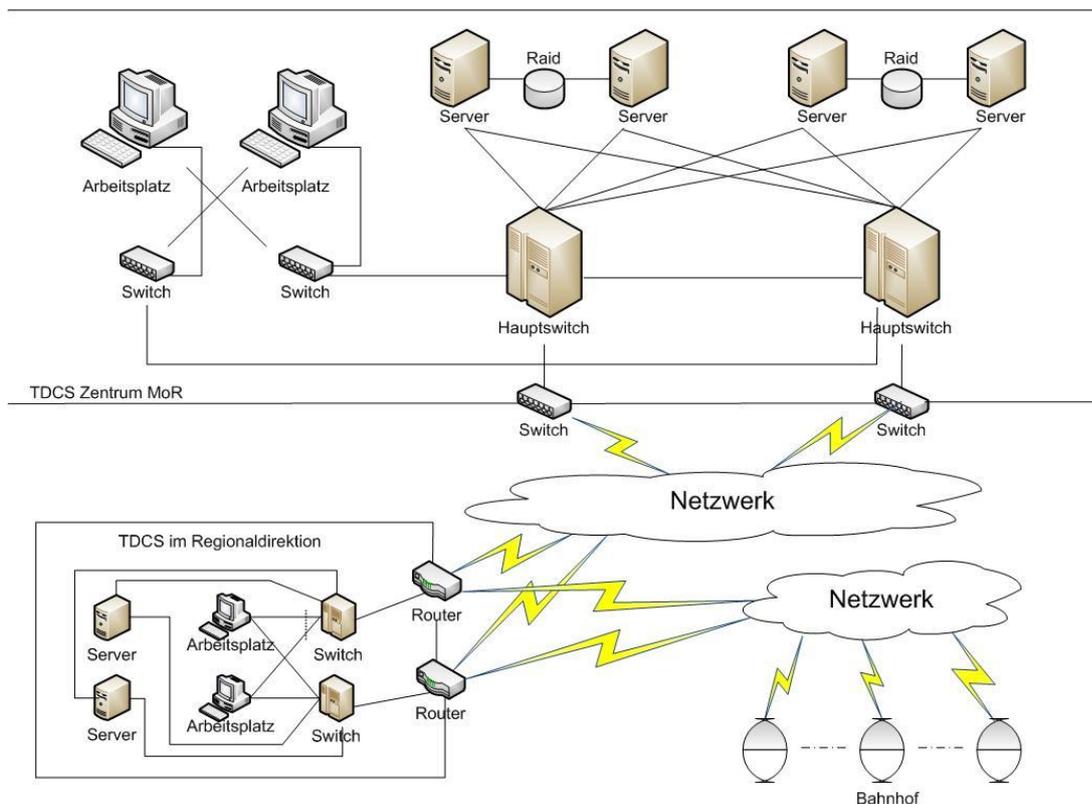


Abbildung 3-11 TDCS System (eigene Darstellung)

### 3.3.3 Deutschland

Bei der DB Netz AG, die der größte Eisenbahnnetzbetreiber in Deutschland ist, sind folgende Betriebsleitstellen (BLST) eingerichtet:

- Eine Netzleitzentrale (NLZ)
- Sieben Betriebszentralen (BZ)

Die NLZ disponiert die Züge des Schienenpersonenfernverkehrs und ausgewählte Güterzüge auf der Grundlage fahrplanbezogener Vorgaben und koordiniert bei Ereignissen mit überregionalen und bahngrenzüberschreitenden Auswirkungen die erforderlichen Maßnahmen.

In den BZ konzentriert sich die Steuerung des Zug- und Rangierbetriebes auf zugeordnete Strecken und Betriebsstellen sowie die Strecken- und Knotendisposition auf der Basis moderner rechnergestützter leit- und steuertechnischer Verfahren. Das beinhaltet die Fernbedienung von Stellwerken durch die örtlich zuständigen Fahrdienstleiter (özf) aus der BZ sowie perspektivisch die Zuglenkerfunktion als qualifizierte Strecken- und Knotendisposition. [DBA05]



Abbildung 3-12 NLZ und BZ in Deutschland

BLST disponieren vorausschauend und bei plötzlich eintretenden Ereignissen den Zugbetrieb und arbeiten eng mit transportleitenden Stellen der Kunden zusammen. Bei Planabweichungen und vorübergehend eingeschränkter Nutzung der Fahrweginfrastruktur treffen sie betriebliche Entscheidungen zur Weiterführung des Betriebes unter bestmöglicher Einhaltung der Pünktlichkeit. Sie unterstützen die fahrwegtechnischen Instandhaltungsdienste bei der raschen Wiederherstellung der Verfügbarkeit gestörter Fahrweeinrichtungen. [DBA05]

Die Dispositionsregeln bei der DB Netz AG werden folgendermaßen definiert: [DBA05]

- Dringliche Hilfszüge haben Vorrang vor anderen Zügen. Abweichungen regelt der Netzkoordinator.
- Premiumprodukte (Express-Trassen) haben Vorrang vor übrigen Zügen.
- Bei gleichwertigen Produkten haben schneller fahrende Züge grundsätzlich Vorrang vor langsamer fahrenden Zügen (Reisegeschwindigkeit). Hierbei sind auch kundenverträgliche Transport-/Reisezeiten zu berücksichtigen.
- Züge auf Strecken, für die im VzG (Verzeichnis örtlich zulässiger Geschwindigkeiten) besondere Nutzungsbedingungen bekannt gegeben sind und die diesen Bedingungen (z. B. S-Bahn-Strecke) entsprechen, haben Vorrang vor anderen Zügen.
- Auf definierten Güterzug-Abfuhrstrecken soll Güterzügen Vorrang gewährt werden.

## 4 Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität

Die Leistungsfähigkeitsuntersuchung von Eisenbahnbetriebsanlagen ist die Möglichkeit der Abwicklung bestimmter Betriebsprogramme auf einer Infrastruktur. Die Untersuchungen der Leistungsfähigkeit werden zu folgenden Zwecken durchgeführt: [Pac08]

- Bedarfsgerechte Dimensionierung von Anlagen anhand geplanter oder prognostizierter Betriebsprogramme
- Prüfung der Durchführbarkeit von Betriebsprogrammen auf einer gegebenen Infrastruktur

Die Eisenbahninfrastruktur, die Leistungsfähigkeit und die Betriebsqualität setzen sich in ihrem Wirkungsgefüge wie in folgender Abbildung 4-1 zusammen. Zur Ermittlung einer der drei Gebiete müssen vorher die Werte der anderen zwei bekannt sein.

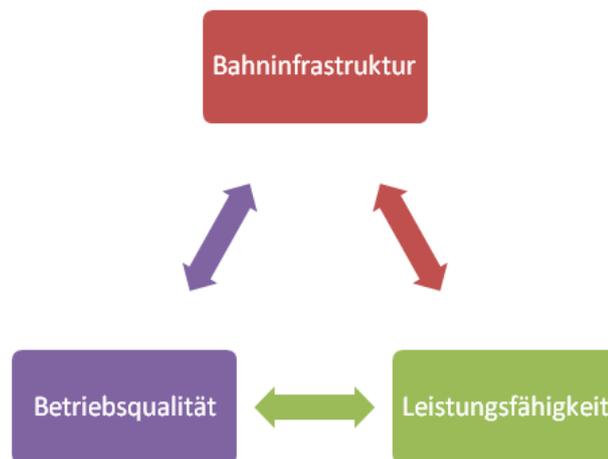


Abbildung 4-1 allgemeine Wirkungsgefüge

### 4.1 Definitionen

Das **Leistungsverhalten** einer Eisenbahnbetriebsanlage ist die Reaktion des Bahnsystems, eine bestimmte Leistung unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit und der gestellten Anforderungen zu erreichen. Das Leistungsverhalten ist ein Prozess und beschreibt die Zusammenhänge zwischen der Streckenauslastung (meist angegeben als Durchsatz in Zügen je Zeiteinheit) und der Betriebsqualität.

Die **Leistungsfähigkeit** einer Eisenbahnbetriebsanlage ist ihr Vermögen, eine bestimmte Leistung unter Annahme unbeschränkter Leistungsanforderungen mit einer gegebenen Struktur und Technologie zu erzielen. Die Leistungsfähigkeit ist nicht konstant, sondern eine Variable, sie kann anhand von Verbesserung der Betriebsprogramme bzw. der Entwicklung der Betriebsanlagen erhöht werden. Die

Leistungsfähigkeit einer Strecke ist eine theoretische Kenngröße, die die Anzahl von Zügen angibt, die bei gegebener Fahrplanstruktur und bei voller Nutzung der technisch zugelassenen Fahrmöglichkeiten allerdings ohne Qualitätsanforderungen, durchführbar wäre. [Die08] Die maximale Leistungsfähigkeit ist eine absolute Obergrenze für die Belastung des Systems, die in der Praxis tatsächlich nicht erreicht wird.

Als **Betriebsleistung** wird die Anzahl von Zügen bezeichnet, die bei einer vorgegebenen Reihenfolge unter Nutzung von Reservezeitanteilen (wie Fahrzeitzuschlägen) auf der untersuchten Strecke gefahren wurden, die Betriebsleistung gilt als die praktische Fahrleistung.

Die **Nennleistung** umfasst die Summe der Anzahl von Zügen, die innerhalb eines Zeitraumes und unter Berücksichtigung

- der bestehenden Infrastruktur,
- eines festgelegten Fahrplans,
- der Reservezeiten sowie
- der Fahrplan- oder Betriebsqualität

fahren.

## 4.2 China

In China wird die Leistungsuntersuchung erstens in den vier Infrastrukturkomponenten auseinander berücksichtigt:

1. Freie Strecke zwischen Bahnhöfen
2. Bahnhöfe bzw. Betriebspunkte
3. Instandhaltungs- und Überprüfungsanlagen für Lokomotiven und Bahnwagen
4. Umspannwerk und Oberleitung entlang der Strecke mit Elektrifizierung

Die endgültige Leistungsfähigkeit der untersuchten Eisenbahnstrecken sowie -Netze wird danach von einer Infrastrukturkomponente bestimmt, die geringste Leistung im System produziert hat.

In der Praxis des Bahnbetriebs wird die Leistungsfähigkeit noch in drei Begriffe aufgeteilt: **Entwurf**, **Betrieb** und **Bedarf**.

- **Entwurf**: Erstellung von Planungsleistungsfähigkeit der Neubau- und Ausbaustrecke
- **Betrieb**: die anhand der bestehenden Infrastruktur und der Organisation des Zugumlaufs verwirklichte Leistungsfähigkeit

- **Bedarf:** In einem bestimmten Zeitraum, um den Bedarf des Staates und des Volks zu erfüllen, muss die beobachtete Bahnstrecke eine bestimmte Leistungsfähigkeit erreichen.

Die drei obengenannten Leistungsfähigkeiten werden abhängig von den unterschiedlichen Anwendungszielen als maßgebende Leistungsfähigkeit genommen.

#### 4.2.1 Abzugsverfahren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke

##### 4.2.1.1 Symmetrischer Fahrplan

Ein symmetrischer Fahrplan ist ein idealer Fahrplan, in dem die Züge in gleicher Fahrtrichtung die gleichen fahrdynamischen Daten, Geschwindigkeiten usw. haben. Ein Zyklus bezeichnet einen periodisch wiederkehrenden gleichgroßen Zeitabschnitt im Fahrplan, die Zeit eines Zyklus wird als  $T_T$  definiert.

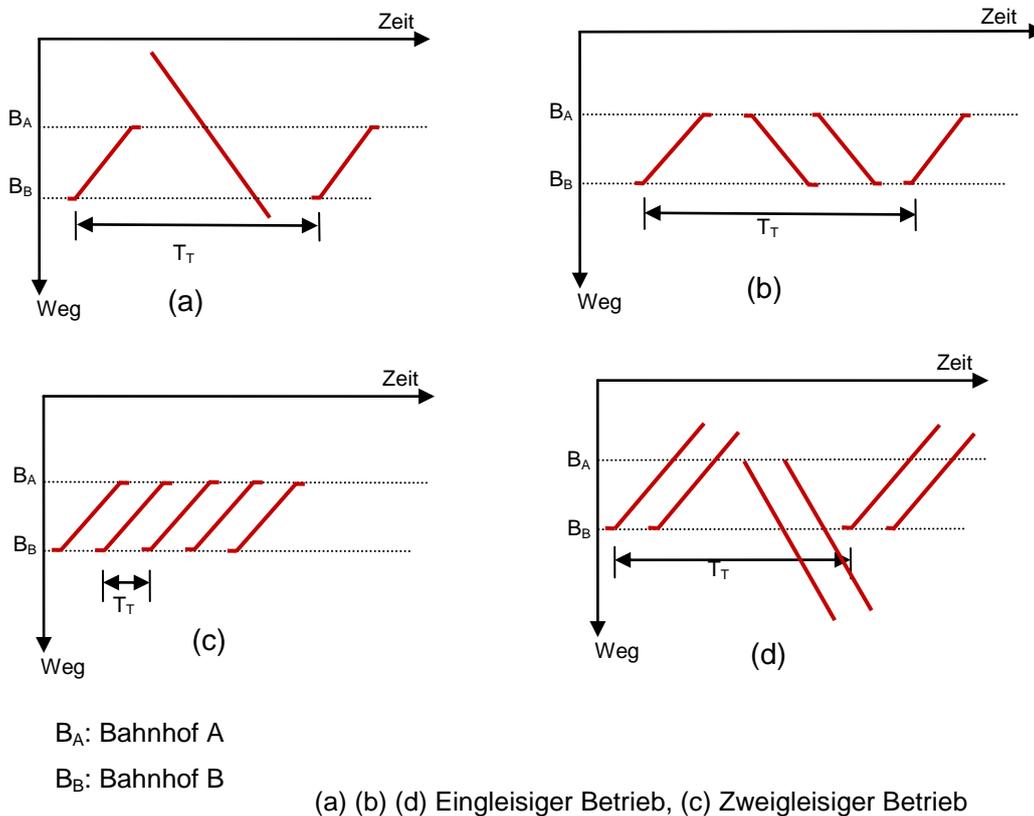


Abbildung 4-2 unterschiedliche Gestaltungen der Zykuseinheit und Zykluszeit  $T_T$

In einem Zyklus wird die Anzahl der Züge als  $n_T$  gezählt, sodass kann die durchschnittliche Belegungszeit eines Zuges  $t_{dB}$  mit Gleichung 4-1 ermittelt werden.

$$t_{dB} = \frac{T_T}{n_T}$$

Gleichung 4-1

Damit kann die Streckenbelastung  $n$  [Züge/Tag] mit folgender Gleichung direkt berechnet werden.

$$n = \frac{1440}{t_{dB}} = \frac{1440 * n_T}{T_T} \quad \text{Gleichung 4-2}$$

Die praxisnahe Streckenbelastung soll mit den zwei folgenden Möglichkeiten berechnet werden, weil die Durchführung der Instandhaltung der Bahnstrecke im bestimmten Zeitraum des symmetrischen Fahrplans schon geplant wurde.

1. Mit Berücksichtigung der Instandhaltung  $T_I$

$$n = \frac{(1440 - T_I) * n_T}{T_T} \quad \text{Gleichung 4-3}$$

2. Mit Berücksichtigung der Instandhaltung  $T_I$  und mit Wirkungsfaktor  $f_w$

$$n = \frac{(1440 - T_I) * f_w * n_T}{T_T} \quad \text{Gleichung 4-4}$$

Die Instandhaltungszeit  $T_I$  besteht aus der Arbeitszeit, in der die Wartung der Bahnstrecke, Instandhaltung bzw. Modernisierung der Bahnanlagen sowie Überprüfung der Oberleitung durchgeführt werden sollen, und der zusätzlichen Fahrzeit aufgrund der Langsamfahrstelle, die wegen Bauarbeiten bzw. Instandhaltung vorübergehend die zulässige Geschwindigkeit beschränkt. Der Wirkungsfaktor  $f_w$  bezeichnet die auf der Untersuchungsstrecke auftretenden Beeinflussungen und ist normalerweise mit empirischer Größe 0,88-0,91 genommen, weil es noch zeitliche Verluste im Bahnbetrieb gibt, die z. B. aufgrund Störungen von Bahninfrastruktur, Verspätungen der Züge und Dispositionen des Fahrplans erzeugt sind.

Die Größe eines Zyklus  $T_T$  setzt sich aus der reinen Fahrzeit von einem Zug oder von einigen Zügen  $\sum t_F$ , der Zeit für die Abfahrtsbeschleunigung  $\sum t_{Ab}$  und Bremsverzögerung  $\sum t_{Br}$  und der Zugfolgezeit in der Betriebsstelle  $\sum t_B$  zusammen.

Die Abbildung 4-3 zeigt, dass zwei Züge 1 und 3 in der Fahrtrichtung B nach A und ein Zug 2 in der umgekehrten Richtung in einem Zyklus sind.

Zug 1 fährt an der Betriebsstelle B ab und hält in der Betriebsstelle A, die Belegungszeit des Zuges 1 im Zyklus besteht aus der Zeit der Abfahrtsbeschleunigung an der Betriebsstelle B  $T_{Ab,1,B}$ , der Zeit der Bremsverzögerung an der Betriebsstelle A  $T_{Br,1,A}$  und der reinen Fahrzeit zwischen B und A  $T_{F,1}$ . Die Kreuzungszeit zwischen Zug 1 und Zug 2 in der Betriebsstelle A ist  $T_{B,A,1-2}$ . Der Zug 2 fährt durch die Betriebsstelle A hindurch und hält in der Betriebsstelle B, die Belegungszeit des Zuges 2 im Zyklus besteht aus der Zeit der Bremsverzögerung an der Betriebsstelle B  $T_{Br,2,B}$  und der

reinen Fahrzeit zwischen A und B  $T_{F,2}$ . Die Kreuzungszeit zwischen Zug 2 und Zug 3 in der Betriebsstelle B ist  $T_{B,B,2-3}$ .

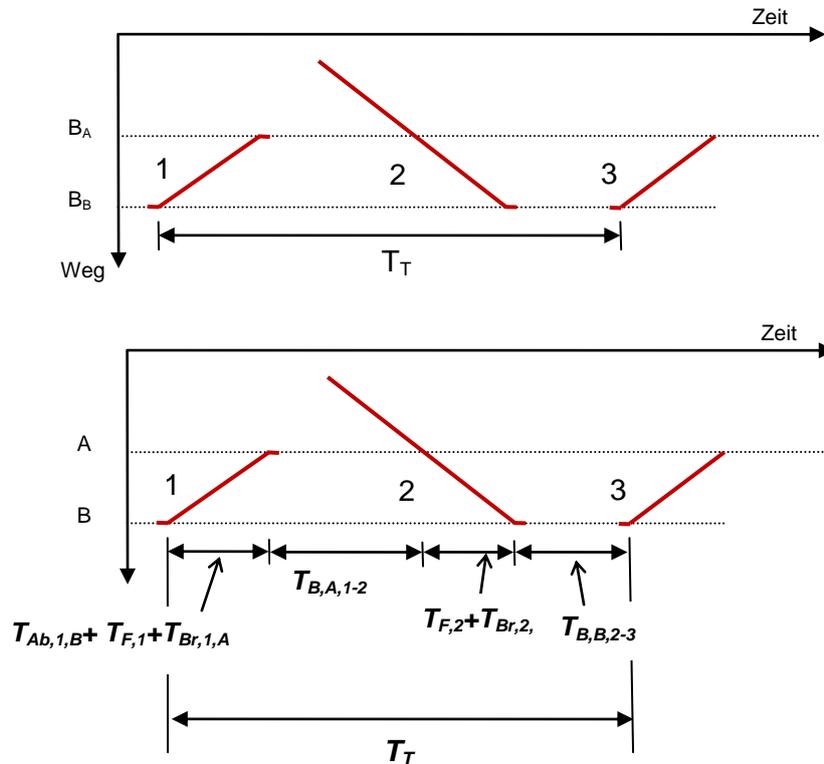


Abbildung 4-3 die Anteile der Belegungszeit eines Taktes  $T_T$

Daher beträgt die zeitliche Größe des Zyklus

$$T_T = T_{Ab,1,B} + T_{Br,1,A} + T_{F,1} + T_{B,A,1-2} + T_{F,2} + T_{Br,2,B} + T_{B,B,2-3}$$

$$T_T = \sum t_F + \sum t_{Ab} + \sum t_{Br} + \sum t_B \quad \text{Gleichung 4-5}$$

Die Streckenbelastung bzw. Leistungsfähigkeit der Strecke hat ein umgekehrtes Verhältnis zu der Größe eines Zyklus  $T_T$ . Auf der Untersuchungsstrecke hat der Streckenabschnitt mit maximaler  $T_T$  die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke beschränkt. Dieser Streckenabschnitt mit maximaler  $T_T$  wird auch „Beschränkungsabschnitt“ bzw. „Engpass“ genannt. Die reine Fahrzeit zwischen Betriebsstellen hat den Großteil von der Größe des Zyklus  $T_T$ , der Streckenabschnitt mit maximaler  $T_F$  wird meistens als „Engpass“ auf der Untersuchungsstrecke angesehen.

Die Abb. 4-2 (c) zeigt, dass die Zugfolgezeit  $l$  zwischen den Zügen auf der zweigleisigen Strecke der symmetrischen Taktzeit  $T_T$  entspricht, die Streckenbelastung jeder Fahrtrichtung wird dann mit Gleichung 4-6 berechnet:

$$n = \frac{1440}{l} \quad \text{Gleichung 4-6}$$

#### 4.2.1.2 Asymmetrischer Fahrplan

Da in China die Zuggattungen vielfältig sind und der Fernverkehr den Großteil des Personenverkehrs hat, ist der Eisenbahnbetrieb sehr kompliziert. Die Züge werden auf den meisten Bahnstrecken heutzutage im Mischbetrieb gefahren, die Reisezüge mit hoher Geschwindigkeit und die langsamen Güterzüge folgen sich unregelmäßig auf der Bahnstrecke. Solche unregelmäßige Zugfolge hat einen asymmetrischen Fahrplan gestaltet.

In der Vergangenheit haben die Personenreisezüge und Eilgüterzüge sehr kleine Anteile des Eisenbahnverkehrs, die Berechnung der Leistungsfähigkeit der Strecke [Züge/Tag] ist deswegen zuerst die Summe der geplanten Güterzüge im Fahrplan. Danach werden die Güterzüge, die wegen der Einlegung der Personenreisezüge im Fahrplan keine Fahrplantrassen haben, von dem Fahrplan entfernt bzw. abgezogen. Die Summe der planbaren Güterzüge und Personenreisezüge, die sich ohne Konflikte im Fahrplan befinden, ist das endgültige Ergebnis der Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke [Züge/Tag].

Es gibt grundsätzlich zwei Methoden, um die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke zu ermitteln:

1. Grafische Methode

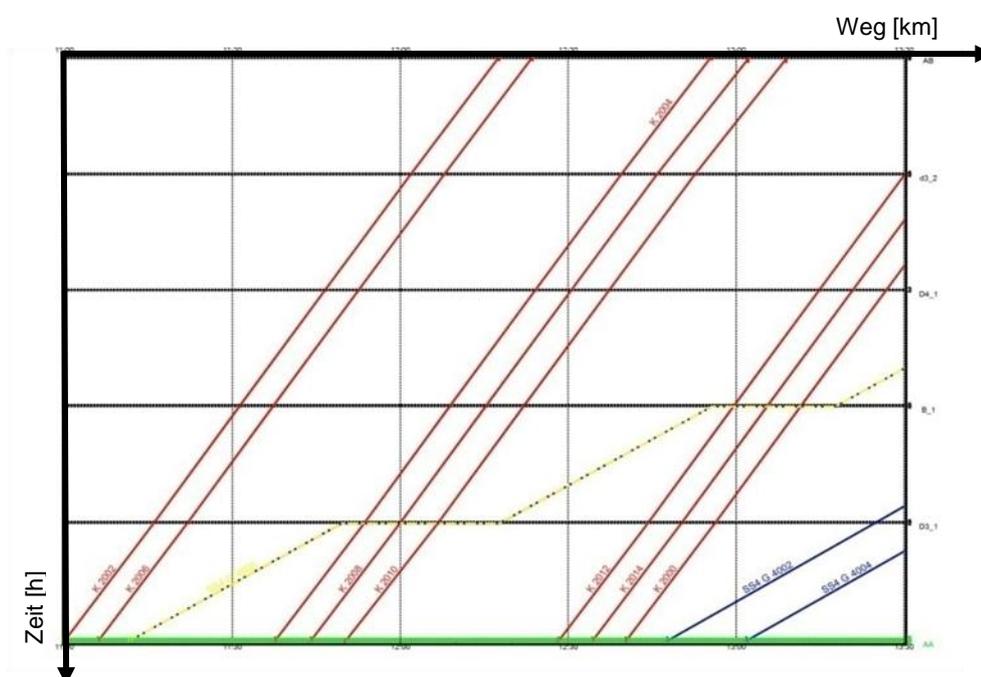


Abbildung 4-4 grafische Methode

Die Abbildung 4-4 hat dargestellt, dass die Abfahrtszeit und die Haltezeit der geplanten Reisezüge bevorzugt nach Bedarf mit den gewünschten Fahrplantrassen (die roten Linien) im Fahrplan festgelegt werden, dann werden die Güterzüge (die gelben und blauen Linien) in der Zeitlücke zwischen den Reisezügen eingefügt. Die Anzahl der Summe der max. angeordneten Güterzüge und Reisezüge innerhalb 24 Stunden stellt die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke dar.

## 2. Analytische Methode

Durch die Festlegung der Abzugsfaktoren von Reisezug, Eilgüterzug und Sammelgüterzug kann die Leistungsfähigkeit des asymmetrischen Fahrplans  $n_{AS}$  annähernd ermittelt werden.

Die Voraussetzung für die Berechnung der Leistungsfähigkeit einer Strecke mit dem Verfahren „Abzugsfaktoren“ ist, dass der Fahrplan zuerst ideal nur mit den Güterzügen geplant ist und symmetrisch mit Zyklus periodisch wiederholt wird. Wenn ein Reisezug oder ein Eilgüterzug bzw. ein Sammelgüterzug im Fahrplan eingelegt wird, werden einige Güterzüge wegen der Beeinflussung von „Eindringlingen“ von dem Fahrplan abgezogen. Solche Verhältnisse werden als ein Abzugsfaktor dargestellt.

$$n_G^{AS} = n_G - \varepsilon_p * n_p - (\varepsilon_{eg} - 1) * n_{eg} - (\varepsilon_{sgz} - 1) * n_{sgz} \quad \text{Gleichung 4-7}$$

$$n^{AS} = n_p + n_G^{AS} \quad \text{Gleichung 4-8}$$

$n_G$	Anzahl der Güterzüge im symmetrischen Fahrplan
$n^{AS}$	Anzahl der Summe von den Güterzügen und den Reisezügen im asymmetrischen Fahrplan
$n_G^{AS}$	Anzahl der gesamten Güterzüge im asymmetrischen Fahrplan (Eilgüterzug und Sammelgüterzug sind eingeschlossen.)
$n_p$	Anzahl der Reisezüge im Fahrplan
$n_{eg}$	Anzahl der Eilgüterzüge im Fahrplan
$n_{sg}$	Anzahl der Sammelgüterzüge im Fahrplan
$\varepsilon_p$	Abzugsfaktor von Reisezügen
$\varepsilon_{eg}$	Abzugsfaktor von Eilgüterzügen
$\varepsilon_{sg}$	Abzugsfaktor von Sammelgüterzügen

Die Größe der Abzugsfaktoren soll nach verschiedenen Situationen des Betriebs (z. B. eingleisig, zweigleisig oder mehrgleisig) festgelegt werden und kann in der Praxis nach

den vom MOR bestimmten Gleichungen grob geschätzt werden. Die Genauigkeit der Abzugsfaktoren hat große Einwirkungen auf die Ergebnisse der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke.

Im Folgenden wird ein Beispiel für die Berechnung des Abzugsfaktors des Reisezugs auf zweigleisiger Strecke mit automatischem Blocksystem dargestellt. Die Reisezüge werden nach der unterschiedlichen Geschwindigkeit als Schnell-Reisezug und als Langsam-Reisezug klassifiziert.

### Schnell-Reisezug

Die Zugfolge der Schnell-Reisezüge hat zwei Möglichkeiten im Fahrplan:

- Die Schnell-Reisezüge treten unregelmäßig als Einzelzug im Fahrplan auf
- Die Schnell-Reisezüge verkehren in einem Zeitraum als folgende bzw. gebündelte Züge

Wenn die Schnell-Reisezüge unregelmäßig im Fahrplan erscheinen, dann wird die Belegungszeit von einem auftretenden Schnell-Reisezug im Fahrplan mit folgender Gleichung 4-9 berechnet:

$$t_{sr} = T_{BE} - (n_{\ddot{u}} + 1) * l \quad \text{Gleichung 4-9}$$

$t_{sr}$  die Belegungszeit von einem Schnell-Reisezug im Fahrplan

$T_{BE}$  die Summe des Zeitraums der Beeinflussung von einem Schnell-Reisezug im Fahrplan

$n_{\ddot{u}}$  die Summe der beeinträchtigten Güterzüge innerhalb des Zeitraums  $T_E$

$l$  Zugfolgezeit von den Güterzügen

$$n_{\ddot{u}} = \frac{\sum t_{d,i}}{l} = \frac{\sum (t_{g,i} - t_{r,i})}{l} \quad \text{Gleichung 4-10}$$

$t_{d,i}$  die Differenz der Fahrzeit zwischen Reisezug und Güterzug in betrachteten Abschnitt i [min]

$t_{g,i}$  die reine Fahrzeit eines Güterzugs in betrachteten Abschnitt i [min]

$t_{r,i}$  die reine Fahrzeit eines Reiserzugs in betrachteten Abschnitt i [min]

$$\varepsilon_{sr} = \frac{t_{sr}}{l} \quad \text{Gleichung 4-11}$$

$\varepsilon_{sr}$  Abzugsfaktor des Reisezugs

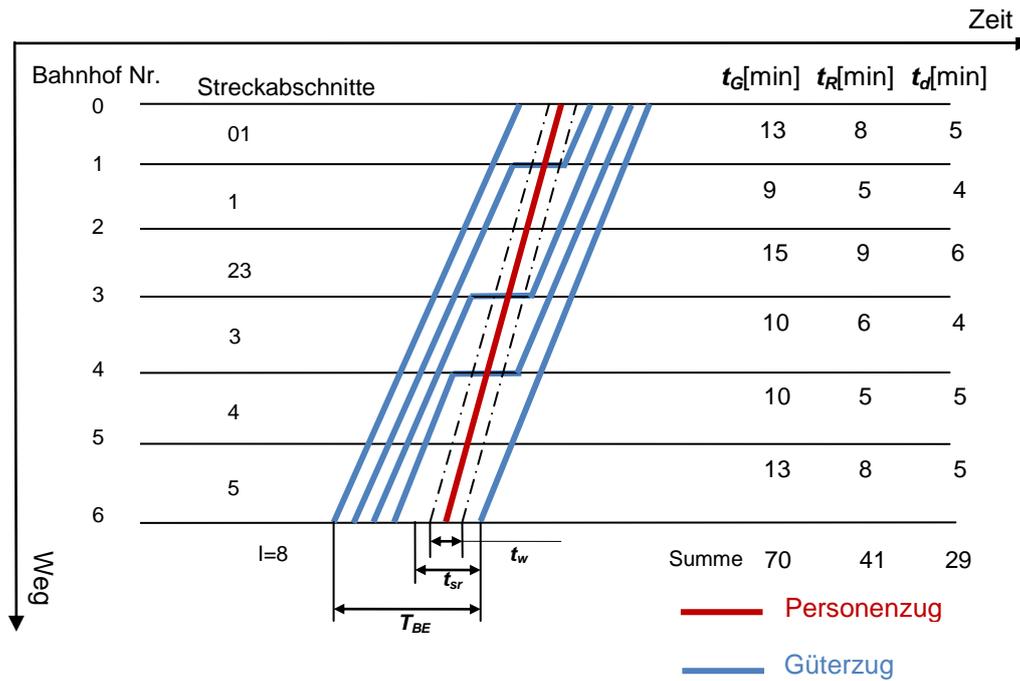


Abbildung 4-5 Einlegen eines Schnell-Reisezugs im Fahrplan

Aus den Gleichungen 4-9 und 4-10 ersieht man die Berechnung der Belegungszeit von einem Schnell-Reisezug.

$$t_{sr} = T_{BE} - \sum (t_{g,i} - t_{r,i}) - l \quad \text{Gleichung 4-12}$$

Hierdurch wird auch ersichtlich, dass die  $t_{sr}$  nicht von dem Engpass (z. B. längster Abschnitt auf der Untersuchungsstrecke) abhängig ist. Die Berechnung der Belegungszeit von einem Schnell-Reisezug muss alle seine Auswirkungen auf die Güterzüge berücksichtigen, die innerhalb des Untersuchungszeitraums auf der Untersuchungsstrecke erscheinen.

Der Zeitabschnitt  $t_w$  zwischen zwei gestrichelten Linien ist die wesentliche Belegungszeit von einem Schnell-Reisezug im Fahrplan, sie besteht aus der Summe der Zugfolgezeit auf den Vorzug  $l_{vor}$  und der Zugfolgezeit des Folgezugs  $l_{fol}$ .  $t_{sr}$  ist die berechnete Belegungszeit des Schnell-Reisezugs, die durch  $n_{\bar{u}}$  (die Summe der beeinträchtigten Güterzüge innerhalb des Zeitraums  $T_E$ ) ermittelt wird. Die Differenz zwischen  $t_{sr}$  und  $t_w$  ist als zusätzlich sich ergebende Zeit  $t_z$  definiert, die den mathematischen Rest zwischen der Zugfolgezeit der Güterzüge  $l$  und der Summe der  $t_{d,i}$  zwischen den Überholstellen ist.

$$\varepsilon_{sr} = \frac{t_{sr}}{l} = \frac{t_w + t_z}{l} = \frac{t_w}{l} + \frac{t_z}{l} = \varepsilon_w + \varepsilon_z \quad \text{Gleichung 4-13}$$

$$\varepsilon_w = \frac{t_w}{l} = \frac{l_{vor} + l_{folg}}{l} \quad \text{Gleichung 4-14}$$

$$t_z = \sum t_{d,i} - n * i \quad \text{Gleichung 4-15}$$

$\varepsilon_w$  wesentlicher Abzugsfaktor eines Reisezuges

$\varepsilon_z$  zusätzlicher Abzugsfaktor eines Reisezuges

$n$  positive Zahl

Die Berechnungen der  $\varepsilon_w$  und  $\varepsilon_z$  sollen mit der Zugfolgezeit von den Güterzügen zusammen durchgeführt werden. Ein Beispiel zur Darstellung des Berechnungsprozesses wird als Anhang E eingefügt.

Die Berechnung des Abzugsfaktors  $\varepsilon_{sr}$  ist anhängig von Zugfolge und Zugfolgezeit im Fahrplan, um eine allgemeine bzw. einfache Methode zur Ermittlung des Abzugsfaktors  $\varepsilon_{sr}$  auf zweigleisigen Strecken zu finden, hat China Academy Railway Science (CARS) viele Untersuchungen durchgeführt. Mittels der Statistik der Daten aus der Praxis und Untersuchungen hat sie eine empirische Gleichung zwischen der zusätzlich sich ergebenden Zeit  $t_z$  und der Zeitdifferenz  $t_d$  im Engpass entwickelt.

$$t_z = 1,025 * t_d + (0,05 - 0,0375 * t_d) * l - 1,4 \quad \text{Gleichung 4-16}$$

$$\varepsilon_z = \frac{t_z}{l} = 0,05 - 0,375 * t_d + (1,025 * t_d - 1,4) / l \quad \text{Gleichung 4-17}$$

$$t_{sr} = 1,025 * t_d + (2 * \Delta + 0,05 - 0,0375 * t_d) * l + t_{s,h} - 1,4 \quad \text{Gleichung 4-18}$$

$$\varepsilon_{sr} = \frac{t_{sr}}{l} = 2 * \Delta + 0,05 - 0,0375 * t_d + (1,025 * t_d + t_{s,h} - 1,4) / l \quad \text{Gleichung 4-19}$$

Wenn die Schnell-Reisezüge im Fahrplan unregelmäßig verteilt sind, wird der Empfehlungswert des Abzugsfaktors in der folgenden Tabelle abgelesen.

$l$ [min]	6	7	8	9	10	11	12
$\varepsilon_{sr}$	2,8	2,6	2,4	2,3	2,25	2,15	2,05

Tabelle 4-1 Empfehlungswert von Abzugsfaktoren

Wegen der raschen Entwicklung der Wirtschaft in China haben die Reisenden mehr Bedarf an dem Fernverkehr bzw. an den Schnell-Reisezügen. Um der gestiegenen Nachfrage gerecht zu werden, hat MOR eine Angebotsstrategie im Fernverkehr entwickelt, die Schnell-Reisezüge werden im bestimmten Zeitraum auf den Strecken meistens folgend und gebündelt abfahren. Um den Annäherungswert des durchschnittlichen Abzugsfaktors des Schnell-Reisezuges  $E_{sr}$  schnell zu ermitteln, hat China Academy Railway Science (CARS) die folgende Gleichung vorgeschlagen:

$$E_{sr} = \alpha \varepsilon_{sr} = (1,07 - 0,0053 * n_{sr} + n_{sr}^2 * 10^{-5}) * \varepsilon_{sr} \quad \text{Gleichung 4-20}$$

Der Faktor  $\alpha$  kann aus Tabelle 4.2 entnommen werden.

$n_{sr}$	10	20	30	40	50	60
$\alpha$	1,0	0,97	0,92	0,87	0,83	0,79

Tabelle 4-2 Empfehlungswert  $\alpha$

Die Basiszahl von  $\varepsilon_{sr}$  kann man in Tabelle 4.1 ablesen, wenn die Anzahl der Reisezüge um 10 Züge zugenommen hat, wird der Wert von  $\varepsilon_{sr}$  je um 0,1 reduziert.

### Langsam-Reisezug

Die Reisezüge, die wegen Betriebsbedarf fast an jedem Bahnhof halten müssen, haben die gesamte Reisezeit erhöht und werden als Langsam-Reisezug definiert. Diese Langsam-Reisezüge haben großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke.

Wegen der betrieblichen Aufgaben werden die Langsam-Reisezüge im Fahrplan:

- von anderen Zügen überholt
- nicht von anderen Zügen überholt

Wenn die Langsam-Reisezüge im Fahrplan nicht von anderen Zügen überholt werden, kann die Größe des Abzugsfaktors des Langsam-Reisezugs mit folgenden Gleichungen ermittelt werden.

$$t_{lr} = T_{lr} - T_G + I_{vor} + I_{folg} - I \quad \text{Gleichung 4-21}$$

$t_{lr}$  die Belegungszeit von einem Langsam-Reisezug

$T_{lr}$  die gesamte Reisezeit von einem Langsam-Reisezug

$T_G$  die gesamte Reisezeit von einem Güterzug

$I$  Zugfolgezeit

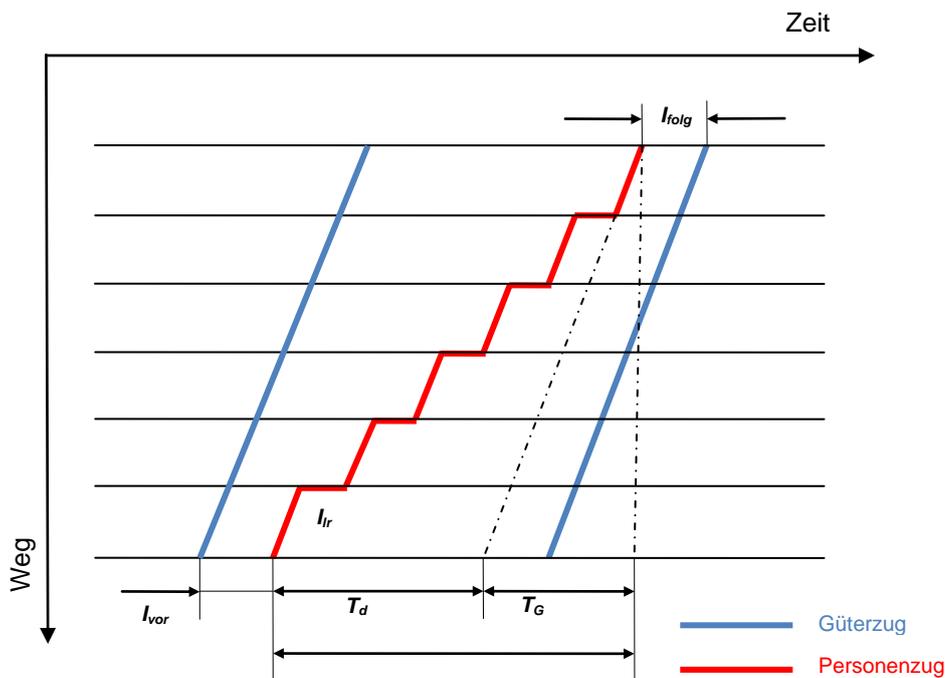


Abbildung 4-6 Langsam-Reisezüge ohne Überholen im Fahrplan

Der Abzugsfaktor  $\varepsilon_{lr}$  eines Langsam-Reisezugs ohne Überholen im Fahrplan ist:

$$\varepsilon_{lr} = \frac{t_{lr}}{l} = \frac{T_{lr} - T_G + l_{vor} + l_{folg} - l}{l} \quad \text{Gleichung 4-22}$$

$$l_{vor} \approx l_{folg} \approx l \text{ und } T_d = T_{lr} - T_G$$

$$\varepsilon_{lr} = \frac{T_d}{l} + 1 \quad \text{Gleichung 4-23}$$

Die Gleichung 4-23 hat die Verhältnisse dargestellt, dass  $\varepsilon_{lr}$  stark abhängig von der Zugfolgezeit und der Differenz der gesamten Reisezeit zwischen Güterzug und Langsam-Reisezug ist.

Wenn mehrere Reisezüge mit unterschiedlicher Geschwindigkeit im Fahrplan auftreten, gibt es die Wahrscheinlichkeit, dass die Schnell-Reisezüge aufgrund ihrer hohen Prioritäten im Bahnbetrieb die Langsam-Reisezüge in der Betriebsstelle überholen sollen. Aus diesem Grund wird einerseits die Haltezeit von Langsam-Reisezügen stark verlängert und der Abzugsfaktor  $\varepsilon_{lr}$  entsprechend erhöht, andererseits überschneiden sich die Beeinflussungsbereiche von den Schnell-Reisezügen und den Langsam-Reisezügen im Fahrplan, wodurch die durchschnittliche Abzugszeit stark reduziert wird und die Überholungen in der Berechnung vorteilhaft für Verringerung des Abzugsfaktors sind.

In Anbetracht der verschiedenen Beeinflussungen hat das MOR und CARS eine Annäherungsgleichung vorgeschlagen, mit der ist die durchschnittliche Größe von  $E_{lr}$  grob zu ermitteln.

$$E_{lr} = \beta \varepsilon_{lr} = (1,0 - 0,0017 * n_{lr} + 0,000125 * n_{lr}^2) * \varepsilon_{lr} \quad \text{Gleichung 4-24}$$

Die Größe des Faktors  $\beta$  kann in der folgenden Tabelle 4-3 genommen werden.

$n_{lr}$	10	20	30	40	50	60
$\beta$	0,83	0,69	0,58	0,49	0,43	0,39

Tabelle 4-3 Empfehlungswert  $\beta$

#### 4.2.2 Zusammenfassung

Die Ermittlung der Größe des Abzugsfaktors ist abhängig von vielen Faktoren, von denen die wichtigsten im Folgenden zusammengestellt sind:

1. Die unterschiedliche Länge der Streckenabschnitte auf der Untersuchungsstrecke
2. Die Fahrgeschwindigkeit des Zuges, die Summe der im Fahrplan geplanten Reisezüge, Eilgüterzüge und Sammelgüterzüge
3. Die Anzahl der Zwischenhalte sowie die Haltezeit von den Reisezügen und den Sammelgüterzügen
4. Die Zugfolgezeit

Die Beeinflussungen des Abzugsverfahrens können nur nach der Trassierung des Fahrplanes festgelegt werden, d. h., die Berechnung der Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke kann nur mit der empirischen Größe des Abzugsfaktors durchgeführt werden.

Strecke		Blocksystem		
		Reisezug	Eilgüterzug	Sammelgüterzug
Eingleisig	Automatisch	1,0	1,0	1,0-1,56
	Halb-Automatisch	1,1-1,3	1,2	1,3-1,5
Zweigleisig	Automatisch	Sieh Tab. 4.5	2,0-2,3	2,5-3,0
	Halb-Automatisch	1,3-1,5	1,4	1,5-2,0

Tabelle 4-4 empirischer Wert des Abzugsfaktors

Der Abzugsfaktor des Reisezugs auf zweigleisiger Strecke mit Vier-Aspekt-Signalisierung kann mittels der Größe in der Tabelle 4-5 und der grafischen Methode ermittelt werden.

Anzahl der Reisezüge	/ [min]						
	6	7	8	9	10	11	12
5~10	-	-	2,3~2,4	2,15~2,3	2,05~2,2	1,95~2,1	1,9~2,0
11~20	-	-	2,3~2,35	2,15~2,2	2,05~2,1	1,92~2,0	1,8~1,9
21~30	-	2,4~2,45	2,2~2,25	2,05~2,1	1,95~2,0	1,85~1,9	1,7~1,8
31~40	2,5~2,55	2,3~2,35	2,1~2,15	1,95~2,0	1,85~1,9	1,75~1,8	1,6~1,7
41~50	2,4~2,45	2,2~2,25	2,0~2,05	1,85~1,9	-	-	-
51~60	2,3~2,35	2,1~2,15	1,9~1,95	-	-	-	-
≥61	Ermittlung durch grafische Methode						

Tabelle 4-5 Abzugsfaktor eines Reisezugs auf zweigleisiger Strecke mit Drei-Aspekt-Signalisierung  
[Mtn90]

### 4.3 Deutschland

Die Leistungsfähigkeit einer Eisenbahnstrecke wird von der technischen Ausrüstung der Streckenelemente, der im Bahnbetrieb angewandten Technologie und der während der Betriebsabwicklung entwickelten Dispositionsstrategie bestimmt. Die Ermittlungsergebnisse der Leistungsfähigkeiten sind bei folgenden drei Zuständen unterschiedlich:

- Einen theoretischer Zustand
- Einen fahrplanmäßiger Zustand und
- Einen aktueller Zustand während der Betriebsabwicklung

Die Beeinflussung zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit einer Bahnstrecke wird zusammengefasst durch folgende Faktoren bestimmt. [DBA99] [Deu92] [Pac08] [Sch03]

- die Mindestzugfolgezeiten
- die Mischung der Zugfolgefälle
- die Richtungs Bündelung bei Zweirichtungsbetrieb
- die Rangordnung
- die Häufigkeitsverteilung der Zugfolgezeiten
- die Häufigkeitsverteilung der Einbruchsverspätungen sowie deren Größe
- die Häufigkeitsverteilung der Pufferzeiten sowie deren Größe
- der geforderte Qualitätsmaßstab für die Betriebsflüssigkeit

- die Breite der Fahrplanschneisen für die Instandsetzung der Infrastrukturanlagen
- die Dauer der Nachruhe
- die Anzahl und Nutzbarkeit der Streckengleise
- die Anzahl und die Verteilung von Überholungs- und Kreuzungsbahnhöfen
- die Blockeinteilung bzw. das Abstandhalteverfahren

Zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit müssen zuerst die im Bahnbetrieb erzeugten Wartezeiten als Maßstab abgeleitet werden. Die im System auftretenden Wartezeiten sind ein Maßstab für die Bemessung der Leistungsfähigkeit, die sich für den Nutzer des Systems als Verzögerung seines Beförderungsvorganges negativ bemerkbar machen. [Pac08]

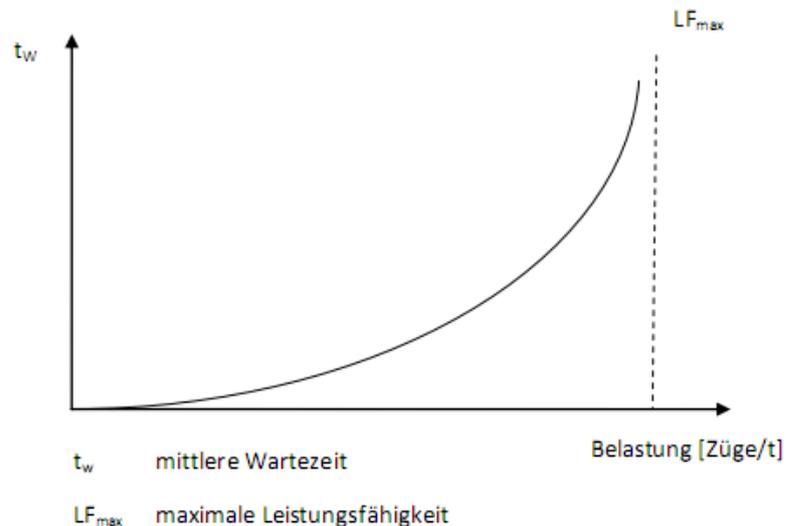


Abbildung 4-7 Wartezeitfunktion

Die Darstellung der Wartezeiten (als mittlere Wartezeit oder Wartezeitsumme) in Abhängigkeit von der Belastung ergibt die das Leistungsverhalten des untersuchten Systems beschreibende Wartezeitfunktion. Die Wartezeitfunktion hat einen progressiv wachsenden Verlauf und konvergiert gegen einen Belastungswert, der als maximale Leistungsfähigkeit bezeichnet wird. [Pac08]

Die im Bahnbetriebssystem auftretenden Wartezeiten bestehen aus zwei wesentlichen Teilen:

- planmäßige Wartezeiten
- außerplanmäßige Wartezeiten

Planmäßige Wartezeiten sind alle Wartezeiten, die bereits in den Fahrplan eingebaut sind, z. B. Wartezeiten beim Überholen und Kreuzen. Sie sind ein Maß für die Bewertung der Planungsqualität des Fahrplans.

Außerplanmäßige Wartezeiten sind die im Betrieb zufällig auftretenden Abweichungen von den planmäßigen Beförderungszeiten, z. B. Zugverspätungen. Die Größe der außerplanmäßigen Wartezeiten bewirkt die Qualität der Betriebsdurchführung.

Die Gegenüberstellung der Wartezeiten in der Fahrplanerstellung und in der Betriebsabwicklung ist in der folgenden Abbildung 4.8 dargestellt.

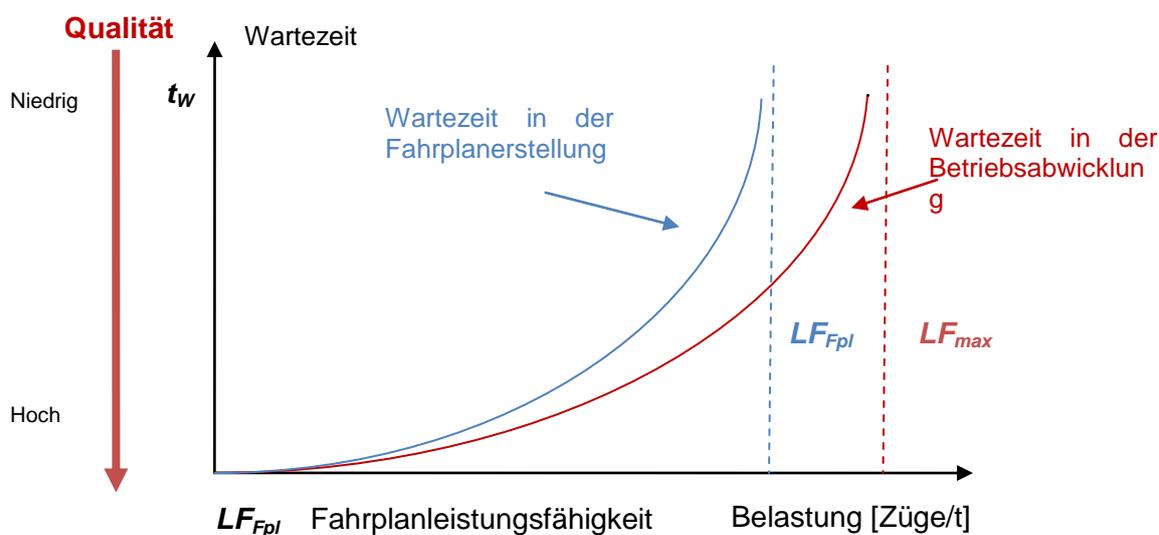


Abbildung 4-8 Wartezeitfunktion in der Fahrplanerstellung und Betriebsabwicklung

Für die Berechnung der Wartezeiten sind die Infrastruktur und die darauf fahrenden Züge als Modelle zu konstruieren. Es gibt in der Regel ein mikroskopisches Modell für ein Teilnetz oder ein makroskopisches Modell für ganze Netze. Die Züge werden basierend auf der Fahrdynamik und weiteren technischen Daten abgebildet und mit gleichen oder ähnlichen Eigenschaften als Modellzüge definiert.

Nach Aufgabenstellung der Untersuchung und ausgewähltem Verfahren wird die zeitliche Lage der Zugfahrten nach Bedarf abgebildet, z. B.

- als Fahrplanlage für die Prüfung eines Fahrplanes,
- als Wunschlage für die Fahrplanstudie oder
- als Tagesganglinien je Modellzug.

Basierend auf diesen Modellen kann die Belegungszeit je Zugfahrt je Block ermittelt werden. Um die Konflikte zwischen zwei oder mehreren Zugfahrten zu vermeiden,

muss man mindestens eine Zugfahrt zeitlich verschieben, diese zeitliche Verschiebung verursacht Wartezeiten.

Prinzipiell gibt es in der Eisenbahnbetriebswissenschaft für die Durchführung von Leistungsfähigkeitsuntersuchungen an Eisenbahnbetriebsanlagen in Deutschland drei verschiedene Verfahren:

- Konstruktive Verfahren sind in der Regel manuelle Verfahren, bei denen Fragen zur Leistungsfähigkeit mithilfe grafischer Ansätze gelöst werden.
- Analytische Verfahren ermitteln die Leistungsfähigkeit und das Leistungsverhalten von Knoten (mit Fahrstraßenknoten und Gleisgruppe) und Teilstrecken durch mathematisch-analytische Berechnungen.
- Simulationsverfahren tragen durch (synchrone oder asynchrone) Betriebssimulation zur Verbesserung der Betriebsdurchführungsqualität für ein Teilnetz bzw. Knoten mit einem netzbezogenen Modellfahrplan bei.

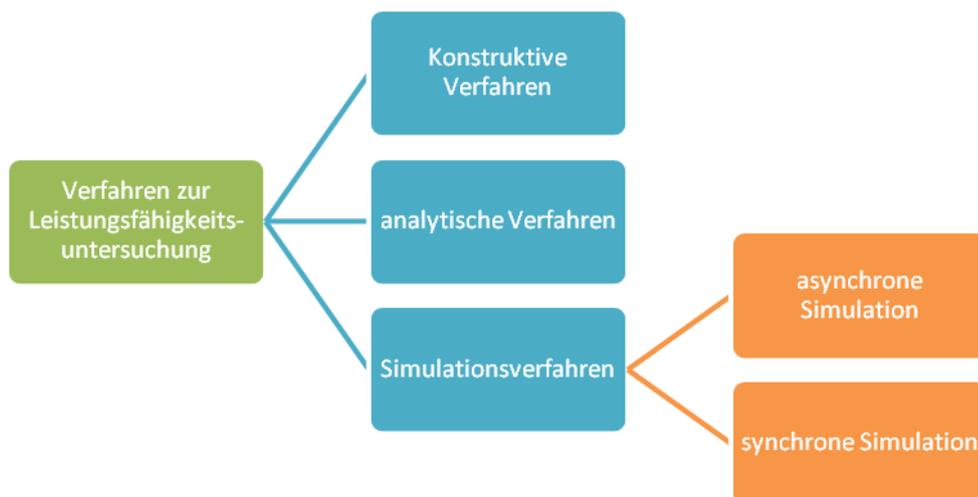


Abbildung 4-9 Verfahren für Leistungsfähigkeitsuntersuchungen

#### 4.3.1.1 Konstruktive Verfahren

Konstruktive Verfahren dienen u. a. der Überprüfung von Betriebsprogrammen hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit auf vorgegebener Infrastruktur, der Ermittlung von Zeitlücken zur Feststellung von Pufferzeiten oder der Überprüfung zusätzlich eingeschobener Zugfahrten.

#### 4.3.1.2 Analytische Verfahren

Die analytische Methode ermittelt die Kenngrößen des Eisenbahnbetriebs basierend auf der Wahrscheinlichkeitstheorie. Die Wahrscheinlichkeitstheorie ermöglicht alle eventuell auftretenden Zugreihenfolgen und zeitlichen Abstände in der Untersuchung,

um die Wartezeiten zu berechnen und Leistungskennwerte zu optimieren. Die Beeinflussungen der Verspätungen während der Betriebsdurchführung können auch in den Berechnungen beobachtet werden. Diese Methode eignet sich für die Untersuchungen mittel- und langfristiger Planungen, besonders zur Bemessung von Netzteilen und zum Variantenvergleich der Gestaltung von Infrastruktur. Ein Beispiel für derartige Verfahren stellen die analytischen Handrechenverfahren nach der ehemaligen DS 405 sowie das darauf basierende Rechenprogramm STRELE dar.

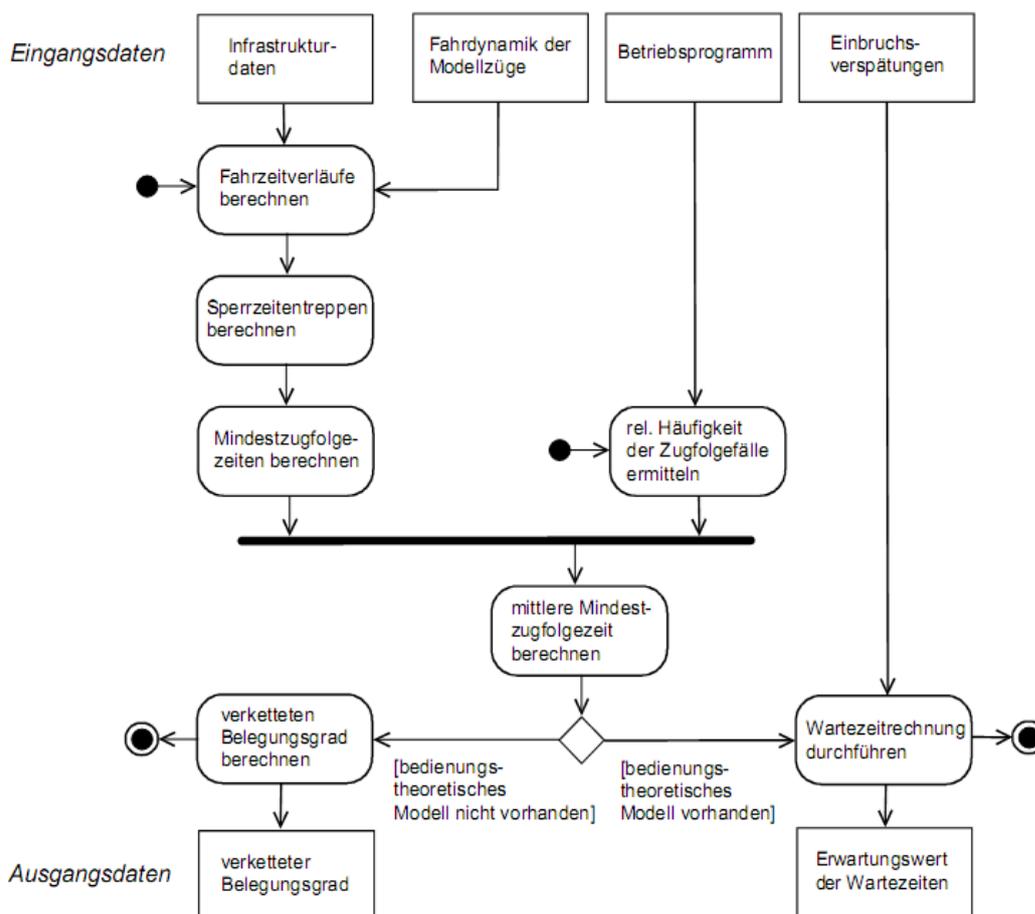


Abbildung 4-10 Ablauf einer analytischen Leistungsfähigkeitsuntersuchung [Pac08]

Die Schritte der Leistungsfähigkeitsuntersuchung einer Bahnstrecke sind in Anhang F detailliert dargestellt.

#### 4.3.1.3 Simulationsverfahren

Das Simulationsverfahren wird grundsätzlich zwischen synchronen und asynchronen Verfahren unterschieden.

Synchrone Simulation	Asynchrone Simulation
<p>Die Ereignisse im Untersuchungsbereich werden in der Folge im Modell erzeugt und bearbeitet, wie sie auch in der Realität des abzubildenden Prozesses auftreten (Simulation synchron zum Prozess).</p> <p>Alle real gleichzeitig im System befindlichen Züge werden auch zum analogen Simulationszeitpunkt gleichzeitig im System behandelt.</p> <p>Der zu simulierende Untersuchungszeitraum wird jeweils nur einmal durchlaufen mit Betrachtung aller Züge und Ereignisse.</p>	<p>Die Ereignisse werden nicht synchron zum realen Prozess simuliert, sondern einzelne Züge (ggf. auch Gruppen) werden sukzessive mit ihrem vollständigen Durchlauf durch das System simuliert, ehe die nächsten Züge abgearbeitet werden.</p> <p>Der zu simulierende Untersuchungszeitraum (bzw. Teile davon) wird mehrfach durchlaufen mit Betrachtung jeweils ausgewählter Züge und Ereignisse.</p>
<p>Unterschiede bezüglich der Prozessabbildung ergeben sich daraus in Bezug auf Prioritäten:</p>	
<p>Rangordnungen werden in einer Form relativer Priorität berücksichtigt (praktisch i. Allg. durch fiktives Belegen eines rangordnungsabhängigen, örtlichen bzw. zeitlichen Dispositionsbereiches).</p> <p>In gewissem Maß können auch niederrangige Züge höherrangige Züge behindern. Durch das fiktive Belegen eines Dispositionsbereiches kann es zu praktisch unnötigen Behinderungen kommen.</p>	<p>Rangordnungen werden in Form absoluter Prioritäten berücksichtigt.</p> <p>Nach Einlegen höherrangiger Züge ist keine noch so kleine Behinderung dieser durch niederrangige Züge möglich. Niederrangige Züge können ggf. erhebliche Wartezeiten erhalten, die bei geringfügigen Behinderungen höherrangiger Züge vermeidbar gewesen wären.</p>

Tabelle 4-6 Gegenüberstellung synchrone und asynchrone Simulation [Mat98]

Die Ergebnisse einer Simulation sind Kennwerte für die sich bei einer vorgegebenen Belastung ergebende Betriebsqualität. Durch eine allmähliche Steigerung der Belastung des simulierten Betriebsprogramms ist eine unmittelbare Ermittlung der Wartezeitfunktion möglich. Eine direkte Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit kann auch ohne Ermittlung der Wartezeitfunktion vorgenommen werden. Dazu wird am Eingang des untersuchten Systems eine unbeschränkte Leistungsanforderung in Form einer Warteschlange vorgegeben und am Ausgang der sich ergebende Durchsatz gemessen.

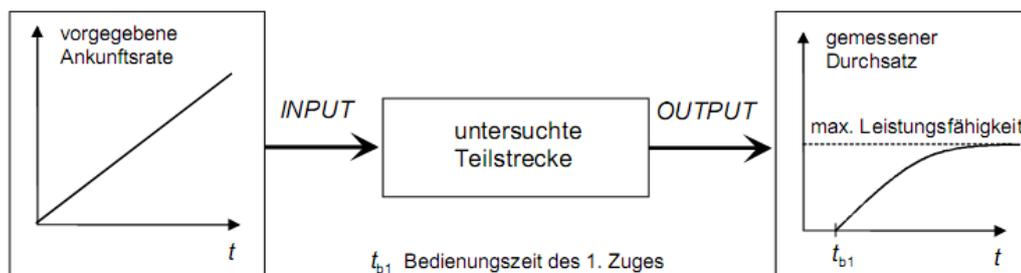


Abbildung 4-11 Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit durch Simulation einer unbeschränkten Leistungsanforderung am Eingang des Systems

Die Ermittlung detaillierterer Aussagen erfordert neben der Beherrschung des Simulationsprogramms umfassende Kenntnisse im Bahnbetrieb, um sowohl eine geeignete Simulationsstrategie zu entwickeln als auch die Ergebnisse der Simulation richtig zu interpretieren. Charakteristische Simulationsstrategien sind: [Pac08]

- Messung von Verspätungen an definierten Punkten, um aus dem Vergleich der Ein- und Ausbruchsverspätungen Aussagen über verschiedene Elemente einer Strecke oder eines Netzes zu gewinnen.
- Darstellung der mittleren Verspätung der Züge auf der durchfahrenen Strecke, um Problemstellen zu lokalisieren, bei denen die mittlere Verspätung übermäßig ansteigt.

### 4.3.2 Auswahl eines Verfahrens

Betriebliche Leistungsfähigkeitsuntersuchungen werden in verschiedenen Planungsphasen mit unterschiedlichem zeitlichen Vorlauf durchgeführt.

Zeithorizont	Schärfe der Eingangsdaten	Empfohlene Untersuchungsverfahren
5 - 20 Jahre	Zugzahlen, ggf. Tagesganglinien	analytische Verfahren; ggf. Konstruktion von Fahrplanbeispielen; Variantenvergleiche mit vereinfachten Verfahren
1 - 5 Jahre	Zugzahlen, Fahrplankonzepte	analytische Verfahren, ergänzt durch Fahrplanstudien; Simulation mit unscharfen Eingangsdaten
< 1 Jahr	konkrete Fahrpläne	Simulation

Tabelle 4-7 Auswahl geeigneter Untersuchungsverfahren [Pac08]

Die Qualität der Ergebnisse einer betrieblichen Leistungsfähigkeitsuntersuchung hängt maßgebend von der Schärfe der Eingangsdaten ab. Die Schärfe der Eingangsdaten zur Beschreibung des Betriebsprogramms kann von einer groben Prognose der Zugzahlen bis zum Vorliegen eines detaillierten Fahrplans variieren. Um einen unnötigen Aufwand bei der Durchführung betrieblicher Leistungsfähigkeitsuntersuchungen zu vermeiden, sollte möglichst ein Untersuchungsverfahren gewählt werden, bei dem die Qualität der Ergebnisse in einer vernünftigen Relation zur Schärfe der Eingangsdaten steht. [Pac08]

## 5 Der Betriebszustand des Schienenpersonenverkehrs in China

Wegen der raschen Entwicklung in China beträgt die jährliche Wachstumsrate von BIP (**Bruttoinlandsprodukts**) durchschnittlich 9,9 % [Chi09] in den letzten 30 Jahren, gleichzeitig hat die Eisenbahn ihre Länge nur jährlich durchschnittlich 1,76 % [Chi09] vergrößert. Im Vergleich zu 1978 hat die Zahl der gesamten beförderten Personen und Güter im Jahr 2008 über 10-fache zugenommen. In gleichen Zeitraum hat die Eisenbahn nur ca. 2-fache in Personenverkehr und 3-fache in Güterverkehr vermehrt. Es hat gut nachgewiesen, dass die Chinesische Bahn ihre Marktanteile in den letzten 30 Jahren erheblich verloren hat. Die Ursache ist klar, der Zuwachs der Eisenbahnstrecken passt nicht der Entwicklung der Wirtschaft und verursacht damit große Probleme im chinesischen Eisenbahnbetrieb.

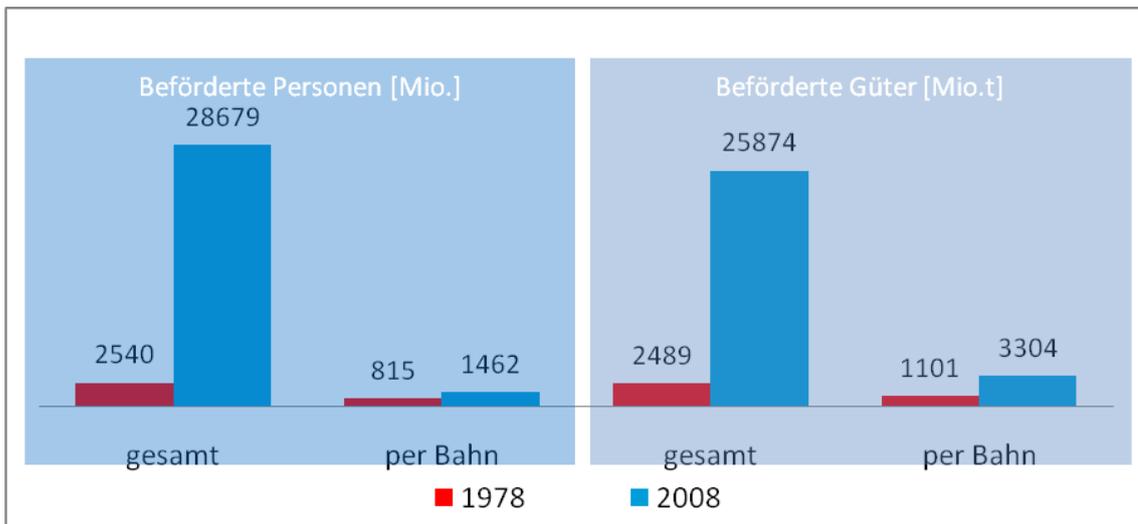


Abbildung 5-1 Vergleiche der beförderten Personen und Güter zwischen Jahr 1978 und Jahr 2008

Gegenwärtig erfüllt der Eisenbahnpersonen- und güterverkehr in China nicht den Bedarf der Wirtschaft, der durch das Wachstum hervorgerufen wird. So haben z. B. die Passagiere Schwierigkeiten ein Ticket zu kaufen wegen der geringen Angebote im Personenverkehr. Weder für die Güterzüge noch für den Personenverkehr stehen ausreichende Fahrplantrassen zur Verfügung.

Es ist sehr deutlich, dass das Leistungsvermögen der gesamten Bahnstrecken bzw. das Eisenbahnnetz angesichts der Landesfläche und der Bevölkerungszahl zu gering ist. Natürlich ist die Verbesserung und Modernisierung von Strecken- und Fahrzeugparametern in erster Linie die beste Lösung zur Anhebung des Leistungsvermögens des Eisenbahnbetriebs. Es werden deshalb schon seit Jahren

Baumaßnahmen zur Erweiterung und Modernisierung des Eisenbahnnetzes in China durchgeführt, um die Kapazität des Eisenbahnnetzes zu erhöhen.

Darüber hinaus ist der Bahnbetrieb Chinas wegen des komplexen Mischverkehrs und der verwickelten Organisation bzw. der rückständigen betrieblichen Theorien immer noch in seinem Leistungsvermögen beschränkt, was als Ursache zur Behinderung der Anhebung der durchschnittlichen Leistungsfähigkeit der Eisenbahn anzusehen ist.

Im folgenden Abschnitt wird deshalb der Betriebszustand des Personenverkehrs der chinesischen Bahn beurteilt, um die existierenden Probleme im Bahnbetrieb aufzuzeigen und anschließend die Maßnahmen zur Lösung der Probleme vorzuschlagen.

## 5.1 Analyse des Fahrplans von Schienenpersonenverkehr

Mit einer statistischen Analyse aus den 1.649 Zugfahrten werden die betrieblichen Zustände des Personenverkehrs und die Merkmale des Fahrplans dargestellt.

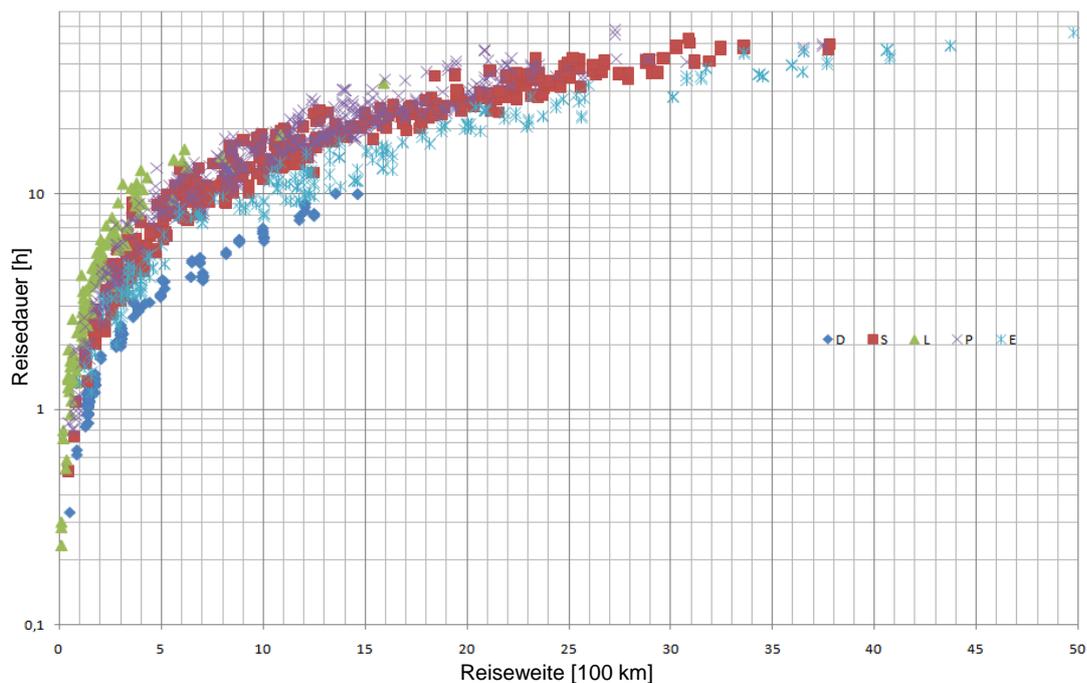


Abbildung 5-2 Darstellung der 1.649 Fahrtrelationen mit Datenpunktdiagramm

Die Fahrplandaten der 1.649 Zugfahrten stammen aus dem landesweiten Fahrplan 2008, die Züge fahren von den 43 Abgangsbahnhöfen aus, die gemäß der Klassifizierung der Bahnhöfe zur Sonderklasse und 1.Klasse gehört sind. Die im Fahrplan 2008 angemeldeten Fahrtrassen für den Schienenpersonenverkehr umfassen täglich 2.499 [Mvs07], die zur Analyse angewendeten Zugfahrten entsprechen knapp 70 % des gesamten Angebotes im Schienenpersonenverkehr. Die Fahrstrecken

zwischen den Abgangsbahnhöfen und den Ankunftsbahnhöfen von den 1.649 Zugfahrten sind meistens zweigleisig oder sogar mehrgleisig.

In dieser Arbeit sind fünf Modellzüge „D, E, S, P, L“ nach ihrer technischen Daten und Funktionen im Personenverkehr definiert. Durch die statistische Analyse können die Annäherungsverhältnisse zwischen Reisezeit und Reisedistanz je nach Modellzug ermittelt werden, damit kann der Mittelwert der Reisegeschwindigkeit abgeleitet werden.

Modellzug	Annäherungsformel (y=Reisezeit [h]. x=Reisedistanz [km])	R <sup>2</sup> (Bestimmtheitsmaß)	ΦReise- weite [km]	Φ V <sub>R</sub> [km/h]	V <sub>max</sub> [km/h]	Anzahl der Züge	f <sub>R</sub> =V <sub>R</sub> /V <sub>F</sub> =V <sub>R</sub> / (0,9*V <sub>max</sub> )
D	$y = 0,0101x^{0,9421}$	0,9809	298	138	200	366	0,767
E	$y = 0.0102x^{0.9972}$	0,9702	1383	100	160	279	0,694
S	$y = 0.0152x^{0.992}$	0,9673	1262	70	140	450	0,556
P	$y = 0.0165x^{0.9929}$	0,9630	1095	64	120	436	0,593
L	$y = 0,0429x^{0,894}$	0,9477	225	41	100	118	0,456

Tabelle 5-1 Annäherungsverhältnisse zwischen Reisezeit und Reisedistanz

Die Verteilungsdiagramme in Anhang G stellen die Anteile der Züge je nach Reiseweite, Reisedauer, Modellzug, Abfahrt- und Ankunftszeitpunkt dar. Die meisten Züge haben die Abfahrtszeit am Startbahnhof und Ankunftszeit am Endbahnhof innerhalb der Zeitscheibe 7:00 bis 24:00 Uhr. Die Fernverkehrszüge, die über 600 km Entfernung oder über 7 Stunden Reisedauer haben, fahren normalerweise über Nacht.

Modellzug	Anzahl der Reisezüge								
	Reiseweite [km]					Reisedauer [h]			
	Nahverkehr	Mittel-Fernverkehr	Fernverkehr (überregional)			< 7	7-17	17-24	>24
	≤200	200-600	600-1500	1500-2500	>2500				
D	227	87	52	0	0	352	14	0	0
E	15	66	104	57	37	78	123	31	47
S	25	101	167	115	42	99	144	73	134
P	34	90	198	103	11	84	141	106	105
L	68	43	6	1	0	88	28	1	1
<b>Summe</b>	369	387	527	276	90	701	450	211	287
<b>Prozent [%]</b>	<b>22,4</b>	<b>23,5</b>	<b>32,0</b>	<b>16,6</b>	<b>5,5</b>	<b>42,5</b>	<b>27,3</b>	<b>12,8</b>	<b>17,4</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>950</b>					<b>12,78</b>			

Tabelle 5-2 statistische Aufteilung der Reisezüge nach Reiseweite und Reisedauer

Von den 1.649 Zugfahrten kann man sehen, dass 17,4 % der Reisezüge die Reisedauer über 24 Stunden haben und 5,5 % der Reisezüge die Reiseweite über 2.500 km haben. Die durchschnittliche Reiseweite der Reisezüge beträgt knapp 950 km und die durchschnittliche Reisezeit dauert ungefähr 13 Stunden. Die Modellzüge S und P sind die Hauptträger für den Fernverkehr, ihre durchschnittlichen Reisegeschwindigkeiten sind in Tab. 5-1 mit ungefähr 70 km/h und 64 km/h zusammengefasst, für die Reiseweite über 2.500 km ist der Anteil des Modellzuges P gesunken, weil seine Reisegeschwindigkeit nicht den Bedarf der Kunden zufriedenstellen kann. Der Modellzug E ist momentan schnellster Zug für den Fernverkehr mit über 7 Stunden Reisedauer und über 600 km Reiseweite, er hat auch eine höhere Priorität im Bahnbetrieb. Mit ungefähr 100 km/h Reisegeschwindigkeit kann der Modellzug E die Transportaufgabe für die Reiseweite unter 2.500 km möglichst innerhalb 24 Stunden ausführen.

Die Anteile des Nahverkehrs und des Mittel-Fernverkehrs, deren Reiseweite unter 600 km liegt, haben in den vergangenen Jahrzehnten wegen der starken Nachfrage in einigen Ballungsgebieten und aufgrund des Einsatzes neuer Triebfahrzeuge geringfügig zugenommen. Der Begriff „Nahverkehr“ wird in China und in Deutschland unterschiedlich definiert. Gemäß § 2 Abs. 5 des AEG ist in Deutschland SPNV so definiert, dass die gesamte Reiseweite 50 km oder die gesamte Reisezeit eine Stunde nicht übersteigt. In China sind die Züge als Nahverkehr definiert, die nur innerhalb des Verwaltungsbereiches einer Regionaldirektion im Betrieb sind. Der Nahverkehr wurde vor 2007 meistens vom Modellzug L betrieben, wegen des kurzen Haltestellenabstands, der niedrigsten Geschwindigkeit und niedrigster Priorität im Betrieb ist seine Reisegeschwindigkeit kleiner als die der anderen. Da viele Regionaldirektionen den Betrieb des Modellzuges L aufgrund ihrer hohen Betriebskosten und hohen Verlust eingestellt haben oder einstellen wollen, ist der Anteil des Modellzuges L im Personenverkehr prognostizierbar noch geringer, dieser soll bald von anderen Zügen ersetzt werden. Als ein neues Mitglied der chinesischen Bahnfamilie wird der Modellzug D seit 2007 im Nahverkehr im Betrieb angewendet. Vor der Fertigstellung der Bauarbeiten der Schnellfahrstrecken werden die neuen modernen Modellzüge D meistens für die Reisedauer unter 7 Stunden oder als Pendlerzug im Ballungsgebiet eingesetzt, sie haben höchste Priorität im Bahnbetrieb wegen ihrer technischen Geschwindigkeit und des hohen Fahrpreises.

## 5.1.1 Typische Merkmale im chinesischen Eisenbahnpersonenverkehr

### 5.1.1.1 Fernverkehr als Kerngeschäft

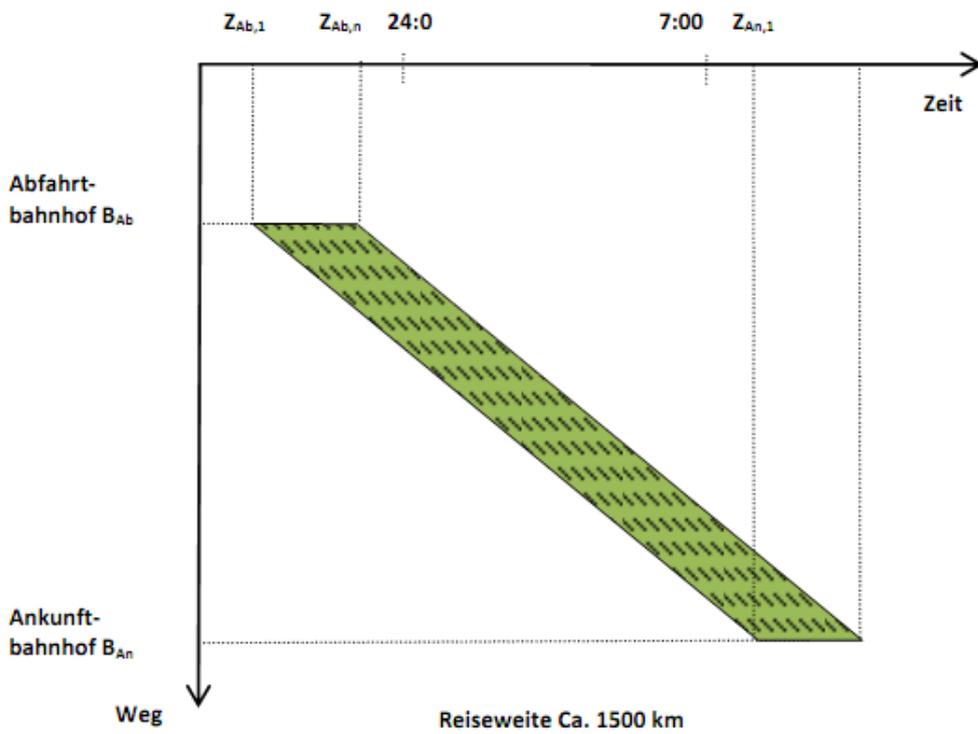
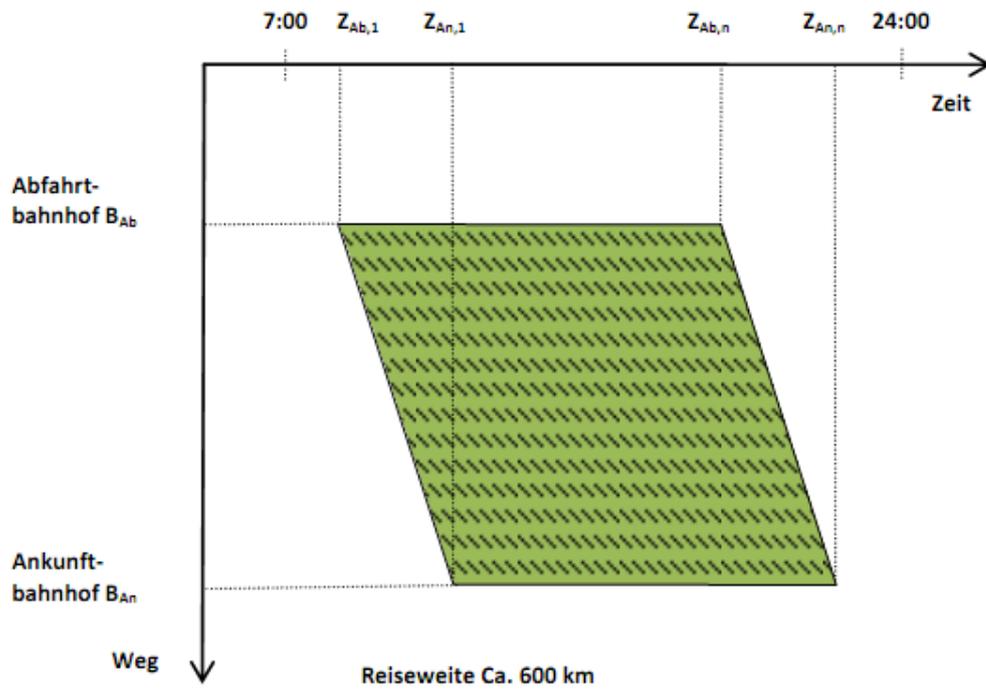
Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern dient die Eisenbahn in China größtenteils dem Fernverkehr, die durchschnittliche Reiseweite des Fahrgastes beträgt nach [Chi09] für den Personenverkehr 500 km.

Um die Attraktivität der Produkte im Fernverkehr zu erhöhen, muss die Chinesische Bahn ihre Angebote abhängig von der Reiseweite und dem Zugsinsatz anbieten. Die Abfahrtszeit und die Ankunftszeit der Züge sollen sich in einer optimalen Zeitscheibe befinden, so können die Fahrgäste am Startort und Zielort bequeme Verkehrsmöglichkeiten haben und gute Umsteigemöglichkeiten mit städtischem ÖPNV vorfinden.

Basierend auf den obengenannten Zielsetzungen soll die Zeit von 0:01 Uhr bis zu 24:00 Uhr in angemessene Zeitscheiben von Abfahrtszeit und Ankunftszeit unterteilt werden. Normalerweise sind die Zeitscheiben von 7:00 bis 24:00 Uhr für Abfahrtszeit und Ankunftszeit in China aus Kundensicht akzeptabel [Wan03]. Unter Berücksichtigung der langjährigen Erfahrungen in der Praxis hat Chinesische Bahn die Produkte im Fernverkehr gemäß ihrer Reiseweite eine passende Angebotsstrategie entwickelt, in der die Fernreisezüge die Abfahrtszeit im Startbahnhof und die Ankunftszeit im Endbahnhof grob festlegt haben. Die FRz, deren Reiseweite über 600 km sind, sind in der Regel als Nachtzüge im Betrieb, sie starten in einem Ballungsgebiet und eintreffen sowie durchfahren mindestens ein Ballungsgebiet auf dem gesamten Reiseweg.

Reiseweite [km]	Zeitscheibe	
	Abfahrt	Ankunft
Ca. 600	„Sonnenaufgang“	„Sonnenuntergang“
Ca. 1500	„Sonnenuntergang“	„Sonnenaufgang“
Ca. 2500	„Sonnenaufgang“	„Sonnenaufgang“
	„Sonnenuntergang“	„Sonnenuntergang“

Tabelle 5-3 Angebotsstrategien des Personenfernverkehrs



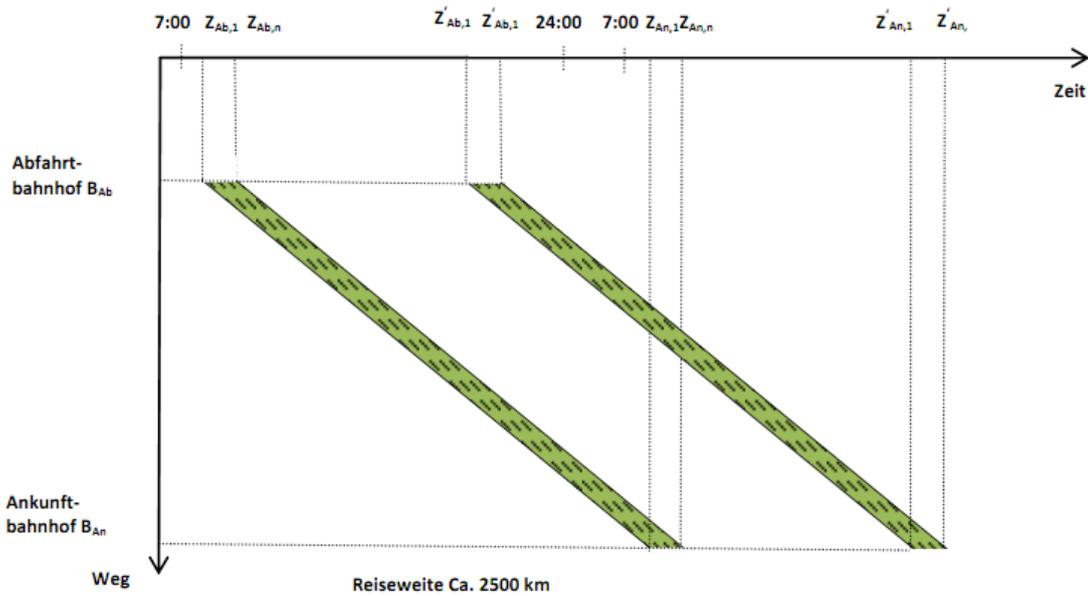


Abbildung 5-3 mögliche Zeitscheibe für die Abfahrt und Ankunft nach Angebotsstrategien

Die Ermittlung der Zeitscheibe für die Abfahrtszeit kann durch das traditionelle Verfahren mit der Ankunftszeitscheibe zwischen 7:00 und 24:00 Uhr und der Reisedauer des Zuges grob festgelegt werden. Der Vorteil des Verfahrens ist, dass die Zeitscheibe für die Abfahrt einfach ermittelt werden kann. Dagegen ist der Umfang der ermittelten Zeitscheibe zu breit und die Ankunftszeit für die geplanten Haltestellen, insbesondere die Zwischenhalte in großen Städten, findet oft nicht genug Berücksichtigung.

Reisedauer	Abfahrtszeit des Zuges	Bemerkungen:
$0+24d \leq t \leq 7+24d$	$7 \leq T_{Ab} \leq 24 + (24d - t)$	$t$ : Reisedauer zwischen Startbahnhof und Zielbahnhof
$7+24d \leq t \leq 17+24d$	$7 \leq T_{Ab} \leq 24 + 24d - t$ $24 - t + 7 + 24d \leq T_{Ab} \leq 24$	$d$ : Reisetage, wenn die Reisezeit über 24 Stunden dauert.
$17+24d \leq t \leq 24 + 24d$	$24 - t + 7 + 24d \leq T_{Ab} \leq 24$	$T_{Ab}$ : die Stunden nach dem Anfang eines Kalendertages um 0:00 Uhr

Tabelle 5-4 Festlegung der Zeitscheibe mit traditionellem Verfahren

### 5.1.1.2 Reisesaison wegen des Frühlingsfestes

Durchschnittlich sind über 5 Millionen Fahrgäste in China täglich mit der Bahn nach ihren Zielorten unterwegs, an Spitzentagen kann die Anzahl der Fahrgäste über 6 Millionen betragen [Crb10] [Lrp10]. In 2010 sind 204 Millionen Passagiere während der Frühlingsfest-Reisesaison mit der Bahn gefahren [Ssf10]. Die saisonale riesige

Verkehrsbelastung ist auch ein typisches Merkmal des Schienenpersonenverkehrs in China, die Frühlingsfest-Reisesaison fängt 15 Tage vor dem Neujahrstag im Mondkalender an und endet 25 Tage nach dem Neujahrstag. Sie dauert insgesamt 40 Tage rund um das chinesische traditionelle Frühlingsfest und kann als die größte alljährliche Reisewelle in der Welt betrachtet werden.

Die im Folgenden genannten drei wichtigsten Ursachen sind für die Entstehung der riesigen Verkehrsbelastung verantwortlich.

1. Es ist eine lange Tradition, dass die Familien des chinesischen Volks am chinesischen Frühlingsfest zusammen feiern. Die Menschen kehren von Arbeitsorten in ihren Heimatorten zurück, um sich am Vorabend des Frühlingsfestes mit ihren Familien zu einem reichhaltigen Festessen zu feiern..
2. Aufgrund der chinesischen Ausbildungsreformen hat sich die Zahl der Hochschulstudierenden erheblich zugenommen, die meistens auch weit weg von Heimatstadt studieren. Der Frühlingsfest-Zeitraum fällt in den gleichen Zeitraum wie ihre Semesterferien, unter den 194 Millionen Bahnpassagieren der Frühlingsfest-Reisesaison 2006 waren 6,95 Millionen Hochschulstudenten [Ctg06].
3. Schließlich haben viele jugendlichen Chinesen die gesetzlichen Feiertage nämlich das Frühlingsfest geplant, sich für ein paar Tage beurlauben zu lassen. Die Touristen erreicht erzeugt eine zusätzliche Belastung auf dem Transportsystem.

Die Frühlingsfest-Reisesaison ist wegen der oben genannten Ursachen kurzfristig nicht vermeidbar, denn sie ist eine traditionelle gesellschaftliche Erscheinung, stellt jedoch wegen der wirtschaftlichen Entwicklung ein zusätzliches technisches Problem für das Transportnetz dar. Obwohl die Angebote für den Personenverkehr der Eisenbahn in den vergangenen Jahrzehnten schon in starkem Maße zugenommen haben, sind sie momentan im Vergleich zu der wachsenden Nachfrage noch zu gering. Die Frühlingsfest-Reisesaison ist ein Ausdruck von Konflikten zwischen Angeboten und Nachfragen.

Die im Fahrplan 2008 angemeldeten Fahrplantrassen für den Schienenpersonenverkehr belaufen sich auf täglich 2.499 Fahrplantrassen [Mvs07], die verfügbaren Sitzplätze per Bahn betragen knapp 2,8 Millionen [Zha10] und können grundsätzlich den täglichen Mindestbedarf an Fahrgästen fassen. Während der Frühlingsfest-Reisesaison hat die Nachfrage der Fahrgäste erheblich zugenommen. In einigen großen Städten, die Knotenpunkte im Verkehrsnetz sind, betragen die Fahrgastzahlen das Dreifache eines normalen Verkehrstages. Am 11.02.2008 waren

712 zusätzliche Fahrplantrassen des Personenverkehrs an dem Tag im Betrieb [Soh08], was 28,5 % der am Normaltag angemeldeten Fahrplantrassen im Personenverkehr entsprach.

Die Verkehrsströme während der Frühlingsfest-Reisesaison laufen regelmäßig in bestimmten Fahrrichtungen. Vor dem Frühlingsfest verlaufen die Verkehrsströme von Süd- und Ost China nach West- und Mittel China, nach dem Frühlingsfest verlaufen die Verkehrsströme umgekehrt. Zusätzlich bestimmen die örtlichen Unterschiede der wirtschaftlichen Entwicklungen in China die Verkehrsströme, sodass das Resultat die extrem ungleichen Verkehrsbelastungen auf derselben Strecke und in umgekehrter Fahrtrichtung während der Frühlingsfest-Reisesaison verursacht. Einerseits sind die Züge voll ausgelastet, die vor dem Frühlingsfest von den Wirtschaftszonen nach unterentwickelten Gebieten fahren, andererseits haben die Züge, die aus den unterentwickelten Gebieten nach den Wirtschaftszonen verkehren, wegen der Feiertage viele leere Plätze.

## **5.2 Analyse des Betriebszustandes des Personenverkehrs**

Die makroskopische Beurteilung des Betriebszustandes eines untersuchenden Eisenbahnnetzes in einem bestimmten Zeitraum kann vereinfacht unter zwei wichtigen Aspekten dargestellt werden:

1. Wie viele Züge sind im Netz in Betrieb?
2. Wie schnell fahren die Züge im Netz?

Die max. Anzahl der Züge, die im bestimmten Zeitraum auf den Bahnstrecken im Untersuchungsnetz verkehren, kann im mikroskopischen Verfahren durch die Berechnung der mindestens erforderlichen Zugfolgezeit ermittelt werden. Die Zugfolgezeit ist abhängig von der Zuggeschwindigkeit, den Streckeninfrastruktur und den möglichen auftretenden Zugfolgefällen.

Die Reisegeschwindigkeit des Zuges im Untersuchungsnetz kann mit der Größe vom Quotienten aus gesamter Reiseweite und gesamter Reisedauer dargestellt werden. Unter dem Aspekt der Reisegeschwindigkeit stellen je nach verschiedenen Modellzügen der Zuglauf, die Konflikte zwischen den Zügen bzw. die auftretenden Überholungen sowie der durchschnittliche Haltestellenabstand eine ungefähre Beschreibung des Betriebszustandes dar.

Der IST-Zustand der Geschwindigkeit des Zuges und der Zugangebote im Personenverkehr wird aus der Sicht des Fahrgastes nicht mit Zufriedenheit bewertet. Von 1997 bis 2007 hat die chinesische Eisenbahn sechsmal die zulässige Geschwindigkeit der Bahnstrecken erhöht, um die Wettbewerbsfähigkeit der Bahn im

Vergleich zu anderen Verkehrsträgern zu erhalten. Eine Fortsetzung der staatlichen netzweiten Erhöhung der Geschwindigkeit auf den bestehenden in China ist nicht mehr geplant, weil sie durch weitere Verbesserung der technischen Parameter bzw. Modernisierung von Strecken und Fahrzeug schon nicht möglich ist. Basierend auf dieser Situation wird es in der Forschung untersucht, mit den betrieblichen Maßnahmen die Leistungsfähigkeit der Strecken und die Reisegeschwindigkeit des Schienenpersonenverkehrs weiter zu erhöhen.

### 5.3 Zugfolgezeit im chinesischen Bahnbetrieb

In Abschnitt 3.1.2 wurden die Zeitanteile zwischen den Zugfahrten vorgestellt, wonach die Zugfolgezeit ein Maß für die betriebliche Leistungsfähigkeit einer Strecke bei spurgeführten Systemen darstellt [Bre02]. Obwohl die Verfahren zur Berechnung der Zugfolgezeit in China und Deutschland unterschiedlich sind, basieren sie alle auf den Zuggeschwindigkeiten und den Blocklängen zwischen den Signalen und den Sicherungssystemen.

Die Entscheidung der endgültigen Mindestzugfolgezeit ist in China abhängig von den vier Zugfolgefällen zu beobachten, deren maximaler Wert von der Zugsperrzeit  $\max \{t_{zij,aus}, t_{zij,str}, t_{zij,ein}, t_{zij,dur}\}$  als die maßgebende Mindestzugfolgezeit im Fahrplan verwendet wird. Da die Vier-Aspekt-Signalisierung heutzutage in China bereits auf den meisten Strecken angewendet wird, werden die Zugsperrzeiten basierend auf den Merkmalen der Vier-Aspekt-Signalisierung wie folgt berechnet:

1. Zugsperrzeit  $t_{zij,aus}$  zwischen zwei nacheinander vom Bahnhof ausfahrenden Zügen

$$t_{zij,aus} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3}}{v} \quad \text{Gleichung 5-1}$$

2. Zugsperrzeit  $t_{zij,str}$  zwischen zwei nacheinander fahrenden Zügen auf der freien Strecke

$$t_{zij,str} = \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{B4}}{v} \quad \text{Gleichung 5-2}$$

3. Zugsperrzeit  $t_{zij,ein}$  zwischen zwei nacheinander im Bahnhof einfahrenden Zügen

$$t_{zij,ein} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{ES}}{v} \quad \text{Gleichung 5-3}$$

4. Zugsperrzeit  $t_{zij,dur}$  zwischen zwei nacheinander im Bahnhof durchfahrenden Zügen

$$t_{zij,dur} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{BB} + l_{SS}}{v} \quad \text{Gleichung 5-4}$$

$l_{zug}$  Durchschnittliche Länge des Zuges

$l_{B1}, l_{B2}, l_{B3}, l_{B4}$  Die Länge des Blockabschnitts in der Fahrtrichtung

$l_{BB}$	Die Länge des Blockabschnitts im Bahnhof (von Einfahrtsignal bis Stationssignal)
$l_{ES}$	Die Länge der Strecke zwischen Einfahrtsignal im Bahnhof und Zugschlussstelle
$l_{SS}$	Die Länge der Schutzstrecke, nach dem Passieren der Strecke kann der Zug die Weiche komplett räumen
$v$	durchschnittliche Geschwindigkeit des Zuges
$t_{B,A}$	Die Arbeitszeit des Zugleiters im Bahnhof für die Zulassung der in den Bahnhof einfahrenden, ausfahrenden und durchfahrenden Züge
$t_{Fb}$	die Fahrstraßenbildezeit
$t_{Si}$	Sicht- und Reaktionszeit
$t_{Fa}$	die Fahrstraßenauflösezeit

Die Vier-Aspekt-Signalisierung ist in China für Strecken mit der erlaubten Geschwindigkeit unter 200 km/h geeignet. Die Signale können die Informationen über die Belegungen der Strecke vorankündigen und Informationen über eine notwendige Reduzierung der Geschwindigkeit liefern. Der max. Bremsweg des Zuges soll kleiner als oder gleich der Länge von zwei Blöcken sein, sodass die Züge, die über 120 km/h fahren, rechtzeitig vor den Gefahrenpunkten halten können.

Außerdem ist die Mindestzugfolgezeit normalerweise 6 bis 10 min als Standardwert auf den mit Signalen gesicherten Bahnstrecken in China vorgeschrieben. Diese Mindestzugfolgezeit ist von den in Betrieb genommenen Güterzügen und den infrastrukturellen Parameter auf der Untersuchungsstrecke ermittelt. Nach der Richtlinie sollen die minimale auftretende Geschwindigkeit des Güterzugs und die Leistungsfaktoren mit Minimum im schlechtesten Fall des Güterzugs auf der Untersuchungsstrecke als Standardwerte für die Berechnung der Zugfolgezeit benutzt werden.

Folgend ist ein Berechnungsbeispiel. Auf einer mit Vier-Aspekt-Signalisierung gesicherten Strecke ist die durchschnittliche Blockabschnittslänge 800 m, die Länge der darauf fahrenden Güter- und Personenzüge beträgt 700 m und 400 m, ihre Geschwindigkeiten liegen zwischen 100 km/h und 160 km/h. Auf der Untersuchungsstrecke wird auf einem 4 km langen Streckenabschnitt wegen der Topografie und der Leistungsdaten des Zuges die Geschwindigkeit für Güterzüge auf 60 km/h und für Personenzüge auf 120 km/h beschränkt. Die Ermittlungen der Zugfolgezeiten auf den Untersuchungsstrecken können dann folgendermaßen berechnet werden.

	Zugfolgezeit $t_{zj, str}$ [min]	
	Personenzug	Güterzug
Auf der freien Strecke ohne V Beschränkung	$0,06 * \frac{400 + 800 * 4}{160} = 1,35 \approx 2$	$0,06 * \frac{700 + 800 * 4}{100} = 2,345 \approx 3$
Auf der freien Strecke mit V Beschränkung	$0,06 * \frac{400 + 800 * 4}{120} = 1,8 \approx 2$	$0,06 * \frac{700 + 800 * 4}{60} = 3,90 \approx 4$

Tabelle 5-5 Berechnungsbeispiel für die Zugfolgezeit

Die Zugfolgezeit von Güterzügen (4 min) ist wegen ihrer Größe für den Zugfolgefall  $t_{zj, str}$  maßgebend, anschließend sollen die Zugfolgezeiten in den anderen Fällen ( $t_{zj, aus}$ ,  $t_{zj, ein}$  und  $t_{zj, dur}$ ) berechnet werden, wobei der max. Wert von den Ergebnissen  $\{t_{zj, aus}, t_{zj, str}, t_{zj, ein}, t_{zj, dur}\}$  als endgültige Zugfolgezeit im Fahrplan benutzt wird.

Die Ursachen des Standards der Mindestzugfolgezeit mit 6-10 min sind, dass in der Vergangenheit der Güterverkehr seit langer Zeit Kerngeschäft von der Bahn in China war und die Maßstäbe einseitig auf der Grundlage von den technischen Daten der Güterzüge entwickelt wurden. Der Vorteil des Verfahrens zur Festlegung der Zugfolgezeit ist, dass die Distanz von Zugfolge und Bremsweg sehr lang ist, sodass die Sicherheit der Zugfolge hochgradig garantiert ist. Auf der Gegenseite wird die maßgebende Zugfolgezeit von der max. Zugsperrzeit aller Zugfolgefälle entschieden und einheitlich für die Untersuchungsstrecke als Standardwert angewendet. Diese Größe ist für die schnell nacheinander fahrenden Personenzüge erheblich zu lang, was die komplette Ausnutzung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke negativ beeinflussen kann. Insbesondere für die Bahnstrecken, auf denen aktuell mehrere Personenzüge im Betrieb sind, ist die erwünschte Zugfolgedichte in der Hauptverkehrszeit wegen der vorgeschriebenen Mindestzugfolgezeit 6 bis 10 Minuten nicht realisierbar. Außerdem gibt es viele Zeitlücken, die sich wegen der Geschwindigkeitsschere zwischen den Zügen erzeugen haben und die als „nicht nutzbar“ im Fahrplan erscheinen.

## 5.4 Reisegeschwindigkeit im chinesischen Bahnbetrieb

Die Reisegeschwindigkeit stellt als Bemessungsgrundlage einen sehr wichtigen Bewertungsfaktor für den Bahnbetrieb dar und beeinflusst den Umlaufplan des Zuges, die Reisequalität und die Attraktivität für die Kunden. Die Reisegeschwindigkeit wird die Angebotsstrategien von EVU entscheidend beeinflussen.

### 5.4.1 Begriffe der Geschwindigkeit im Eisenbahnbetrieb

Die **Reisegeschwindigkeit**  $V_R$  ist eine durchschnittliche Geschwindigkeit der gesamten Reise, sie ist von der Länge des Reisewegs und der gesamten Reisedauer abhängig. Bei Eisenbahnen beträgt der Reiseweg  $S_{ges}$  [km] die gesamte Streckenlänge zwischen Abgangs- und Ankunftsbahnhof. Die Reisedauer  $T_R$  [h] umfasst im Allgemeinen die ganze Zeitspanne zwischen Abgangs- und Ankunftsbahnhof, alle Bewegungs- und Haltezeiten sind in der Reisedauer eingeschlossen.

*Reisegeschwindigkeit = Reiseweg / Reisedauer*

$$V_R = \frac{S_{ges}}{t_{End} - t_{Anf}}$$

Reisedauer =  $t_{End} - t_{Anf}$  = Reine Transportzeiten +  $\sum$  Haltezeiten =  $t_F + \sum_{i=1}^n t_H$

$$V_R = \frac{S_{ges}}{t_F + \sum_{i=1}^n t_H}$$

*Gleichung 5-5*

Die Haltezeiten des Bahnverkehrs treten unter gewöhnlichen Umständen nur innerhalb des Bahnhofs auf und können als Bahnhofszeiten bezeichnet werden. Von der Gleichung 5-5 kann man sehen, dass die Steigerung der Reisegeschwindigkeit einerseits durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zur Verkürzung der reinen Transportzeiten und andererseits durch Reduzierung der gesamten Bahnhofszeiten ermöglicht werden kann.

Die durchschnittliche **Fahrgeschwindigkeit**  $V_F$  des Zuges bezeichnet den Quotienten aus gesamtem Reiseweg  $S_{ges}$  [km] und reiner Transportzeit  $t_F$  [h], die Haltezeiten bzw. Bahnhofszeiten sind hier nicht berücksichtigt.

$$V_F = \frac{S_{ges}}{t_F}$$

*Gleichung 5-6*

Die **bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit**  $V_{Max}$  des Zuges ist die maximale zulässige Geschwindigkeit von der Bauart des Zuges, sie stellt die technischen Parameter und mechanischen Eigenschaften dar. Bezogen auf die Fahrzeitreserve zur Verminderung der Zugverspätungen unter der Voraussetzung, dass es keine streckenseitigen Beschränkungen gibt, entspricht die  $V_F$  im Betrieb normalerweise ca. 90 % der  $V_{Max}$ .

Die **erlaubte Streckenhöchstgeschwindigkeit**  $V_{Strecke}$  kann die max. zulässige Geschwindigkeit eines Zuges beschränken, da die minimale Geschwindigkeit aus Strecke und Fahrzeug maßgebend ist.

Der Quotient aus Reisegeschwindigkeit und technischer Fahrgeschwindigkeit ist in der Arbeit als Reisegeschwindigkeitsfaktor mit Abkürzung  $f_R$  benannt.

*Reisegeschwindigkeitsfaktor = Reisegeschwindigkeit / technische Geschwindigkeit*

$$f_R = \frac{V_R}{V_F} \leq 1 \quad \text{Gleichung 5-7}$$

Wenn es keine Halte zwischen Abgangs- und Ankunftsbahnhof gibt, dann beträgt  $f_R$  1, weil auf der gesamten Reise kein Zeitaufwand für Halte verloren geht. Die Reisegeschwindigkeit ist aufgrund der Zunahme der Anzahl der Zwischenhalte oder Verlängerung der Haltezeit im Betrieb gesunken.

#### 5.4.1.1 Beschreibung des Fahrtablaufs des Zuges

Die Bewegungen eines Zuglaufs zwischen Abreisebahnhof (AB) und Ankunftsbahnhof (AN) können vereinfacht als „Fahren“ und „Halten“ angesehen werden, entsprechend sind die gesamten Zeitkomponenten des Transports per Bahn aus „Fahrzeit ( $T_{F(i,i+1)}$ )“ und „Haltezeit ( $T_{H(j)}$ )“ zusammengesetzt.

Die Anzahl der passierenden Betriebsstellen eines Zuges während des ganzen Fahrtablaufes zwischen dem Abgangsbahnhof und dem Ankunftsbahnhof kann mit  $n$  definiert und die gesamten Betriebsstellen auf dem gesamten Reiseweg können mit einer mathematischen Menge  $\mathbf{B}$  ( $\mathbf{B}=\{0, \dots, n, n+1\}$ ) dargestellt werden. Element 0 und  $n+1$  aus der Menge  $\mathbf{B}$  entsprechen dem Abgangsbahnhof (AB) und dem Ankunftsbahnhof (AN). Der gesamte Reiseweg  $S_{ges}$  besteht aus  $n+1$  Streckenabschnitten, die zwischen zwei angrenzenden Betriebsstellen mit Länge  $L_S^{i,i+1}$  ( $i \in \mathbf{B}$  und  $0 \leq i \leq n$ ) liegen.

Die Betriebsstellen, an denen die Züge halten sollen, sind als mathematische Menge  $\mathbf{H}$  ( $\mathbf{H}=\{0, \dots, m, m+1\}$ ) definiert. Element 0 und  $m+1$  entsprechen Abgangsbahnhof (AB) und Ankunftsbahnhof (AN), die Anzahl der Zwischenhaltestelle beträgt  $m$ . Die Länge der Abschnitte zwischen zwei Zwischenhaltstellen  $L_H^{j,j+1}$  ( $j \in \mathbf{H}$  und  $0 \leq j \leq m$ ) ist der Haltestellenabstand, er kann aus mehreren Streckenabschnitten bestehen.

$$L_H^{j,j+1} = \sum L_S^{i,i+1}$$

$$\mathbf{H} \subseteq \mathbf{B}$$

$$0 \leq m \leq n$$

$$S_{ges} = (n+1) * \overline{L_S^{i,i+1}} = (m+1) * \overline{L_H^{j,j+1}} \quad \text{Gleichung 5-8}$$

$\overline{L}_S^{i,i+1}$  durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte zwischen zwei angrenzenden Betriebsstellen

$\overline{L}_H^{j,j+1}$  durchschnittliche Länge des Haltestellenabstands

Wenn  $m=0$  hält der Zug nicht zwischen Startbahnhof und Zielbahnhof.

Wenn  $m=n$  hält der Zug an jeder Betriebsstelle.

In der Abbildung 5-4 sind alle Streckenabschnitte und Betriebsstellen mit Strich und Knoten dargestellt, die Betriebsstellen, die als Zwischenhaltestelle des Zuges sind, wurden mit roten Knoten gezeichnet. Die durchfahrenden Betriebsstellen des Zuges sind mit grünen Knoten.

$$T_{ges} = \sum_{i=0}^n T_{F(i,i+1)} + \sum_{j=0}^m T_{H(j)} \quad \text{Gleichung 5-9}$$

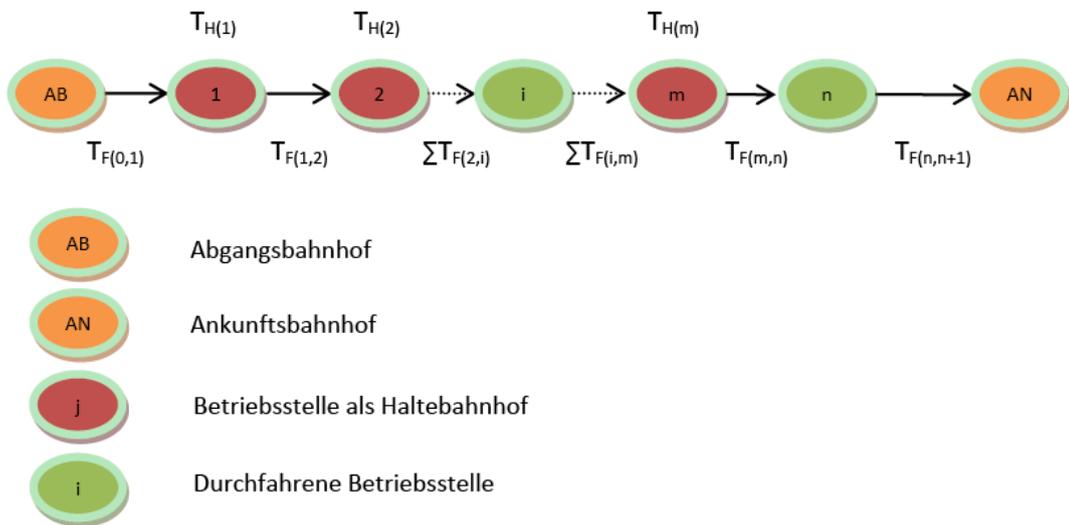
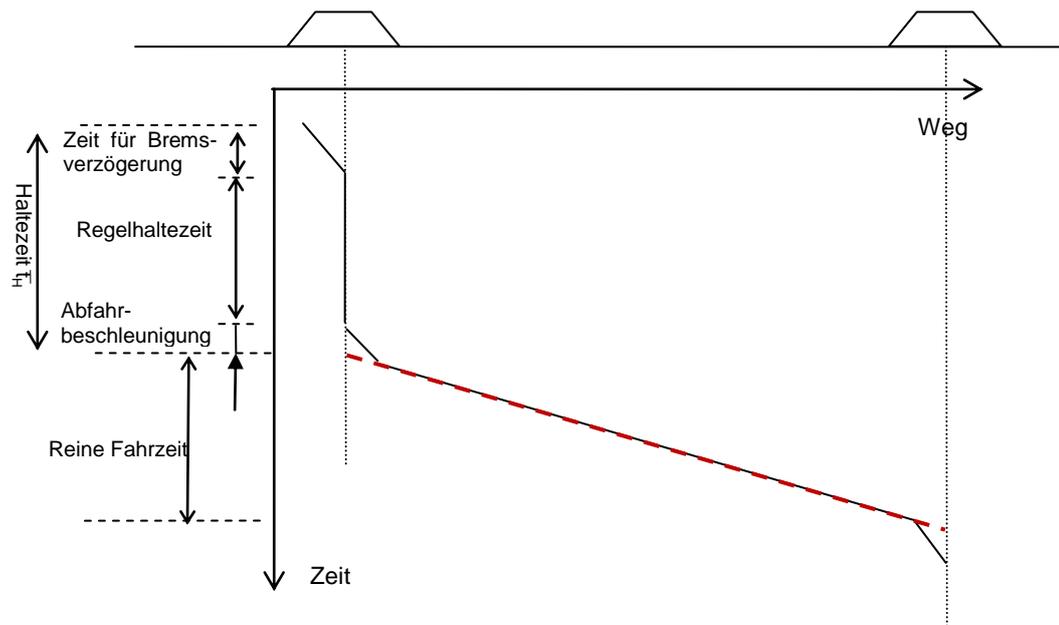


Abbildung 5-4 Fahrtablauf und Weg-Zeit-Diagramm

Abbildung 5-5 Komponente der Haltezeit  $\bar{t}_H$ 

Die Zwischenhalte des Zuges können nach dem Ziel als Verkehrshalt und Betriebshalt definiert werden. Die Verkehrshalte dienen nur dem Fahrgastwechsel im Personenverkehr. Die Haltezeit  $\bar{t}_H$  kann mit einer Empfehlungsgröße als konstant angesetzt werden. In der Arbeit werden alle dazugehörigen Zeiten, die wegen der Halte innerhalb der Bahnhöfe (Bremsverzögerung, Abfahrbeschleunigung) entstehen, in der Haltezeit  $\bar{t}_H$  berücksichtigt. Hieraus folgt, dass die Größe der Haltezeit  $\bar{t}_H$  aus der Bremsverzögerung (2 min), der in [Vrp95] vorgeschriebenen max. Haltezeit (4 bis 5 min) zum Kundenwechsel und der Abfahrbeschleunigung (1 min) besteht und 8 min nicht überschreiten darf.

Die Haltezeit, die wegen der komplexen betrieblichen Aufgaben (z. B. Überholung des Langsamzuges durch mehr Züge) erforderlich ist, ist nicht möglich mit einer empirischen Größe als Standard vorzuschlagen. Außerdem sind die Betriebshalte in der Praxis manchmal mit den Verkehrshalten kombiniert. Das Verhältnis zwischen der Haltezeit und den Betriebshalten ist in der Praxis sehr unterschiedlich.

#### 5.4.1.2 Fahrtablauf ohne Betriebshalt

In einem idealen Fahrtablauf würden die Züge auf dem Reiseweg keine Beschränkungen haben, d. h., die Züge fahren immer mit ihrer technischen max. Geschwindigkeit auf den freien Strecken und haben keine Verringerung der Geschwindigkeit bzw. keine Konflikte durch andere Züge.

### Anzahl der Zwischenhaltestelle

Im Fall ohne Betriebshalte fährt der Zug mit technischer max. Geschwindigkeit und hat dieser Zug keine Konflikte mit anderen Zügen. Die durchschnittliche Regelhaltezeit eines Zuges ohne innerbetrieblichen Grund kann als Konstante  $\bar{t}_H$  betrachtet werden.

Durch die reine Fahrzeit des Zuges auf dem gesamten Reiseweg und die Summe der Haltezeit  $\bar{t}_H$  der Zwischenhaltestelle kann die Anzahl der eventuell auftretenden Verkehrshalte mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$V_R = V_F * f_R \rightarrow \frac{S_{ges}}{t_F + \sum_{j=0}^m T_{H(j)}} = f_R * \frac{S_{ges}}{t_F} \rightarrow m = \frac{1 - f_R}{f_R} * \frac{t_F}{\bar{t}_H} \quad \text{Gleichung 5-10}$$

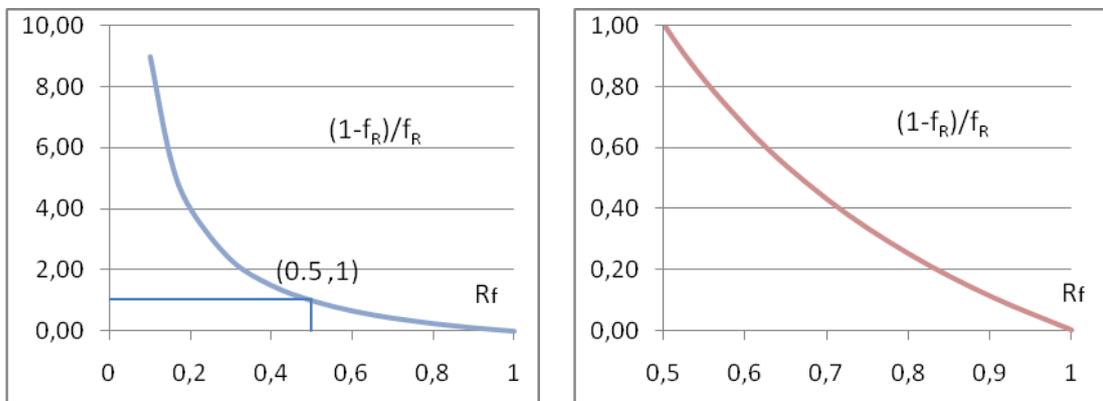


Abbildung 5-6 Kurven von  $f_R$

Die Zunahme des Reisegeschwindigkeitsfaktors  $f_R$  bedeutet eine Reduzierung der Anzahl der Zwischenhalte eines Zuglaufes, der durchschnittliche durchfahrene Haltestellenabstand wird wegen der unveränderlichen Reiseweite entsprechend vergrößert. Wenn der Reisegeschwindigkeitsfaktor eines Zuges auf dem Reiseweg kleiner als 0,5 ist, wird die wachsende Rate der Anzahl der Halte erheblich zugenommen haben (s. Abbildung 5-5). Diese Zunahme bedeutet, dass der Zug mehrere Zwischenhalte unterwegs hat und die Reisezeit des Zuges erheblich größer als bei dem gleichen Modellzug ohne bzw. mit wenigen Zwischenhalten ist.

Die Gleichung 5-10 zeigt, dass die Anzahl der Zwischenhalte eines Zuglaufs von  $f_R$  und der reinen Fahrzeit  $t_F$  bestimmt wird. Die reine Fahrzeit  $t_F$  ist von der Fahrgeschwindigkeit  $V_F$  des Zuges und der Reiseweite  $S_{ges}$  abhängig. Bei der Steigerung der Fahrgeschwindigkeit  $V_F$  des Zuges während einer unveränderlichen Reiseweite  $S_{ges}$  wird die Anzahl der Zwischenhalte verringert. Bezogen auf die praktische Erfahrung haben die Züge mit hoher Fahrgeschwindigkeit (z. B. ICE-Züge) meistens im Betrieb den großen Haltestellenabstand.

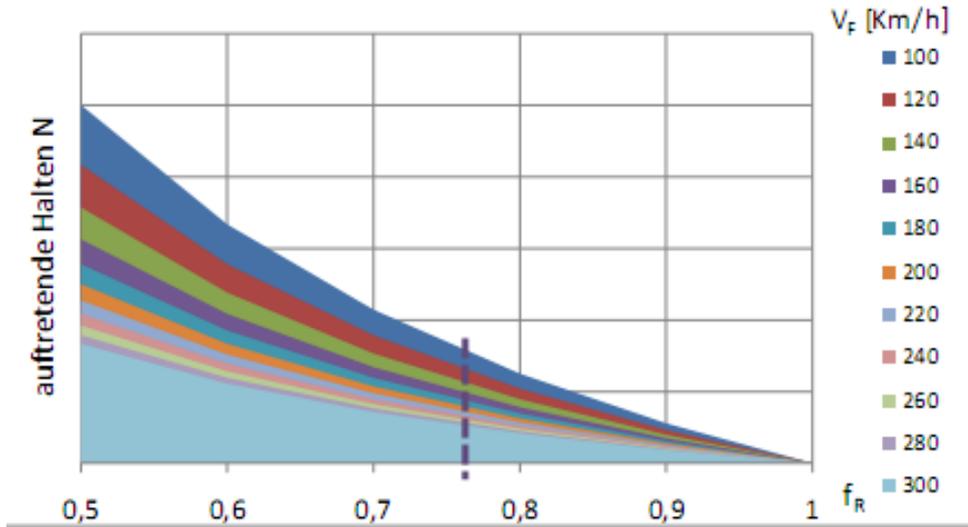


Abbildung 5-7 Verhältnisse zwischen der Anzahl der Halte  $N$ ,  $V_F$  und  $f_R$

Die Kurven in der Abbildung 5-7 zeigen die Verhältnisse zwischen der Anzahl der Zwischenhalte, der Fahrgeschwindigkeit des Zuges  $V_F$  und dem Reisegeschwindigkeitsfaktor  $f_R$ . Wenn der Reisegeschwindigkeitsfaktor  $f_R$  konstant wäre, würde die Anzahl der Zwischenhalte nach der Zunahme der Fahrgeschwindigkeit zurückgehen.

Durchschnittliche Distanz des Haltestellenabstandes

Durch die mit Gleichung 5-10 ermittelte Anzahl der auftretenden Zwischenhalte  $m$  und die Streckenlänge  $S_{ges}$  kann der durchschnittliche Haltestellenabstand  $\overline{L_H^{j,j+1}}$  [km] ermittelt werden.

$$\overline{L_H^{j,j+1}} = \frac{S_{ges}}{m + 1} \quad \text{Gleichung 5-11}$$

$$m = \frac{S_{ges}}{D_H} - 1 = \frac{1 - f_R}{f_R} * \frac{t_F}{t_H}$$

$$\overline{L_H^{j,j+1}} = \frac{f_R}{1 - (1 - \frac{t_H}{S_{ges}} * V_F * f_R)} * V_F * \overline{t_H} \quad \text{Gleichung 5-12}$$

Wenn die Fahrgeschwindigkeit des Zuges konstant bleibt und die gesamte Distanz  $S_{ges}$  ausreichend groß ist, kann der durchschnittliche Haltestellenabstand  $\overline{L_H^{j,j+1}}$  annähernd nur abhängig von  $f_R$  bestimmt werden.

$$\overline{L_H^{j,j+1}} \approx \frac{f_R}{1 - f_R} * V_F * \overline{t_H} \quad \text{Gleichung 5-13}$$

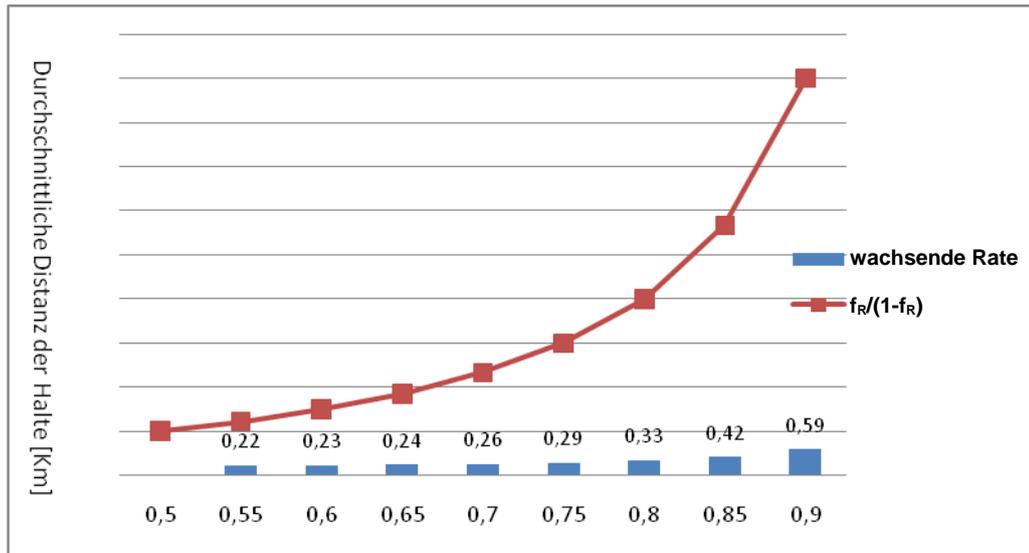


Abbildung 5-8 durchschnittliche Distanz der Halte  $\overline{L_H^{j,j+1}}$  und Abhängigkeit von  $f_R$

Der Anstieg des Faktors  $f_R$  führt die Vergrößerung des durchschnittlichen Haltestellenabstandes herbei, die Verhältnisse zwischen dem Haltestellenabstand und dem  $f_R$  werden mit der Gleichung 5-13 und in der Abbildung 5-8 dargestellt. Die Kurve und ihre wachsende Rate zeigt die Veränderung des Haltestellenabstandes des Zuges abhängig von  $f_R$ . Wenn  $f_R$  größer als 0,65 wäre, würde die wachsende Rate der Kurven erheblich zunehmen und der durchschnittliche Haltestellenabstand dadurch vergrößert werden.

### Reisezeitzunahme

Die Reisezeit hat wegen der Frequenzerhöhung der Zwischenhalte bzw. Verlängerung der Haltezeit zugenommen, da die Zwischenhalte im Bahnbetrieb die Haltezeit der gesamten Reisedauer beeinflussen. Die Reisezeitzunahme kann im Vergleich zu der reinen Fahrzeit abhängig von dem Reisegeschwindigkeitsfaktor  $f_R$  in Prozent darstellt werden. Wenn  $f_R$  kleiner als 0,5 wäre, würde die gesamte Reisedauer verdoppelt werden.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n t_H}{T_F} = \frac{T_R - T_F}{T_F} = \frac{1}{f_R} - 1$$

Gleichung 5-14

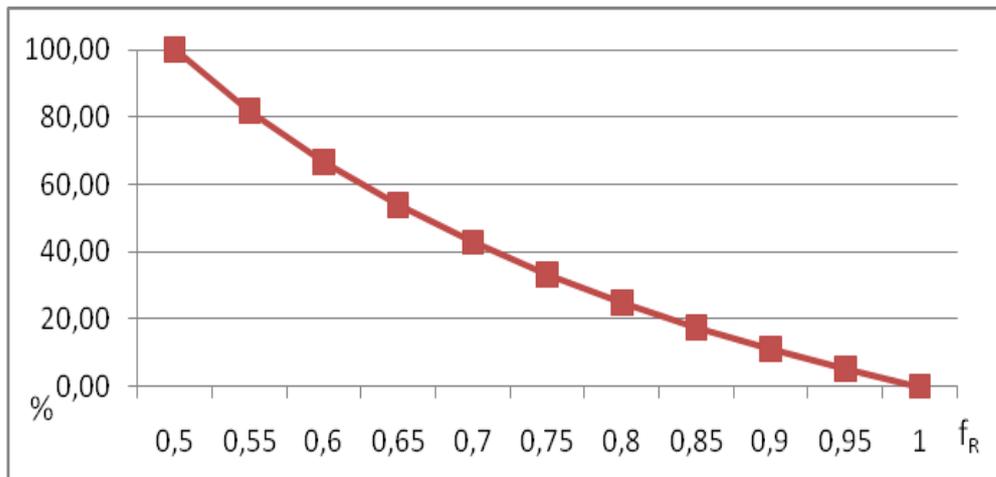


Abbildung 5-9 Zunahme der Reisezeit in Prozent

#### 5.4.1.3 Fahrtablauf mit fahrplanmäßigem Betriebshalt

Allerdings ist in der Praxis nicht nur ein Zugtyp auf den Bahnstrecken unterwegs, sondern verschiedene Züge mit mehreren Gattungen. Die „Konflikte“ aufgrund der unterschiedlichen Zuggeschwindigkeiten im Bahnbetrieb können die Änderungen von Zugfolgen auf der Strecke verursachen, die Züge können diese Änderungen nur in den Betriebsstellen durch „Überholen“ verwirklichen. Das Vorrecht zum Überholen ist im Eisenbahnbetrieb abhängig von der Priorität des Zuges, die Priorität des Zuges wird normalerweise von der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit  $V_{Max}$  bestimmt. Die Züge mit niedriger Priorität bzw. mit niedriger Geschwindigkeit müssen auf einem Nebengleis im Bahnhof halten, um die anderen Züge mit hoher Priorität überholen zu lassen.

In Abschnitt 5.4.1.1 wurde dargestellt, dass die Betriebshalte in der Praxis meistens mit Verkehrshalten kombiniert werden. Die Haltezeit eines kombinierten Halts ist wegen der Integration der betrieblichen Aufgaben größer als die Haltezeit eines Verkehrshalts. Die gesamte Haltezeit auf dem Reiseweg ist im Vergleich zu der Haltezeit im Fall „ohne Betriebshalte“ größer, dadurch wird die gesamte Reisezeit zugenommen und der Reisegeschwindigkeitsfaktor  $f_R$  entsprechend reduziert. Die Verlängerung der Reisezeit kann eine Veränderung des Zugumlaufplans, die Senkung der Reisequalität und auch möglicherweise Verluste an Marktanteilen verursachen.

#### 5.4.2 Analyse des Zuglaufs in China

Die verzahnte Abbildung 5-10 veranschaulicht, dass wenn ein Zug auf einem bestimmten Weg im Betrieb ist, wird der durchschnittliche Haltestellenabstand bei Zunahme des  $f_R$  zunimmt und die Anzahl der Zwischenhalte, sowie die gesamte Reisezeit entsprechend reduziert.

Abbildung 5-10 Verzahnung zwischen  $f_R$  und Haltestelle

Auf einem bestimmten Abschnitt des Reisewegs sind die Anzahl der Haltestellen, der durchschnittliche Haltestellenabstand und die Reisezeitzunahme eines Zuges einheitlich von der Größe des Reisegeschwindigkeitsfaktors  $f_R$  abhängig. Mit der Analyse des Reisegeschwindigkeitsfaktors  $f_R$  kann der Zustand des Zuglaufs bzw. des Bahnbetriebs sehr deutlich beurteilt werden, durch Verminderung der Anzahl der Halte und Verkürzung der Haltezeit kann der Reisegeschwindigkeitsfaktor  $f_R$  bzw. die Reisegeschwindigkeit erhöht werden.

In der Tabelle 5-6 können die vordefinierten Modellzüge des Personenverkehrs gemäß Reisedistanz miteinander verglichen werden. In Anbetracht der Richtlinie „Eisenbahn Personenverkehr Management“ des MOR und den in China im Bahnbetrieb gegenwärtig angewandten Fahrplänen werden in der Tabelle die Größe des durchschnittlichen Haltestellenabstandes gemäß des Modellzugs und der betrieblichen Reiseweite vorgeschlagen.

Reisedistanz	Zug	Vorteile	Nachteile	Haltestellenabstand [km]
Fernverkehr (über 1000 km oder Fahrzeit über 5 Stunden)	D	hohe Zugdichte, flexible Abfahrtszeit, Hochgeschwindigkeit, kurze Reisezeit	Umstieg in großen Knoten, hoher Preis	200 ± 10 %
	E	schnell, Schlafwagen, ohne Umstieg	wenige Angebote pro Tag, hoher Preis für Schlafwagen	100 ± 10 %
	S	niedriger Preis, Schlafwagen	wenige Angebote pro Tag, lange Reisezeit, Umstieg in großen Knoten	70 ± 10 %
	P			
Mittel- Fernverkehr zwischen großen Knoten (Reisedistanz unter 1000 km größer als 500 km)	D	hohe Zugdichte, flexibel Abfahrtszeit, Hochgeschwindigkeit, kurze Reisezeit	hoher Preis	100 ± 10 %
	E	schnell, Schlafwagen, ohne Umstieg	hoher Preis für Schlafwagen	100 ± 10 %
	S	niedriger Preis, Schlafwagen	lange Reisezeit	60 ± 10 %
	P			
Regional- Verkehr zwischen Knoten (unter 500 km)	D	Hochgeschwindigkeit, kurze Reisezeit	hoher Preis	100 ± 10 %
	E	schnell, ohne Umstieg	relativ hoher Preis	100 ± 10 %
	S	niedriger Preis	lange Reisezeit	50 ± 10 %
	P			
Nahverkehr (unter 250 km)	E	schnell	relativ hoher Preis	50 ± 10 %
	S P	niedriger Preis	lange Reisezeit	50 ± 10 %
	P			
	L	sehr niedriger Preis	zu lange Reisezeit	30 ± 30 %

Tabelle 5-6 Vergleich der Modellzüge und vorgeschlagene Haltestellenabstände der Modellzüge

Aufgrund der verschiedenen Routen des Reisewegs und der unterschiedlichen Wirtschafts- sowie ist ein idealer Fahrtablauf ohne Betriebshalte. Die durchschnittlichen Haltestellenabstände sind abhängig von der IST-Reisegeschwindigkeit zu ermitteln. Siedlungsstruktur in den Regionen ist der durchschnittliche Haltestellenabstand schwer mit einem Mittelwert als Maßstab zu definieren, sondern er muss nach der Reisedistanz und dem Zugmodell in einem Schwankungsbereich angegeben werden. So halten die D-Züge, die hier als Pendler-City-Express im Betrieb sind, zwischen den Städten Nanjing und Shanghai (301 km) fast alle 50 km. Der Haltestellenabstand der D-Züge „Shanghai nach Peking“ (1463 km) beträgt durchschnittlich 200 km.

Um die eventuell existierenden Probleme im gegenwärtigen Zuglauf herauszufinden, werden in der Arbeit Schritt für Schritt die folgenden drei Fällen analysiert:

**Fall 1** ist ein idealer Fahrtablauf ohne Betriebshalte. Die durchschnittlichen Haltestellenabstände sind abhängig von der IST-Reisegeschwindigkeit zu ermitteln.

Die Reisegeschwindigkeit wird gemäß den statistischen Ergebnissen aus Tabelle 5-1 zugrunde gelegt. In diesem Fall laufen alle Züge ohne Betriebshalte auf der

Bahnstrecke, die Haltezeit ist hier gleich die durchschnittliche max. zulässige Regelhaltezeit (7 min).

Modellzug	$f_R$	$V_R$ [km/h]	$V_F$ [km/h]	$\phi T_H$ [min]	Verkehrs- haltezeit [min]	$\phi$ Reiseweite [km]	$\phi D_H$ [km]
D	0,767	138	180	7,0	7,0	298	56,2
E	0,694	100	144	7,0	7,0	1383	37,2
S	0,556	70	126	7,0	7,0	1262	18,2
P	0,593	64	108	7,0	7,0	1095	18,1
L	0,456	41	90	7,0	7,0	225	8,5

Tabelle 5-7 berechneter Haltestellenabstand ohne Berücksichtigung der Betriebshalte

Die durchschnittlichen Haltestellenabstände sind je nach Modellzug gemäß Gleichung 5-12 zu ermitteln, die Ergebnisse weichen wegen der fehlenden Berücksichtigung der Betriebshalte im Vergleich zur Realität erheblich voneinander ab. Gemäß den Voraussetzungen für den idealen Fall 1 soll die gesamte Reisedauer aus reiner Fahrzeit und Haltezeit bestehen, die Halte auf dem Reiseweg sind nur Verkehrshalte, die dem Fahrgastwechsel dienen. Die Größe einer Haltezeit ist für einen einfachen Verkehrshalt konstant. Der nicht zur Fahrzeit gehörende Zeitanteil aus der gesamten Reisezeit wird nur auf die Verkehrshalte aufgeteilt. In der Realität ist die Zeit wegen der betrieblichen Aufgaben (z. B. Überholen) jedoch meistens nicht vermeidbar und tatsächlich in der gesamten Haltezeit inbegriffen. Dadurch ergibt die Berechnung der Anzahl der Zwischenhalte mit der Gleichung 5-12 mehr Halte als in der Realität. Diese „nicht existierenden“ Zwischenhalte in der Berechnung verursachen eine Verkürzung des Haltestellenabstandes.

**Fall 2** ist auch ein idealer Fahrtablauf ohne Betriebshalte. In diesem Fall wird die Reisegeschwindigkeit des Zuges bezogen auf den IST-Haltestellenabstand berechnet.

Ein beliebiger Zwischenhalt kann gemäß der Voraussetzung ohne Berücksichtigung der betrieblichen Aufgabe und der Haltezeit als konstant behandelt werden. Die Anzahl der Zwischenhalte des Zuges auf einem bestimmten Reiseweg soll durch die Erhöhung des Haltestellenabstandes entsprechend reduziert werden, dadurch ist die gesamte Reisezeit aufgrund der reduzierten Zwischenhalte verkürzt und die Reisegeschwindigkeit des Zuges erhöht. Die ermittelten Reisegeschwindigkeiten können den Haltestellenabstand des Modellzuges in der Realität anpassen, und als max. realisierte Größen in dieser Arbeit bzw. in der Praxis betrachtet werden, da die Zeit aufgrund betrieblicher Aufgaben in dem Fall nicht berücksichtigt wurde. Die ideale

bzw. max. realisierte Reisegeschwindigkeit gemäß des Modellzugs und des Haltestellenabstandes ist in der Tabelle 5-8 geschrieben,

Modellzug	$f_R$	$\phi V_R$ [km/h]	$V_F$ [km/h]	$T_H$ [min]	$\phi D_H$ [km]
<b>D</b>	0.806	145	180	7,0	50-100
	0.889	160	180	7,0	101-150
	0,944	170	180	7,0	151-200
<b>E</b>	0.764	110	144	7,0	50-70
	0.833	120	144	7,0	71-100
	0.903	130	144	7,0	101-200
<b>S</b>	0.794	100	126	7,0	45-65
	0.833	105	126	7,0	>65
<b>P</b>	0.787	85	108	7,0	40-50
	0,833	90	108	7,0	51-60
<b>L</b>	0.722	65	90	7,0	20-30
	0.778	70	90	7,0	31-45

Tabelle 5-8 ideale Reisegeschwindigkeit mit angepasstem Haltestellenabstand je nach Modellzug

Die Zahl der Zwischenhalte und der durchschnittliche Haltestellenabstand werden im Vergleich zu der Realität in der Praxis angepasst, die Reisegeschwindigkeit ist in diesem Fall erheblich erhöht, das Ausmaß von der Erhöhung der Reisegeschwindigkeit ist abhängig von der Zunahme des Haltestellenabstands.

**Fall 3** ist ein Fahrtablauf mit fahrplanmäßigen Betriebshalten, in dem Fall wird der Zeitverlust, der aufgrund der betrieblichen Aufgabe verursacht wurde, berücksichtigt.

Vor der raschen Entwicklung der Eisenbahn und Erweiterung des Eisenbahnnetzes waren in China die meisten Bahnstrecken eingleisig, die Schwerpunkte vom Bahnbetrieb lagen in der „Gegenfahrt“. Heutzutage sind in China über 40,5 % der Bahnstrecken zwei- oder mehrgleisig und 41,7 % der Bahnstrecken mit automatischem Blocksystem ausgerüstet, d. h., die „Zugfolge“ bildet den Schwerpunkt des Betriebs. Im Fall 3 werden die auftretenden Überholungen wegen der „Zugfolge“ auf dem Reiseweg als hauptsächliche Beeinflussungen im Fahrtablauf analysiert.

Bei Entwurf des Fahrplans ist es gewöhnlich so, dass die Züge auf ihrem Reiseweg andere Züge überholen wollen und der Bedarf der Überholung sehr häufig auf der freien Bahnstrecke auftreten wird. Allerdings ist die Überholung auf der freien Bahnstrecke nicht erlaubt, sie wird nur innerhalb einer Betriebsstelle zugelassen. Um solche Probleme des Wechsels der Zugfolge zu lösen, wurde im Bahnbetrieb festgelegt, dass die Züge mit hoher Priorität die Züge mit niedriger Priorität überholen dürfen. Die Züge mit niedriger Priorität sollen in Betriebsstellen auf einem Nebengleis

anhalten, um sich dann am Ende der Überholung durch den schnelleren Zug wieder auf die Strecke einzufädeln. Es gibt normalerweise zwei Möglichkeiten beim Entwurf des Fahrplans, um die Konflikte der Zugfolge zwischen den Zügen zu lösen. Diese sind in der Abbildung 5-11 dargestellt.

**Variante 1:** Der schnelle Zug muss seine Fahrgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt zwischen Bahnhof  $i$  und Bahnhof  $i+1$  verringern und den zu überholenden Langsamzug bis zum Bahnhof  $i+1$  folgend fahren. Bei der Verringerung der Geschwindigkeit in einem solchen Fall nimmt die gesamte Reisedauer zu und die Reisegeschwindigkeit wird entsprechend reduziert.

**Variante 2:** Der schnelle Zug verlängert seine Haltezeit im Bahnhof  $i$ , um den zu überholenden Langsamzug anschließend im Bahnhof  $i+1$  zu überholen.

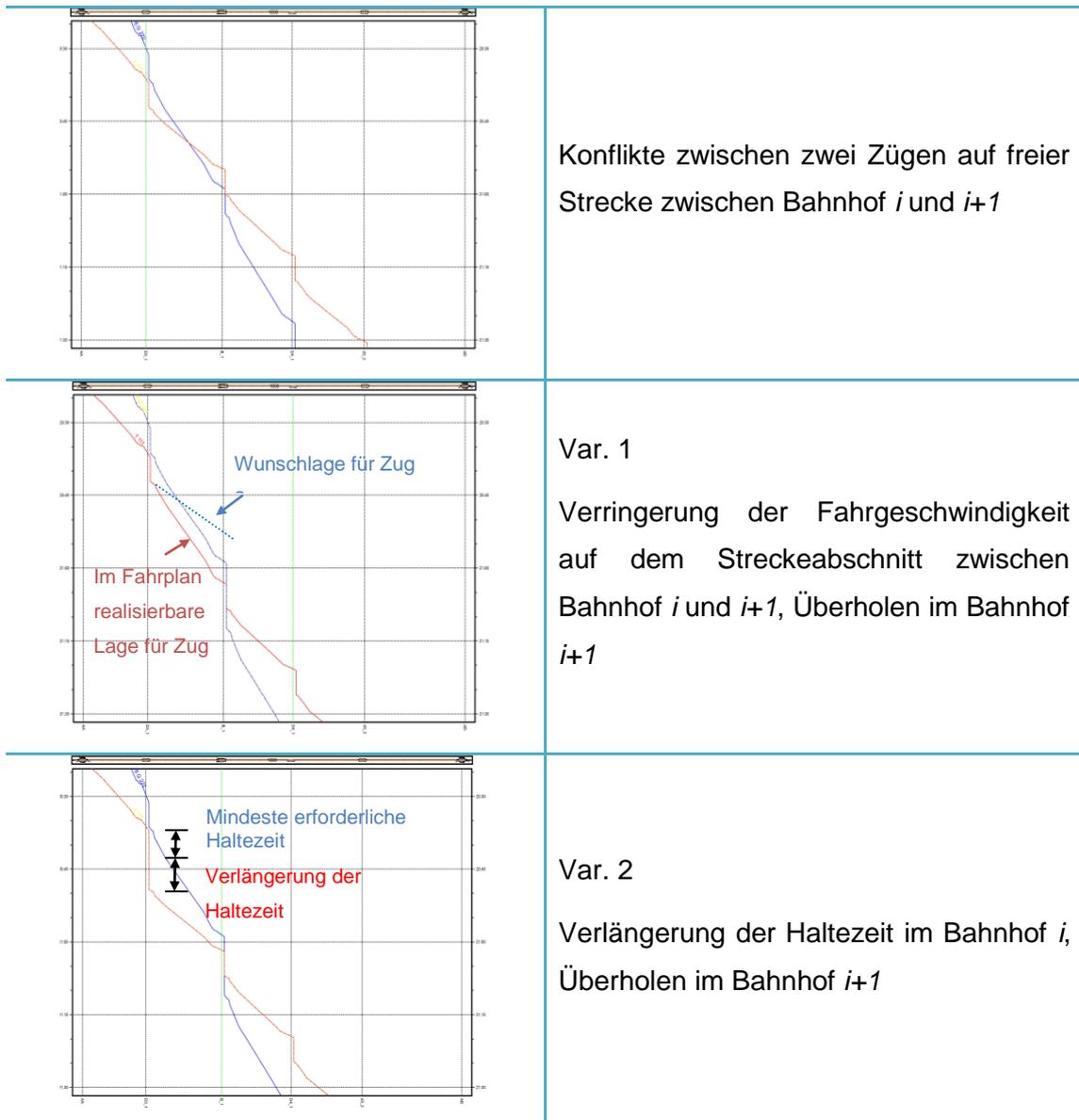
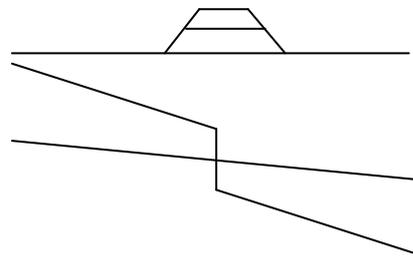


Abbildung 5-11 Lösung der Konflikte auf freier Strecke

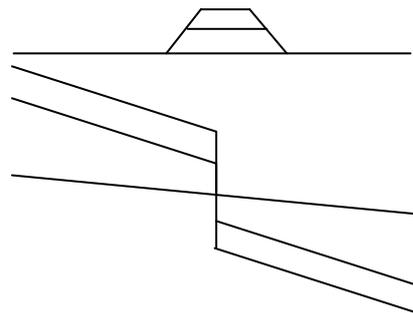
Die zwei Varianten 1 und 2 in der Abbildung 5-11 zeigen die Ursache der Verlängerung der gesamten Reisezeit des nachfolgenden Schnellzuges. Der Schnellzug, der hohe Priorität, hohe Geschwindigkeit und seine Zwischenhalte nur um Fahrgastwechsels hat, hat wegen der Behinderung durch den vorfahrenden Langsamzug seine Geschwindigkeit auf der freien Strecke verringert oder seine Haltezeit im zurückliegenden Bahnhof verlängert. In der vorliegenden Arbeit wird die Zunahme der Reisezeit wegen Geschwindigkeitsverringering auch als Haltezeit umgerechnet, d. h. Var. 1 wird in Var. 2 umgewandelt, dadurch könnten alle Züge mit zulässiger max. Geschwindigkeit auf der freien Strecke fahren, die Reisedauer besteht dann nur aus

reiner Fahrzeit  $\sum_{i=0}^n T_{F(i,i+1)}$  und gesamter Haltezeit  $\sum_{j=0}^m T_{H(j)}$ .

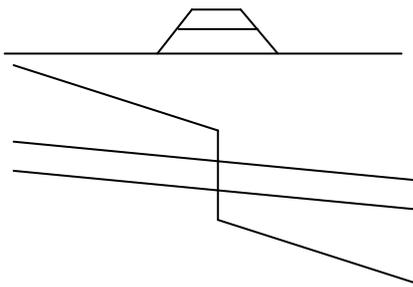
- 1. Innerhalb eines Bahnhofs überholt ein schneller Zug nur einen langsamen Zug.



- 2. Ein schneller Zug überholt mindestens einen langsamen Zug innerhalb eines Bahnhofs.



- 3. Mehr als ein schneller Zug überholen nur einen langsamen Zug im selben Bahnhof



- 4. Mehr als ein schneller Zug überholen mindesten einen langsamen Zug im selben Bahnhof

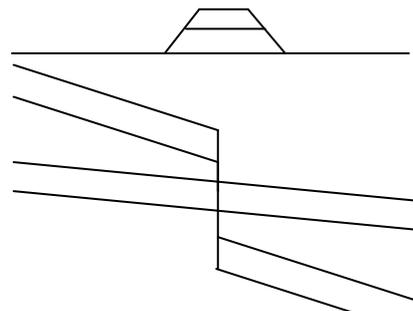


Tabelle 5-9 Vier verschiedene Überholungsmöglichkeiten

Die eventuell in den Betriebsstellen auftretende Überholung kann in der Tabelle 5-9 zusammengefasst werden. Unter den vier Möglichkeiten sind die Anzahl der Überholungen und die Verlängerung der Haltezeit zur Durchführung einer Überholung aufgrund der Wahrscheinlichkeit von den auftretenden Zugfolgefällen, der erforderlichen Zugfolgezeit und dem Abstand zwischen Betriebsstellen sehr schwer mit einem Maßstab zu definieren.

#### **5.4.2.1 Ermittlung des Zeitverlusts wegen Behinderungen von anderen Zügen**

Da keine Maßstäbe für die Anzahl der Überholungen und die Wahrscheinlichkeit zur Überholung je Modellzug vorzugeben sind, kann der Zustand des Zuglaufs nicht einfach mit einem Bezugssystem beurteilt werden. In der Praxis ist die Überholung für einen gut organisierten Zuglauf weitestgehend zu vermeiden, sodass der Zeitverlust auf dem Weg vermindert werden und die entsprechende Reisegeschwindigkeit erhöht werden kann.

In der Arbeit wird der gesamte Zeitverlust, der wegen Überholen oder Geschwindigkeitsverringerung als Haltezeit umgerechnet wird, als eine Einheit zusammengefasst, sodass die gesamte Haltezeit  $\sum_{j=0}^m T_{H(j)}$  aus zwei Komponenten besteht:

- Die durchschnittliche Verkehrshaltezeit  $\overline{T}_H$  auf jeder Plan-Haltestelle
- Der gesamte Zeitverlust, der von der Reiseweite abhängig ist, wird als ein Maß in der Einheit [min/100 km] dargestellt

Die Priorität eines Modellzuges wird im chinesischen Bahnbetrieb in folgender Reihenfolge eingeordnet. Wenn die Züge auf der Bahnstrecke in Konflikt geraten, wird nach der Priorität entschieden, welcher Zug den anderen Zug überholen darf. Der Modellzug L hat wegen seiner niedrigsten Priorität mehrmalige Überholungen bzw. den größten Zeitverlust auf seinen Weg.

$$D > E > S > P > L$$

In der folgenden Analyse wird der gesamte Zeitverlust [min/100 km] des Zuglaufs durch die Erhöhung der Reisegeschwindigkeit des Zuges und die Vergrößerung des Haltestellenabstandes, der innerhalb des in Tabelle 5-6 vorgeschlagenen Schwankungsbereiches liegt, in verschiedenen Fällen ermittelt und schrittweise verglichen.

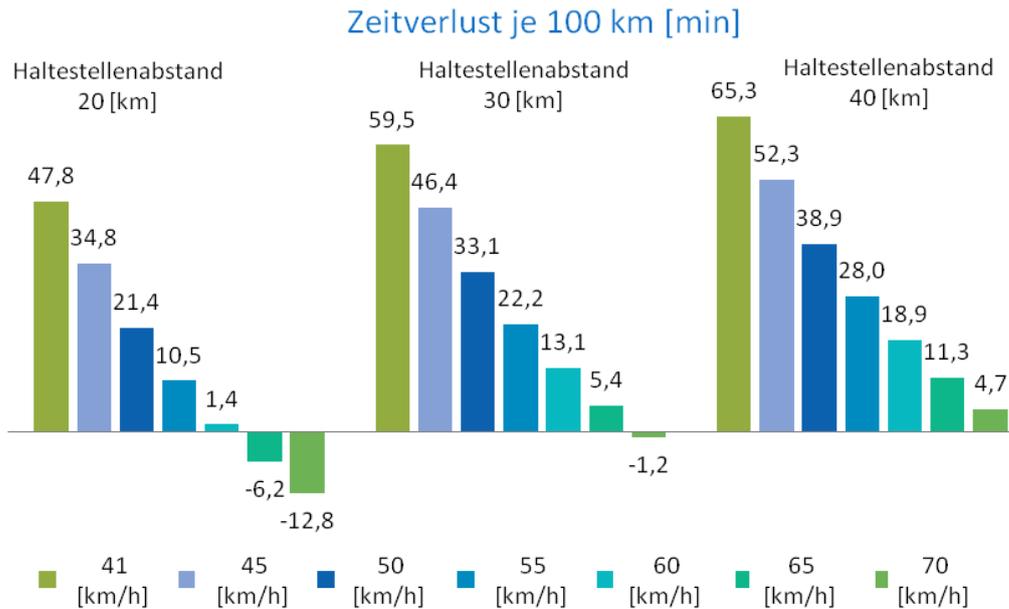


Abbildung 5-12 Zeitverlust von Modellzug L

Die Abbildung 5-12 stellt den Zeitverlust von Modellzug L abhängig von der Veränderung der Reisegeschwindigkeit und der Distanz des Haltestellenabstands dar, die Reisegeschwindigkeit verändert sich vom IST-Zustand 41 km/h bis auf 70 km/h und der Haltestellenabstand bewegt sich im Schwankungsbereich 20 km, 30 km und 40 km. Wenn die Reisegeschwindigkeit gleich bleibt, steigt der Zeitverlust aufgrund der Zunahme des Haltestellenabstands an, weil die gesamte Zeit für die Halte unverändert bleibt und der Zug weniger Halte zum Verkehrsziel bzw. weniger gesamte Verkehrshaltezeit auf seinem Weg hat. Bei gleichem Haltestellenabstand wird der Zeitverlust des Zuges wegen des Anstiegs der Reisegeschwindigkeit reduziert, da sich der gesamte Zeitaufwand für die Halte verringert und davon der Anteil für die Verkehrshalte keine Veränderung aufweist. Der negative Wert des Zeitverlusts in der Abbildung 5-12 hat nachgewiesen, dass die gewünschte Reisegeschwindigkeit bei diesem Haltestellenabstand nicht realisierbar ist. Um diese gewünschte Reisegeschwindigkeit zu verwirklichen, muss der Haltestellenabstand vergrößert werden.

Der Zeitverlust wird aufgrund den oben dargestellten Ursachen zum Wechsel der Zugfolge erzeugt. Die einzige Lösung zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit der Überholungen ist es, dass die aufeinanderfolgenden Züge im bestimmten Zeitraum keine große Geschwindigkeitsdifferenz haben bzw. weitestgehend wenige Gattungen von Modellzügen auf der ausgewählten Strecke verkehren.

### 5.4.2.2 Grobe Berechnung der Anzahl der Überholungen und Vorschläge der gewünschten Reisegeschwindigkeit

Die erforderliche Haltezeit zur kompletten Beendigung einer einmaligen Überholung ist abhängig von der Zugfolgezeit  $t_{z,(L-S)}$ ,  $t_{z,(S-L)}$ . Wenn einige Schnellzüge auf der gleichen Betriebsstelle einen Langsamzug „L“ überholen müssen, dann verlängert sich die Haltezeit des Langsamzuges in der Höhe von  $(m-1) \cdot t_{z,(S-S)}$ .  $m$  ist die Anzahl der Schnellzüge,  $t_{z,(S-S)}$  ist die Zugfolgezeit zwischen zwei Schnellzügen.

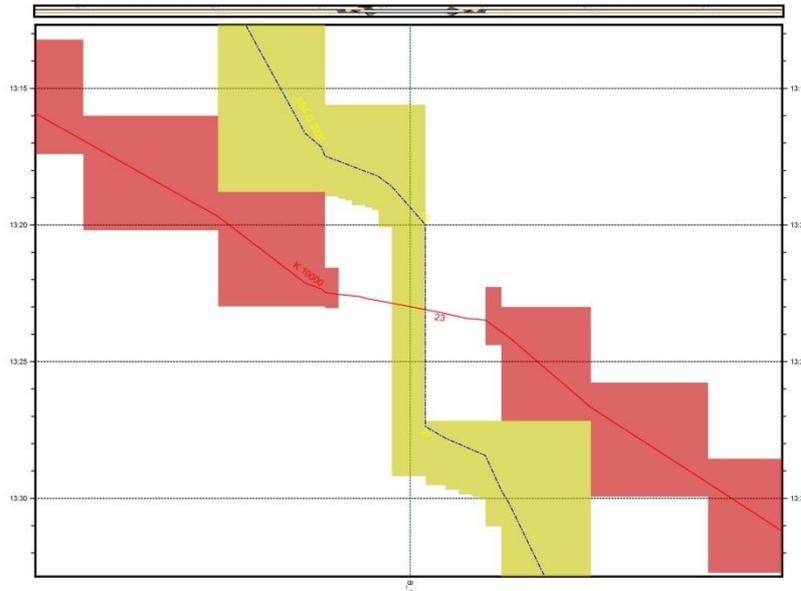


Abbildung 5-13 komplette Durchführung einer Überholung

Die Berechnungen der Zugfolgezeit sind in Deutschland und China unterschiedlich, stehen aber in Zusammenhang mit der Länge des Blocks. In China beträgt die Zugfolgezeit auf den meisten zweigleisigen Strecken 6-10 min als technische Norm. In der folgenden Analyse werden  $t_{z,(L-S)}$ ,  $t_{z,(S-L)}$  und  $t_{z,(S-S)}$  einheitlich mit 7 min angenommen. Die Haltezeit für einen separat auftretenden Betriebshalt kann vereinfacht aus der Summe von  $t_{z,(L-S)}$  und  $t_{z,(S-L)}$  mit 14 min berechnet werden. Wenn die Betriebshalte mit den Verkehrshalten kombiniert sind, entspricht die Verlängerung der Haltezeit zum Anschluss einer einmaligen Überholung ungefähr einer Zugfolgezeit  $t_{z,(S-L)}$  von 7 min. Der gesamte Zeitverlust aufgrund der Überholung wird bereits mit dem Reisegeschwindigkeitsfaktor ermittelt, dadurch kann die Anzahl der Überholungen grob geschätzt werden.

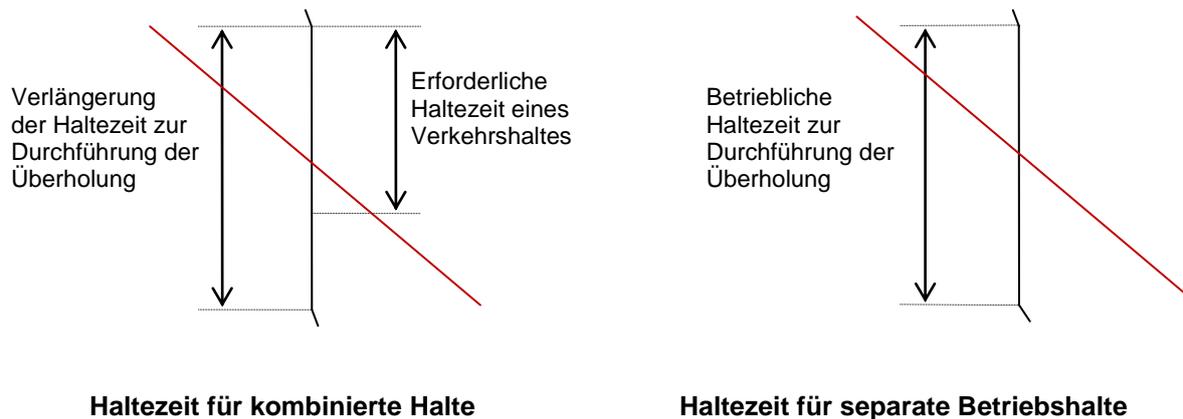


Abbildung 5-14 Haltezeit für kombinierte Halte und Betriebshalte

Die Ober- und Untergrenze der Anzahl der Überholung vom Modellzug L unter dem IST-Zustand auf 100 km Strecke kann nach folgenden Tabellen berechnet werden:

1. Alle Betriebshalte sind mit den Verkehrshalten kombiniert

Zeitverlust [min/100 km]	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [km]	Anzahl der Verkehrshalte	Max. Anzahl der kombinierten Halte	Anzahl der separat auftretenden Betriebshalte	Min. Anzahl der gesamten Zwischenhalte	Max. Anzahl der Überholungen
47,8	20	4	4	0	4	$47,8/7 \approx 6,8$
59,5	30	2,3	2,3	0	2,3	$59,5/7 \approx 8,5$
65,3	40	1,5	1,5	0	1,5	$67,6/7 \approx 9,3$

Tabelle 5-10 Ermittlung der Anzahl der Überholungen wegen kombinierter Zwischenhalte

2. Alle Betriebshalte bzw. Überholungen treten separat auf

Zeitverlust [min/100 km]	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [km]	Anzahl der Verkehrshalte	Anzahl der kombinierten Halte	Max. Anzahl der separat auftretenden Betriebshalte	Max. Anzahl der gesamten Zwischenhalte	Min. Anzahl der Überholungen
47,8	20	4	0	$47,8/14 \approx 3,4$	7,4	3,4
59,5	30	2,3	0	$59,5/14 \approx 4,3$	7,6	4,3
65,3	40	1,5	0	$65,3/14 \approx 4,7$	6,2	4,7

Tabelle 5-11 Ermittlung der Anzahl der Überholungen wegen der separat auftretenden Betriebshalte

Die Anzahl der gesamten Zwischenhalte ändert sich durch die Veränderung der Anzahl der kombinierten Halte und der separaten Betriebshalte, die eventuell auftretenden Überholungen sind von der Zunahme der Zwischenhalte umgekehrt proportional

abhängig. Der Bedarf zur Überholung besteht aufgrund der Zugfolgefälle und Priorität des Zuges. Wenn die folgend abfahrenden Züge in einem bestimmten Zeitraum keine großen Unterschiede bzw. höhere Priorität haben, wird die Überholung vermieden, sodass dadurch der Zeitverlust wegen Überholungen vermindert werden kann.

Durch die Auswertungen der Tab. 5-10 und 5-11 ergibt sich die mögliche Anzahl der Überholungen von 3,4 bis 9,4. Um die Reisegeschwindigkeit des Modellzugs L zu erhöhen, wird der ideale Fall angenommen, bei dem der Modellzug L die minimale Anzahl der Überholungen auf seinem Weg und weitestgehend kombinierte Halte hat.

In dieser Arbeit wird vorgeschlagen, die ermittelte Untergrenze der Anzahl der Überholungen als erwünschten Maßstab vorzugeben. Der Modellzug L darf nur 3,4-mal auf einer 100 km langen Strecke von anderen Zügen überholt werden und alle Überholstellen sind dabei mit Verkehrshalten kombiniert. In diesem idealen Fall beträgt der Zeitverlust  $3,4 * 7 = 23,8$  [min/100 km], mittels Ablesung des Zeitverlustwertes in der Abbildung 5-11 kann eine mögliche erreichte Reisegeschwindigkeit von 55 km/h ermittelt werden. Diese Reisegeschwindigkeit wird in der weiteren Arbeit als Verbesserungskonzept eingebracht, mit dem die Reorganisation der Zugfolge und Optimierung des Haltestellenabstandes realisiert werden soll.

Der Modellzug D hat sehr geringe Wahrscheinlichkeit, sich von anderen Zügen zu überholen, da er höchste Priorität im Bahnbetrieb hat. Der Zeitverlust wird wegen der Verhinderung durch den vorfahrenden Langsamzug auf freier Strecke erzeugt, unter diesen Umständen muss der Modellzug D seine eigene Geschwindigkeit verringern oder die Haltezeit verlängern. Dieser Zeitverlust ist im Vergleich zu der Zeit für die Durchführung einer Überholung relativ klein, deswegen ist der Vorschlag der weiteren Erhöhung der Reisegeschwindigkeit von Modellzug D in der Forschungsarbeit nicht gegeben. Der Modellzug E verkehrt auf den bestehenden Bahnstrecken meistens mit höchster Priorität im Bahnbetrieb. Die Größe seines Zeitverlusts, der nicht nur wegen der Verhinderungen von anderen Zügen, sondern auch aufgrund Überholungen erzeugt wird, ist in der Arbeit als Vorgabe mengenmäßig gleich der Zeit für die Durchführung einer Überholung berechnet. Das bedeutet, der Modellzug E darf auf einer 100-km-Strecke nur einmal in einer Haltestelle von einem Zug überholt werden oder 9 min als max. Zeitverlust haben, wenn er auf dem Reiseweg nicht noch von einem anderen Zug überholt werden soll. Mit dem gleichen Verfahren, das den Vorschlagswert der Reisegeschwindigkeit von Modellzug L ermittelt hat, können die Vorschlagswerte der Reisegeschwindigkeit von Modellzug S und P ausgerechnet und die Größe in der folgenden Tabelle 5-12 eingetragen werden.

Modellzug	IST-Reisegeschwindigkeit [km/h]	Vorschlagswerte der Reisegeschwindigkeit [km/h]	Max. Reisegeschwindigkeit [km/h] (vgl. Tab.5-4)
D	138	140	160
E	100	110	120
S	70	80	100
P	64	70	90
L	41	55	70

Tabelle 5-12 Modellzug und entsprechende Reisegeschwindigkeit

## 5.5 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde dargestellt, was die Merkmale und die häufig auftretenden Probleme im chinesischen Schienenpersonenverkehr sind. Der Fernverkehr, die Angebotsstrategie, die große vorgegebene Zugfolgezeit und die niedrige Reisegeschwindigkeit haben den Betriebszustand des Personenverkehrs der chinesischen Eisenbahn verbildlicht.

Durch die Analyse der Reisegeschwindigkeit wurde es nachgewiesen, dass die mehrfach auftretenden Überholungen auf dem gesamten Reiseweg und die Zeitverluste, die durch Behinderungen zwischen den Zügen wegen ihrer unterschiedlichen Zuggeschwindigkeiten auftreten, das niedrige Niveau der Reisegeschwindigkeit des Personenzuges im chinesischen Bahnbetrieb verursacht haben. Außerdem werden viele Zeitlücken wegen der vorgeschriebenen Mindestzugfolgezeit als „nicht nutzbar“ erkannt. Auch sie können zusätzlichen Zeitverlust des Zuges und Reduzierung der Reisegeschwindigkeit verursachen und beschränken gleichzeitig die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke.

Um die gewünschte Reisegeschwindigkeit jedes Modellzugs zu erreichen und die Leistungsfähigkeit des gesamten Eisenbahnnetzes weiter zu erhöhen, werden im folgenden Abschnitt fünf betrieblichen Maßnahmen vorgeschlagen.

1. Mit der Standardisierung der Bahnstrecken können die Harmonisierung und die Entmischung der Züge verwirklicht werden. Die durch die Geschwindigkeitsschere der Züge bedingten nicht nutzbaren Zeitlücken sind dadurch reduziert.
2. Optimierung der Fahrplankonstruktion im Personenverkehr. Durch die Zielvorgabe der Reisegeschwindigkeit des Modellzugs in Tab. 5-12 wurden die passenden Maßnahmen entwickelt, damit die Reisegeschwindigkeit der FRz auf einem zufriedenstellenden Niveau bleiben kann.

3. Verbesserung der Berechnung der Zugfolgezeit unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Vier-Aspekt-Signalsystems in China.
4. Neues Verfahren zur Betrachtung der Leistungsfähigkeit der Strecke, da das Verfahren mit Abzugsfaktoren nicht die Leistungsfähigkeit der Strecke genau nachweisen kann.
5. Reform der Bahnorganisation. Die Organisation und das Monopol der chinesischen Bahn haben auch die Leistungsfähigkeit des Eisenbahnsystems beschränkt.

## 6 Entwicklung der Maßnahmen zur Verbesserung des Bahnbetriebs

Die Leistungsfähigkeit eines Eisenbahnnetzes ist von den Konfigurationen abhängig, die im Wesentlichen aus der im Betrieb angewendeten Technik, der Infrastruktur und den Betriebsverfahren bestehen. Die Schwachstelle dieser Konfigurationen bestimmt die Endergebnisse der Leistungsfähigkeit des Bahnnetzes, obwohl die einzelnen Komponenten theoretisch mehr Leistungen erbringen können.

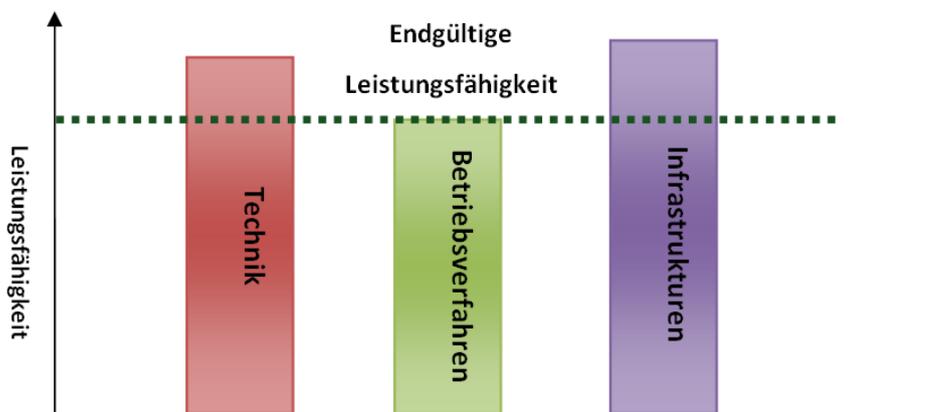


Abbildung 6-1 Beeinflussungsparameter für die Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes

Ein Hochleistungseisenbahnnetz und eine hohe Zugreisegeschwindigkeit werden in China von dem Bahnbetreiber MOR sowie den Endkunden dringend gewünscht. Um dieses Ziel zu verwirklichen, müssen alle Beeinflussungsfaktoren synchronisiert verbessert werden, weil viele Schwachstellen die endgültige Leistungsfähigkeit erheblich begrenzen. Für die Verbesserung des Bahnbetriebs und der Entwicklung der Bahnindustrie in China müssen Strategien und die Anpassungsmaßnahmen entsprechend zielgerichtet werden.

### 6.1 „Rapid Development“-Strategien

Die „Rapid Development“-Strategien wurden vom MOR entwickelt, um planvolle und ausgerichtete Realisierung eines effizienten Eisenbahnnetzes in relativ kurzer Zeit zu gewährleisten. „Rapid Development“ bedeutet wissenschaftliche, schnelle und sprunghafte Entwicklung, die auf den Erfahrungen aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Eisenbahnen basiert. Mit „Rapid Development“-Strategien kann die chinesische Eisenbahn die während der Entwicklung eventuell auftretenden Probleme vermeiden und das Niveau des chinesischen Eisenbahnwesens in kurzer Zeit heben sowie mit weniger Aufwand entwickeln.

In den „Rapid Development“-Strategien werden die baulichen und betrieblichen Maßnahmen in vier Bereiche aufgeteilt, diese sind: **Betriebsverfahren; Technik; Infrastruktur (Fahrzeug) und Infrastruktur (Strecken).**

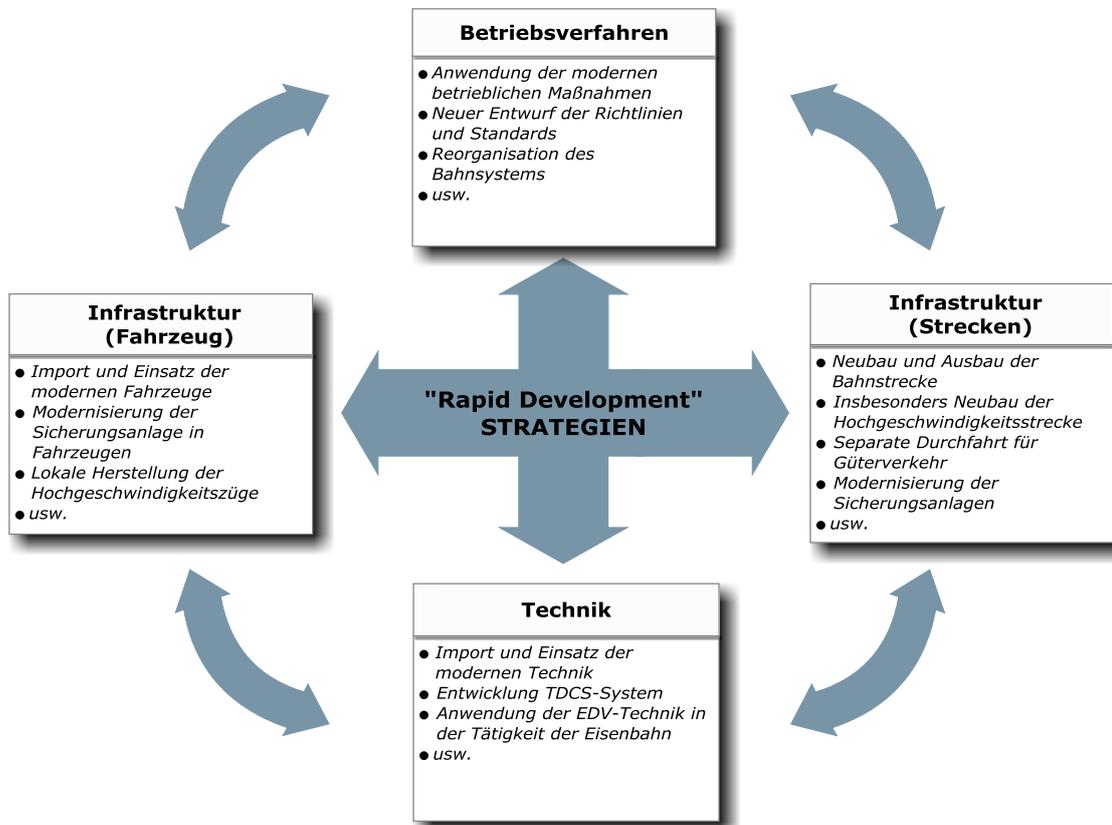


Abbildung 6-2 „Rapid Development“-Strategien

Die Erweiterung und Expansion des Eisenbahnnetzes ist natürlich als die wirkungsvollste Maßnahme zu berücksichtigen, obwohl die baulichen Maßnahmen selbstverständlich erheblich mehr Aufwand verursachen. Seit Jahrzehnten wurden in China zahlreiche Bauprojekte für den Neu- und Ausbau der Bahnstrecken durchgeführt und geplant. Es ist vorgesehen, dass bis zum Jahr 2020 ein bedarfsgerechtes Bahnnetz vorhanden ist. In dem Netz können der Personen- und der Güterverkehr auf den Hauptkorridoren getrennt und auf separaten Strecken im Betrieb sein.

Mithilfe der Anwendung moderner Technik und Infrastruktur, die mittels Ankauf in China importiert und entsprechend dem chinesischen Bedarf abgeändert werden, ist auch ein schneller Weg zum Erfolg gesichert. Der direkte Import und die Anwendung können den Zeitaufwand für die Forschung und Entwicklung der Technik in einigen Bereichen verkürzen oder sogar komplett vermeiden. Mittels Korporation mit weltmarktführenden Unternehmen können die chinesischen Infrastrukturhersteller die Patente bei der Fabrikation von den modernen Produkten direkt anwenden. So

begannen 2004 die chinesischen Lokomotive- und Wagenhersteller das „Harmonieprogramm“ zur Übernahme von ausländischen Technologien in der Herstellung der Lokomotiven, wonach alle Anbieter von HGV-Technik in der Welt von China eingeladen wurden, um die modernen Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge und auch die dazugehörige Technik in das Land zu importieren. Die lokale Herstellung der Triebzüge „Serie CRH“ (**C**hina **R**ailway **H**igh-speed), die mit moderner Technik ausgestattet sind und mit einer Geschwindigkeit von über 200 km/h fahren können, wurde mit der Vollmacht von Kooperationspartnern oder im Gemeinschaftsunternehmen in China realisiert.

Triebwagen	CRH 1	CRH 2	CRH 3	CRH 5
Abbildung				
Chinesische Unternehmen	CSR* (Bombardier Sifang (Qingdao) Transportation Ltd.)	CSR* (Sifang)	CNR** (Tangshan/Changchun)	CNR** (Changchun)
Ausländischer Partner	Bombardier Inc.	Kawasaki Heavy Industries	Siemens AG	Alstom AG
Plattform	Regina/ ZEFIRO	E2-1000	Valero E	Pendolino
Konfiguration	8- Wagen/16- Wagen	8-Wagen/16-Wagen	8-Wagen/16-Wagen	8-Wagen
Betriebs- höchstgeschwindigkeit	CRH1A/B/E 200-250 km/h	CRH2A/B/E 250 km/h		CRH5A 200-250 km/h
	CRH1-350 380 km/h	CRH2C 350 km/h CRH2-350 380 km/h	CRH3C 350 km/h CRH3D 380 km/h	

\*CSR: China South Locomotive and Rolling Stock Industry (Group) Corporation (CSR)

\*\*CNR: China North Locomotive and Rolling Stock Industry (Group) Corporation (CNR)

Tabelle 6-1 Übersicht der Hochgeschwindigkeitszüge in China

Dank der raschen Entwicklung der Rechentechnik wird der Einsatz der EDV (**E**lektronische **D**aten**v**erarbeitung)-Technik für den Eisenbahnbetrieb immer effizienter. Die Bahnbetriebssimulation ist heutzutage ohne EDV kaum vorstellbar, die Infrastruktur und die Züge können mit hoher Abbildungsgenauigkeit per EDV im Rechner simuliert und anschließend die Qualitäts- und Leistungskenngrößen der Infrastruktur ermittelt werden. In China ist ein EDV-gestütztes TDCS (**T**rain operation **D**ispatching **C**ommand **S**ystem) in Betrieb genommen worden, das System kann die Echtzeitinformationen von Zügen überwachen und die Disposition von Zügen mit EDV augenblicklich erzeugen.

Die EDV-Technik ist natürlich in jedem Bereich des Bahnbetriebs verwendbar und mit einer solchen Anwendung kann die Routinearbeit vereinfacht und mit mehr Sicherheit und Genauigkeit durchgeführt werden.

## **6.2 Maßnahmen zur Verbesserung des Bahnbetriebes**

Die Erweiterungen des Eisenbahnnetzes sind natürlich mit hohen Investitionen und langen Zeiten bis zur Gewinnperiode verbunden. Das MOR in China hat bis Ende 2009 insgesamt 130 Milliarden Euro Schulden wegen der Finanzierung der zahlreichen Bauprojekte aufgenommen, davon betragen die langfristigen Verbindlichkeiten ca. 85,48 Milliarden Euro und die kurzfristigen Verbindlichkeiten ca. 44,86 Milliarden Euro. Das MOR hat für dieses Jahr einen neuen beeindruckenden Rekord bei den Schulden angekündigt. Laut dem Bestätigungsvermerk von „Audit Service Center for Foreign Loan and Assistance Projects“ aus CNAO (National Audit Office of the People's Republic of China) ist der Verschuldungsgrad (Verschuldungsgrad = Fremdkapital/Eigenkapital) von MOR in 2009 bis auf eine Höhe von 52 % angestiegen. Bis Ende März 2011 ist der Verschuldungsgrad von MOR mit 58 % gerechnet.

Obwohl der Verschuldungsgrad von MOR noch unter dem Grenzwert von 60 % liegt, der in der Wirtschaft normalerweise als Warnzeichen kennzeichnet, ist, hat MOR ein hohes Bankrottrisiko. Nach dem Bericht [Msb10] hat MOR über 4 Milliarden Euro Zinsen für Darlehen im Jahr 2009 bezahlt, die Zinsen werden nach 2012 wegen der riesigen Schuldenberge heftig zunehmen und jährlich über 10 Milliarden Euro betragen. Gleichzeitig können die Neubaustrecken, die schon im Betrieb sind, voraussichtlich frühestens nach 20 Jahren Gewinn erwirtschaften.

Die hohen Investitionen haben direkt die erhebliche Erhöhung der Fahrpreise der Bahn verursacht, dadurch hat MOR Marktanteile des Verkehrs weiter verloren und das gesamte Einkommen hat sich reduziert. Außerdem ist MOR in der Ökonomie nicht ein Unternehmen, sondern ein staatliches Ministerium, die Schulden des MOR sind tatsächlich eine Staatsverschuldung und werden letztendlich von den Steuerzahlern getragen. Dieser Teufelskreis ist die latente Gefahr für die Finanzierung des MOR.

Aus den aktuellen Erscheinungen und Tendenzen des MOR kann zusammengefasst werden, dass MOR großen Wert auf Investitionen sowie Neubau legt und dagegen Management sowie Betrieb vernachlässigt. Zur langfristigen Entwicklung der Eisenbahn muss man außer der Modernisierung der Infrastruktur und der Technik unbedingt die betrieblichen Arbeitsweisen berücksichtigen, denn in der Praxis ist die Lösung der auftretenden Probleme mit betrieblichen Methoden aus wirtschaftlicher Sicht vorrangiger als die Entscheidung für die Investitionen in Infrastruktur. Die

ständige Entwicklung der effizienten betrieblichen Maßnahmen ist einerseits abhängig von der stetigen Modernisierung der Technik und Infrastruktur, andererseits von der Erneuerung eisenbahnbetrieblicher Theorien und Reorganisation bzw. Reform des chinesischen Eisenbahnsystems. Da die rasche Entwicklung der Bahnindustrie in China sprunghaft ist, sind die Theorien vom Bahnbetrieb und die altmodische planwirtschaftliche Bahnorganisation nicht zeitgemäß aktualisiert. Diese Rückständigkeit des Bahnbetriebs hat die Funktionen sowie Leistungen der moderneren Technik und der Infrastruktur stark beschränkt, die beeinflusst natürlich auch die vollständige Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes.

Im Kapitel 5 wurde durch die Bewertung der Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs der IST-Zustand des chinesischen Eisenbahnbetriebs grob dargestellt. Die gegenwärtig auftretenden Probleme im Bahnbetrieb können durch die folgend dargestellten betrieblichen Maßnahmen verbessert werden. Als geeignete Maßnahmen werden vorgeschlagen:

- Standarisierung der Bahnstrecken und Bestimmung der darauf zulässigen Zugkombinationen
- Optimierung der Fahrplankonstruktion im Personenverkehr
- Verbesserung der Berechnung der Zugfolgezeit
- Neues Verfahren zur Betrachtung der Leistungsfähigkeit der Strecke
- Reform der Bahnorganisation

## **6.3 Standardisierung der Bahnstrecken und Bestimmung der darauf zulässigen Zugkombinationen**

### **6.3.1 Klassifizierung der Bahnstrecken in China**

In 2008 hat MOR die seit 2004 durchgeführte Planung „Der Entwurf des mittel- und langfristigen Eisenbahnnetzes [Ent08]“ modifiziert. Durch den fortgesetzten Neu- und Ausbau der Bahnstrecken soll die chinesische Eisenbahn mit anderen Verkehrsträgern die Wettbewerbsfähigkeit garantieren und ein hochleistungsfähiges Eisenbahnnetz gestalten.

Die Strecken werden in dieser Planung wie folgend klassifiziert:

Die **chinesischen Hochgeschwindigkeitsstrecken (CHGS)**: geplante bzw. im Bau befindliche neue Hochgeschwindigkeitsstrecken (für  $V=250$  bis  $380$  km/h), z. B. Peking-Shanghai, Wuhan-Guangzhou, usw.

Die **chinesischen neu gebauten Bahnstrecken (CNBS)**: geplante bzw. im Bau befindliche neue Strecken (für  $V=160$  bis  $250$  km/h) zur Verbesserung des

Eisenbahnnetzes in Ost-/Mittel-China und Erweiterung des Eisenbahnnetzes in West-China.

Die chinesischen **ausgebauten Bahnstrecken (CABS)**: Strecken des vorhandenen Netzes, die durch Verbesserung der Linienführung, Signalisierung, Elektrifizierung usw. für den Verkehr mit  $V = 160\text{-}200\text{ km/h}$  hergerichtet werden, um die Leistungsfähigkeit von Strecken und Eisenbahnknoten zu verbessern.

Die chinesischen **bestehenden Bahnstrecken (CBBS)**: Strecken des vorhandenen Netzes, die durch Verbesserung der Streckeninfrastruktur für den Verkehr mit max.  $V = 160\text{ km/h}$  oder  $120\text{ km/h}$  zulässig sind.

Die Aufteilung der Bahnstrecken in [Ent08] erfolgt grundsätzlich nach der zulässigen Geschwindigkeit der Strecke. Im Abschnitt 2.4.2 wurde noch die Klassifizierung der Bahnstrecken nach Standard GB 50090 – 2006 [Sta06] in vier Stufen vorgestellt, die basiert auf das gegenwärtig und prognostizierbar jährliche Verkehrsaufkommen [Mio. t]. Die Klassifizierung der Strecken ist in China unabhängig von der zulässigen Radsatzlast, weil die Radsatzlast der Güterzüge durchschnittlich  $21,0\text{ t} - 23,0\text{ t}$  beträgt und diese Größe auf den bestehenden Strecken überall zulässig ist. Da der Güterverkehr das Kerngeschäft von chinesischen Eisenbahn war, wird die betriebliche Leistung des Bahnsystems auf der Leistung des Güterverkehrs basiert. Das Verkehrsaufkommen des Personenverkehrs auf der Untersuchungsstrecke muss in der Einheit [Mio. t] umgerechnet werden. Allerdings geschieht diese Umrechnung ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Personenzüge, sie ist nur abhängig von der Anzahl der Züge pro Tag und pro Fahrtrichtung [Züge/Tag]. Außerdem werden die Strecken in China meistens mit einem Mischverkehr betrieben, sodass das Verkehrsaufkommen der Untersuchungsstrecke nicht den Anteil des darauf fahrenden Zuges genau darstellen kann.

Im Standard [Sta06] ist der bauliche Maßstab für die wichtigste und Kosten beeinflussende Infrastruktur (z. B. Überholungsgleisabstand, Gleisabstand, Lichtraum, max. Neigung usw.) von Stufe I und II definiert. Der Maßstab ist unter Berücksichtigung der möglicherweise in der Praxis auftretenden Probleme sowie der angewendeten Technik und der Infrastruktur nachzuweisen. Die als Referenzen in [Sta06] angeführten Forschungen wurden jedoch meistens vor 1997 durchgeführt, sodass die Ergebnisse wegen der raschen Entwicklung der Technik und Modernisierung der Bahnstrecken nicht den genauen Zustand der chinesischen Eisenbahn widerspiegeln. So ist z. B. die Zugkraft von Lokomotiven durch das „Harmonieprogramm“ erheblich erhöht; mit der Anwendung der Bautechnik „Feste Fahrbahn“ wird die streckenseitige Beschränkung zur Erhöhung der Geschwindigkeit aufgelöst. Durch zahlreiche Bauprojekte zur

Verbesserung der Bahnstrecken wurden zweite Gleise für viele eingleisigen Strecken gebaut; die neue Sicherungstechnik, z. B. automatisches Blocksystem, kann die Wartezeit für die Freischaltung der Strecke verkürzen.

Alle oben genannten modernen Techniken und die Infrastruktur wurden in den vergangenen Jahrzehnten in Betrieb genommen, allerdings ist das „Update“ der eisenbahnbetrieblichen Theorien in China nicht weiter entwickelt worden. Die Vorteile der modernen Technik und der Infrastruktur wirken nicht in den Standard [Sta06] aus, dadurch hat die Klassifizierung der Bahnstrecken in [Sta06] wegen ihrer rückständigen Theorien die komplette Ausnutzung der Strecken nicht garantiert.

Die Vermessung der Leistungsfähigkeit der Infrastruktur mithilfe betrieblicher Methoden und der Vergleich der verschiedenen technischen Parameter der Infrastruktur können die wirtschaftliche Ausnutzung der Bahnstrecke, die Durchführbarkeit und die Stabilität des Betriebsprogramms bewerten. Danach können der Betreiber des Eisenbahnnetzes und die EVU aus den Ergebnissen der Bewertung ihre Produkte, Leistungsfähigkeit und betriebliche Infrastruktur verbessern und somit maximalen volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Gewinn erzielen.

Um die obengenannte Optimierung durchzuführen, muss eine standardisierte Vorgabe von Infrastrukturparametern und Streckenauslastungen als Richtwert vorhanden sein. D. h., sie basiert auf einer bestimmten Kombination von Infrastrukturparametern, mit denen ein entsprechendes Betriebsprogramm mit max. optimiertem Kosten-Nutzen-Verhältnis als Vorgabe definiert wird, sodass durch den Vergleich mit dem Standard und durch Analyse die Optimierungsvorschläge im aktuellen Bahnbetrieb umgesetzt werden können.

### **6.3.2 Streckenstandards in Deutschland**

Im Jahr 1999 hat Deutschland die Bahnstrecken nach ihrer Verkehrsbedeutung im Netz in 10 Streckenstandards eingeteilt, die Standardisierung basiert auf: [DBA00]

- Leitgeschwindigkeit
- Streckenauslastung
- Entmischung der Verkehre unterschiedlicher Geschwindigkeiten bzw. Harmonisierung der Geschwindigkeiten

Es stehen die Buchstaben für

- P = Personenverkehurstrecke
- M = Mischverkehurstrecke
- G = Güterverkehurstrecke

- R = Regionalverkehrsstrecke

Ergänzend dazugeben die Zahlen 300, 230 usw. die Obergrenze der Leitgeschwindigkeit an. So bedeutet die Angabe des Streckenstandards P 230 die Einordnung der Strecke in eine für den Personenverkehr (SPFV) bei einer Leitgeschwindigkeit bis  $v = 230 \text{ km/h}$  zu optimierende Strecke. [DBA00]

Streckenstandard	Länge [km] (ca.)
G 50	1.150
R 80	4.150
G 120	4.800
R 120	5.200
M 160	5.700
P 160 I	2.150
P 160 II	1.200
M 230 (ABS)	1.000
P 300 (NBS)	600
Ohne Standard	1.650
Bislang ohne Zuordnung	7.800

Tabelle 6-2      Aufteilung der Netzlänge auf die Streckenstandards (Stand 2002) [Sie04]

Das Optimierungskriterium in Tabelle 6-3 und die angebotenen Zugklassen geben die Hauptaufgabe der Strecke vor. Die Züge, die dem Optimierungskriterium hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Strecke und den technischen Ausrüstungsparametern nicht entsprechen, dürfen nur verkehren, wenn sie andere Züge nicht behindern oder verdrängen und keine zusätzliche Infrastruktur (z. B. Überholungsgleise) erfordern [DBA00]. Durch die Entmischung der Verkehre unterschiedlicher Geschwindigkeiten, die Geschwindigkeitsharmonisierung und die Streckenstandardisierung können die Verhältnisse zwischen den Betriebsprogrammen und Streckenparametern mit der Zielstellung der wirtschaftlichen Nutzung optimiert werden.

Kategorie	Leitgeschwindigkeitsstufen	Optimierungskriterien	Streckenauslastung (Betriebsprogramm)				
			Summe	SPFV	SPNV	SGV	Kennziffer
1	2	3	4	5	6	7	8
[ - ]	[ km/h ]	[ - ]	[ Zp/d ]	[ Zp/d ]	[ Zp/d ]	[ Zp/d ]	[ - ]
<b>P 300</b> (NBS)	231 - 300	HGV	120	120	0	*)	1
			-	-	-	*)	2
			40	40	0	*)	3
<b>P 230</b> (ABS)	161 - 230	schneller	120	70	50	*)	1
		SPFV	-	-	-	*)	2
			40	20	20	*)	3
<b>M 230</b> (ABS)		Mischverkehr	150	50	40	60	1
			175	60	55	60	2
			60	20	20	20	3
<b>P 160 I</b> (Belegung ca. 120 Zp/d)		schneller	120	70	50	*)	1
		SPFV + SPNV	180	80	100	*)	2
			70	30	40	*)	3
<b>P 160 II</b> (Belegung ca. 60 Zp/d)	121 - 160	schneller	60	30	30	*)	1
		SPFV + SPNV	-	-	-	*)	2
			40	20	20	*)	3
<b>M 160</b>		Mischverkehr	150	50	40	60	1
			175	60	55	60	2
			40	12	18	10	3
<b>G 120</b>	81 - 120 bei bes. Bedingungen 140/160 für SPNV	Güterverkehr	100	*)	36	64	1
			150	*)	36	124	2
			40	*)	18	22	3
<b>R 120</b>	81 - 120 bei bes. Bedingungen 140/160	SPNV	50	*)	40	10	1
			60	*)	50	10	2
			25		20	5	3
<b>R 80</b>	51 - 100	SPNV	25	-	25	5	1
			35	-	30	5	2
			18		13	5	3
<b>G 50</b>	50	regionaler SGV	10	-	-	10	4
	50 - 80	Verbindungs- kurven, -strecken		20	20	10	5

\*) siehe Tz 2 (4)

1 = Obergrenze (Zielgröße)

2 = Überschreitung der Zielgröße

3 = Untergrenze

4 = Strecke für geringen Regionalgüterverkehr

5 = Verbindungskurven, -strecken von 0,5 km bis ca. 3 km Länge, die in keinen übergeordneten Standard einteilbar sind

Tabelle 6-3 Zusammenstellung der Streckenstandards nach Richtlinie 413 [DBA00]

### 6.3.3 Vorschläge zur Standardisierung in China

Die ungenaue Vermessung der betrieblichen Leistungen der Infrastruktur kann weder die Modernisierung bzw. den Neubau der Eisenbahnanlagen mit günstiger Investition sichern, noch das gewünschte Betriebsprogramm gewährleisten. In der Praxis treten die folgenden Fälle häufig auf:

1. Das Ausmaß der Infrastruktur ist für die gegenwärtigen und prognostizierbaren Betriebsprogramme zu groß und die Investition verursacht deshalb Geldverschwendung.
2. Mit der Infrastruktur sind die Betriebsprogramme nicht durchzuführen, die Bahnanlagen sollen weiter ausgebaut werden.

So ist z. B. eine 100 km lange zweigleisige Neubaustrecke für den Mischverkehr mit der Entwurfsgeschwindigkeit 160 km/h geplant, die prognostizierbare Verkehrsleistung beträgt von 30 [Mio. Tonne/Jahr], in der Betrachtung von [Sta06] gehört die Strecke zur Stufe I. Wenn die darauf fahrenden Züge aus verschiedenen Modellzügen bestehen, muss der Abstand zwischen den Betriebsstellen zum Bedarf der Überholung betrachtet werden. Das bestehende Problem ist, dass es in [Sta06] keine Vorgabe für die zulässige Zugkombination gibt, der Überholungsgleisabstand ist für die verschiedenen Zugkombinationen unterschiedlich und die Überholungsregel ist abhängig von der Hauptaufgabe der Strecke. Außerdem hat die prognostizierbare Verkehrsleistung von den meisten Strecken im Vergleich zu der Realität in der Praxis große Abweichungen [Gon04], sodass die Investitionen in Infrastruktur und die verwirklichte Verkehrsleistung nicht übereinstimmen.

Die meisten Zugangebote von der chinesischen Bahn werden auf den Strecken außer CHGS mit verschiedenen Geschwindigkeiten überlagert (Mischverkehr). Eine standardisierte Zuordnung der Streckenparameter und die dafür passende zulässige Zugkombination als Maßstab müssen dringend untersucht werden, insbesondere für die Strecken mit Mischverkehr. Durch die Harmonisierung der Geschwindigkeiten und den Standard der Infrastruktur (Überholgleis, Blocklänge, usw.) können die Strecken die optimale wirtschaftliche Nutzung entfalten.

In Bezug auf die Einteilung der Streckenstandards nach der Richtlinie 413 in Deutschland und unter Berücksichtigung der chinesischen Verordnungen in [Rmt04] [Sta06] [Rrt07] wird in dieser Arbeit der Prozess für die Standardisierung der Strecken in China wie folgt grob vorgestellt:

1. Bezeichnung der Streckenstandards
  - 1.1. Leitgeschwindigkeit [km/h]

1.2. Entmischung der Verkehre unterschiedlicher Geschwindigkeiten bzw. Harmonisierung der Geschwindigkeiten.

Es stehen die Buchstaben für

- P = Personenverkehrsstrecke
- M = Mischverkehrsstrecke
- G = Güterverkehrsstrecke
- K = Kohletransportstrecke

2. Standardisierung der wichtigsten Beeinflussungsparameter

2.1. Anzahl der Streckengleise

2.2. Leitgeschwindigkeit

Die Leitgeschwindigkeit ist die entsprechend der langfristigen Planung vorgegebene und zu realisierende zukünftige Höchstgeschwindigkeit. Die Einordnung der Geschwindigkeit ist mit der Einheit [km/h] wie folgt angesetzt:

300(350)	200(250)	160	120	80
----------	----------	-----	-----	----

2.3. Zugklassen

Zugklasse: Personenverkehr ZP, Zugklasse Güterverkehr ZG,

Abkürzung	Bemerkung	Last [t]	Geschwindigkeit [km/h]
ZP <sub>1</sub>	Hochgeschwindigkeitsverkehr	Max. 1.000	300-350
ZP <sub>2</sub>	Cityexpress in Ballungsgebiet	Max. 1.000	200-250
ZP <sub>3</sub>	Express-Schneller Personenfernverkehr	Max. 1.100	bis zu 160
ZP <sub>4</sub>	Schneller Personenverkehr (fern, nah)	Max. 1.100	bis zu 140
ZP <sub>5</sub>	Normaler Personenverkehr (fern, nah)	Max. 1.100	bis zu 120
ZP <sub>6</sub>	Regionaler Personennahverkehr	Max. 1.100	bis zu 100
ZG <sub>1</sub>	Schneller und hochwertiger Güterverkehr	Max. 1.500	bis zu 160
ZG <sub>2</sub>	Güterverkehr	Max. 4.000	bis zu 120
ZG <sub>3</sub>	Schwerer Güterverkehr	Max. 5.000	bis zu 80
ZG <sub>4</sub>	Kohletransport	Max. 20.000	bis zu 80

Tabelle 6-4 Zugklassen und ihre Geschwindigkeit

2.4. Optimierungskriterium

Das Optimierungskriterium und die angebotenen Zugklassen geben die Hauptaufgabe der Strecke vor. Diese Optimierung ist die entscheidende Voraussetzung zur Herausbildung von Leistungsbahnnetzen und zur Kosteneinsparung der Investitionen. Die in der Hauptaufgabe dargestellten

Produkte haben Vorrang für die Nutzung der Strecke, sodass die Infrastruktur der Strecke optimal genutzt werden kann.

### 2.5. Blockabschnittslängen

Zur Sicherung des Leistungsverhaltens einer Strecke müssen die erforderlichen Mindestzugfolgezeiten, die abhängig von den optimierten Blockabschnittslängen sind, gewährleistet werden.

### 2.6. Überholungsgleisabstand / Kreuzungsgleisabstand

Die Vorgaben für den Überholungs-/Kreuzungsgleisabstand beinhalten Werte für günstige Betriebsverhältnisse (niedriges Verspätungsniveau). Auf der Basis der Betriebsprogramme sind bei notwendigen Abweichungen diese mit geeigneten betriebswissenschaftlichen Untersuchungsverfahren zu begründen. Der Standard für zweigleisige Strecken bezieht sich auf die seitenrichtige Anordnung der Überholungsgleise. Zu werten sind die Gleise, die durch die entsprechend dem Optimierungskriterium zu überholenden Zuggattungen genutzt werden. In die Wertung gehen grundsätzlich die sonstigen Hauptgleise für die Zugbehandlung nicht ein. [DBA00]

Kategorie	Leitgeschwindigkeitsstufen [km/h]	Optimierungskriterium	Angebotene Zugklasse	Streckenauslastung [Züge/Tag]			
				Summe	SPFV	SPNV	SGV
P 300(350) CHGS	300-350	Hochgeschwindigkeitsverkehr	ZP <sub>1</sub> , ZP <sub>2</sub> ZP <sub>3</sub> ist nur bei Einfügung ohne Behinderung für ZP <sub>1</sub> , ZP <sub>2</sub>	160	160	-	-
P 200(250) CNBS	161-250	Cityexpress in Ballungsgebiet	ZP <sub>2</sub> – ZP <sub>4</sub>	130	-	130	-
M 200 CNBS; CABS	161-250	Mischverkehr, SPFV als Kerngeschäft	ZP <sub>2</sub> – ZP <sub>4</sub> , ZG <sub>1</sub>	140	--	--	--
M 160 CNBS; CABS; CBBS	121-160	Mischverkehr	ZP <sub>3</sub> – ZP <sub>5</sub> , ZG <sub>1</sub> – ZG <sub>2</sub>	140	--	--	--
M 120 CBBS	81-120	Mischverkehr	ZP <sub>3</sub> – ZP <sub>6</sub> , ZG <sub>1</sub> – ZG <sub>2</sub>	100	--	--	--
G 120 CBBS	81-120	Güterverkehr	ZG <sub>1</sub> – ZG <sub>3</sub> , ZP <sub>5</sub> – ZP <sub>6</sub>	120	-	-	120
K 80 CBBS	80	Kohlertransport	ZG <sub>3</sub> – ZG <sub>4</sub>	90	-	-	90

Tabelle 6-5 Anordnung der Streckenstandards und dazu erlaubte Zugkombinationen

In Anbetracht der Verordnungen in [Ent08], [Pf200], [Pf250], [Pf350], [Rmt04], [Rrt07], [Sta06] und der Forschungsergebnisse in [Cui09], [Den07], [HeY07], [Gon04], [LuZ05],

[Mag06], [Pen07], [Sun07], [Zhe08] kann die Einteilung der Strecken nach ihrer Verkehrsbedeutung in den Kategorien in Tabelle 6-5 vorschlagen werden.

Die vorgestellten Standards werden aus der Zusammenfassung der gegenwärtig in China durchgeführten Richtlinien und den aktuellen Forschungsergebnissen ermittelt. Die dazu entsprechenden Streckenauslastungen sind in Anbetracht der kombinierten Infrastruktur, den verkehrenden Zügen und den angewendeten Betriebsverfahren bestätigt bzw. schon im Betrieb realisiert worden, z. B. P300(350) (**CHGS** Wuhan-Guangzhou), P200(250) (**CNBS** Shenzhen-Guangzhou) und K(80) (Datong-Qinghuangdao). Die Zuordnung der Anteile des Güter- und Personenverkehrs in die Streckenstandards M200, M160 und M120 kann wegen der Lage der Strecken und dem Bedarf in Kerngeschäfte der Strecken unterschiedlich sein. Eine weitere detaillierte und gewissenhafte Standardisierung des Verhältnisses zwischen den Betriebsprogrammen und der Streckeninfrastruktur muss anhand der zahlreichen Analysen mithilfe EDV-unterstützter Simulation nachgewiesen werden.

Außer den obengenannten wichtigsten Faktoren gibt es noch viele andere Streckenparameter, wie z. B. Gleisabstand, zulässige Neigung, min. Radius, Schienenprofil, Lichtraum, Weichen, usw., die auch mit diesem Prinzip nach bestimmten Maßen standardisiert werden sollen.

#### **6.3.4 Zusammenfassung**

Durch die Festlegung der Standards von Bahnstrecken und der zu diesem Standard bestimmten Hauptaufgaben sowie den erlaubten Zugkombinationen kann die wirtschaftliche Ausnutzung der Bahninfrastruktur ermöglicht werden. Die Anzahl der auftretenden Überholungen bzw. Wechsel der Zugfolge und die durchschnittliche Zugfolgezeit sollen durch die Harmonisierung der Zuggattungen reduziert werden, die Reisegeschwindigkeit des Zuges und die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke können sich entsprechend erhöht werden.

Durch Vergleich zwischen den zu untersuchenden Strecken und dem Streckenstandard können die Probleme im Betrieb, in der Technik sowie in der Infrastruktur gefunden, danach können die auf wirtschaftlicher Weise gelöst werden.

### **6.4 Optimierung der Fahrplankonstruktion im Personenverkehr**

Die Wertschöpfung des Systems Bahn in China wird durch den Verkauf der Angebote bzw. durch den Transport von Personen und Gütern in Zügen auf dem Netz verwirklicht. Die Zugangebote und ihre Attraktivität wie z. B. die Abfahrtszeit, Ankunftszeit, die gesamte Reisezeit, die Pünktlichkeit und der Preis sind auf den

Fahrplan abzustimmen und durch die Betriebsführung auf der zur Verfügung stehenden Infrastruktur zu realisieren.

Bei der Konstruktion eines Eisenbahnfahrplans im Personenverkehr müssen grundsätzlich zwei Prinzipien befolgt werden, die überall in der Welt für den Entwurf gültig sind:

- I. Weitestgehende Erledigung der Nachfrage von Personenverkehr und Güterverkehr, Minimierung der Wartezeiten der Fahrgäste innerhalb des Eisenbahnnetzes
- II. Optimierung der Nutzung der Infrastruktur und der Fahrzeuge zu effektivem Betriebsmitteleinsatz, um den max. Gewinn zu erzielen

#### **6.4.1 Fahrplanstrategien im Personenverkehr**

Die Strategien zur Fahrplankonstruktion im Personenverkehr bestehen in der Regel aus zwei Verfahren: **Einzelfahrten** und **Taktfahrplan**.

Die **Einzelfahrten** werden auf den meisten Strecken in China angewendet, wobei die Lage jeder Zugfahrt unabhängig von den anderen Zügen im Plan festzulegen ist. Durch die Einzelfahrten kann die Abfahrtszeit von Personenzügen flexibler sein, die Anzahl der Fahrgäste kann vor der Abfahrt des Zuges die Mindestgröße erreichen, mit der dann die EVU die niedrigen Betriebskosten für die Fahrt sicherstellen und den Gewinn durch Verkauf der Bahntickets realisieren können. Deutliche Nachteile der Einzelfahrten sind allerdings, dass die Fahrgäste lange Wartezeiten vor der Abfahrt aufwenden müssen und die Ansprüche der Fahrgäste nicht zeitlich gleichmäßig erledigt werden können.

Der **Taktfahrplan** bedeutet vertaktete Fahrplansysteme, die bei vielen EVU in Deutschland seit Jahrzehnten als Standard im Personenverkehr eingesetzt werden. Das Grundprinzip des Taktfahrplans besteht darin, dass alle Züge einer vertakteten Linie im Abstand einer vorgegebenen Taktzeit in den Fahrplan eingelegt werden, sodass sich ein sehr systematisch aufgebautes Fahrplangefüge ergibt [Pac08]. Im Vergleich zu Einzelfahrten sind die Angebote im Taktfahrplan regelmäßig sowie gleich bleibend, sodass die Kunden sich die Angebote der Bahn leicht merken können. Das Vertakten der Angebote muss zur Grundlage eine vollständige Marketinganalyse des Bedarfs der Fahrgäste haben, sodass ein optimiertes Vertakten zur Befriedigung der Nachfrage der Fahrgäste und gleichzeitig damit die Realisierung der wirtschaftlichen Nutzung der Fahrzeuge verwirklicht werden kann.

#### **6.4.2 Maßnahmen zur Optimierung der Fahrplankonstruktion im Schienenpersonenverkehr**

Die raschen Entwicklungen im Eisenbahnwesen stellen anspruchsvolle Anforderungen an die Fahrplankonstruktion, an die zusammenhängenden betrieblichen Verfahren und an das Management. Dazu sollen im Folgenden innovative Konzepte entwickelt werden, um die Anforderungen an die Entwicklung der Eisenbahn zu erfüllen.

#### **6.4.3 Optimierung der Abläufe im Planungsprozedere von Fahrplankonstruktionen**

In den Abschnitten 3.1.3 wurde der gegenwärtige aktuelle Ablauf im Planungsprozedere von Fahrplankonstruktionen in China vorgestellt. Der Ablauf ist vertikal in drei Ebenen (MOR, Regionaldirektionen und zur Regionaldirektion gehörige Abteilungen) und horizontal durch viele Geschäftseinheiten (Planungsabteilung, Fahrwegdienst, Lok-Depot, Wagen-Instandhaltung, Bahnbetrieb, usw.) organisiert. Die Sachbearbeiter jeder Geschäftseinheit für die Fahrplankonstruktion gehören zu verschiedenen Abteilungen und sind nur für die eigenen Abteilungen verantwortlich. Wenn ein vertikaler Ablauf oder ein horizontaler Ablauf im Planungsprozedere auftritt, wird der Aufwand für die innere Kommunikation und die Vereinbarungen zwischen den Abteilungen vergrößert.

Als grundlegende Verkehrsinfrastruktur soll die Eisenbahn nicht nur kommerzielle Angebote für die Kunden bereithalten, sondern auch als öffentliches Verkehrsmittel für Bewohner zur Verfügung steht. In China hat die Eisenbahn allerdings keine festgelegte Definition der Neuzuweisungen zwischen kommerzieller Benutzung und öffentlicher Benutzung. Das MOR hat mehrere Erwartungen hinsichtlich der Erledigung der Nachfrage von Kunden und der öffentlichen bzw. sozialen Ziele. Gleichzeitig erwarten die Regionaldirektionen bzw. die einschlägigen Abteilungen, dass sie im eigenen zuständigen Zeitbereich (z. B., Güterverkehr, Personenverkehr) nach dem wirtschaftlichen Bedarf hundertprozentige Zufriedenheit erreichen. Diese Unterschiede in den Zielen erzeugen mehrere Konflikte zwischen den verschiedenen Verwaltungsebenen und zwischen den verschiedenen Abteilungen, da sie unterschiedliche Interessen haben. Jede Abteilung möchte eigene Probleme selbst lösen und eigene Ziele erreichen, sodass die folgenden zwei Fälle in chinesischer Eisenbahn aufgetreten sind [Tao05]:

1. Die oberen Behörden haben keine genauen sowie detaillierten Informationen und,
2. die unteren Abteilungen verhindern absichtlich oder unabsichtlich die Weitergabe von den wahrhaftigen Informationen.

Diese Fälle verursachen Asymmetrien in der Informationsbereitstellung und in der endgültigen Entscheidung der Fahrplankonstruktion, wenn solche Fälle zwischen den oberen Behörden und unteren Abteilungen auftreten. Die Entscheidungen bei der Fahrplankonstruktion werden auch vom Ressortdenken beeinflusst und die Anordnung der Infrastruktur, Fahrzeuge und des Personals kann nicht in optimaler Weise eingestellt werden, sodass der aktuell durchgeführte Fahrplan in China meistens nicht der Realität entspricht.

Eine Maßnahme zur Lösung der oben genannten Probleme ist die Gründung einer speziellen Abteilung „Fahrplankonstruktion“, die direkt vom MOR geleitet und in jeder Regionaldirektion eingerichtet wird. Die Sachbearbeiter in der Abteilung „Fahrplankonstruktion“ sind dann nur beschäftigt mit den Aufgaben der Fahrplankonstruktion und unabhängig von den Tätigkeiten der anderen Abteilungen. Außerdem soll die Abteilung „Fahrplankonstruktion“ die Informationen über Infrastruktur, Ressourcen, Nachfrage und Marketing sammeln und analysieren, um Asymmetrien der Informationen zu vermeiden, sodass eine rationale Entscheidung für die Anordnung der Ressourcen verwirklicht und die angestrebte Leistungsfähigkeit im Eisenbahnnetz gewährleistet werden kann.

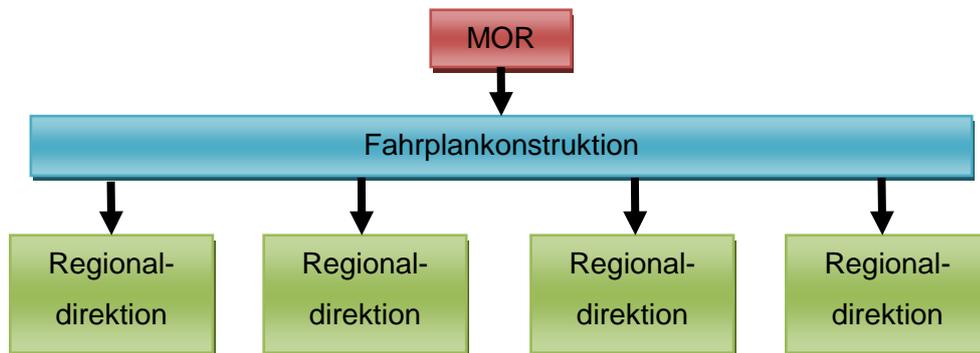


Abbildung 6-3 Abteilung „Fahrplankonstruktion“ zwischen MOR und Regionaldirektion

#### 6.4.4 Auswahl der Route bzw. Bahnstrecke unter Berücksichtigung der Streckenstandards

Im Abschnitt 6.3 wurde der Vorschlag der Standardisierung der Bahnstrecke angeführt. Die Standardisierung dient nicht nur der Infrastruktur auf den Bahnstrecken, sondern auch der Harmonisierung der Züge. Die Auswahl der Route bzw. der Bahnstrecke für eine Fahrplantrasse soll den Streckenstandard berücksichtigen, der Zug muss zu den zulässigen Zugattungen auf den ausgewählten Strecken gehören. Außerdem sollen möglichst die schnellen Fahrzeuge im Fernverkehr, der Reiseweiten über 1500 km oder Reisezeiten über 24 Stunden hat, im Betrieb eingesetzt werden, dadurch kann die Reisegeschwindigkeit erhöht werden.

Da das Ausmaß des Eisenbahnnetzes in China gegenwärtig noch klein und unvollständig ist, müssen die Fernzüge aufgrund des langen Reisewegs auf vielen Streckenabschnitten fahren, die zu den verschiedenen Streckenstandards gehören. Die Planung des Fahrplans muss das Optimierungskriterium jeder vorbeifahrenden Strecke berücksichtigen und gleichzeitig die richtige Reihe der Prioritäten der Züge auf den Streckenabschnitten festlegen.

#### **6.4.5 Integration des Fahrplanentwurfs mit der Verkehrsnachfrage und – Prognose**

Die Fahrplankonstruktion für den Personenverkehr in China wird in der Regel mit den manuellen Verfahren bearbeitet, die auf empirischer qualitativer Analyse basieren. Die Betriebszustände (z. B. Reiseweite, Zugklasse) von den schon im Betrieb befindlichen Zügen werden als beispielhafte Referenz genommen. Die im Fahrplan neu hinzugefügten oder geänderten Züge, die einen ähnlichen Zustand wie die Beispiele haben, können die aus den Beispielen gewonnen betrieblichen Erfahrungen anwenden. Die Vorteile des empirischen Verfahrens sind, dass die Planung einer neuen Fahrplantrasse einfach zu bearbeiten ist und sich die möglichen Zeitscheiben für die Abfahrtszeit und Ankunftszeit und die ausgewählte Zuggattung direkt den Referenzzug als Beispiel nehmen. Das Problem liegt darin, dass die als Referenz genommenen Züge bzw. die Fahrplantrassen nicht genau zu den Verkehrsströmen für die neuen Fahrplantrassen passen, darüber hinaus haben die meisten Fernzüge wegen der Referenzzüge ähnliche Abfahrtszeiten, womit manuell eine hohe Verkehrsbelastung auf dem Eisenbahnnetz erzeugt wird.

Die Zeitscheibe der Ankunftszeit an den Zwischenhalten beeinflusst auf der einen Seite die Verkehrsströme, auf der anderen Seite ist sie abhängig von der Abfahrtszeit des Abgangsbahnhofs. Deutlicher Nachteil des traditionellen Verfahrens zur Feststellung der Zeitscheibe der Abfahrtszeit für den Personenfernverkehr ist, dass der Umfang der mit dem Verfahren ermittelten Zeitscheibe sehr groß ist. Um die Zeitscheibe für die Abfahrtszeit des Abgangsbahnhofs und auch die Zeitscheibe der Ankunftszeit an den Zwischenhalten zu optimieren, sind einige zusätzliche Bedingungen für die endgültige Festlegung der Abfahrtszeit in Betracht zu entwickeln.

1. Die Zeitscheibe für die Ankunft von Zwischenhalten insbesondere für die Zwischenhalte in großen Städten, wird bezeichnet als  $Z_{An,i}$ ,  $Z_{An,i} = Z_{Ab} + F_i$ .  $i$  ist der  $i$ -er Zwischenhalt,  $F_i$  ist die Reisedauer vom Abgangsbahnhof bis zum  $i$ -er Bahnhof.
2. Statische Erfassung der Anzahl der Umsteiger in den Zwischenhalten.  $F_{Aus,i}$  und  $F_{Ein,i}$  ist die Anzahl der Aussteiger und Einsteiger in den Zwischenhalten  $i$ , die

aufgrund der Zeitscheibe  $Z_{An,i}$  an verschiedenen Uhrzeiten variabel sein sollen. Die FRz, die durch ein Ballungsgebiet fahren, sollen das Ballungsgebiet weitestgehend zwischen 7:00 Uhr und 24:00 durchfahren, dadurch können die FRz die regionalen Nachfragen im Ballungsgebiet noch zum Teil befriedigen.

3. Die Festlegung der Verhältnisse  $f(Z_{An,i})$  zwischen  $F_{Aus,i}$ ,  $F_{Ein,i}$ ,  $Z_{An,i}$ , Bequemlichkeit der Fahrt, usw. durch eine Marketinganalyse.

Die Optimierung kann mit verschiedenen Zielsetzungen durchgeführt werden, z. B. für max. Gewinn, max. Fahrgastzahlen, vernünftige Umsteigemöglichkeiten usw., die Zielsetzungen sind von den betrieblichen Strategien der Bahnbetreiber abhängig.

#### **6.4.6 Reservierung der Fahrplantrasse für die Spitzenzeiten wegen sehr hoher Verkehrsbelastung**

Die Verkehrsströme während der Frühlingsfest-Reisesaison haben stark zugenommen und sind über 40 Tage kontinuierlich sehr hoch. Um diese jährliche riesige Belastung zu bewältigen, müssen die Infrastruktur und der Betrieb der Bahn für die Optimierung vorgehalten werden. Die Infrastrukturen der Bahn sind die Lokomotiven, Bahnwagen, Bahninfrastruktur usw., die Betriebe sind Fahrpläne und betriebliche Verfahren. In [Zha10] wird die optimierte Vorhaltung der Infrastruktur vorgestellt und ein Mehr-Zielsetzungen-Modell vorgeschlagen, um möglichst die Kosten für die Vorhaltung der Infrastruktur zu optimieren. Die übermäßige Vorhaltung der Infrastruktur kann höhere Kosten für die Abstellung und Instandhaltung erzeugen, deshalb soll die Vorhaltung des Bahnbetriebs als wirtschaftlichere Lösung vorrangig betrachtet werden soll. In dieser Arbeit werden die folgenden betrieblichen Maßnahmen zur Lösung der riesigen Verkehrsströme während der Frühlingsfest-Reisesaison entwickelt:

1. Klassifizierung der Verkehrsströme als Hauptstrom und Substrom. Da alle Konstruktionen des Fahrplans auf den Verkehrsströmen basieren, soll vor der Realisierung der Optimierung mit betrieblichen Verfahren eine wissenschaftliche Analyse der Verkehrsströme erfolgen. Außerdem sind die Verkehrsströme während der Frühlingsfest-Reisesaison in unterschiedlichen Bezirken und sogar auf denselben Strecken in zwei Fahrtrichtungen sehr unterschiedlich.
2. Reduzierung der Fahrplantrassen auf der Fahrtrichtung des Substroms in der Frühlingsfest-Reisesaison, um ausreichend Lokomotiven und Bahnwagen für die Fahrtrichtung vom Hauptstrom zur Verfügung zu haben.
3. Die Personenzüge, die momentan nur vorläufig im Fahrplan trassiert wurden, sollen im Fahrplan deutlicher ausgewiesen und mindestens einen

Monat vor der Reisesaison veröffentlicht werden, sodass die Fahrgäste vorher darüber informiert sind.

4. Reservierung der Fahrplantrassen für die Fahrtrichtung des Hauptstroms. Die entworfene Verlängerung der Reiseweite der Fahrplantrassen von Nahverkehr und die kurzzeitige Einstellung des Güterverkehrsbetriebs im Fahrplan sollen zusätzliche Fahrplantrassen für den Bedarf des Hauptstroms reservieren.
5. Optimierung der Reiseweite der in der Entfernung verlängerten Fahrplantrassen, Verminderung der Verkehrshalte im Vergleich zur normalen Zeit, insbesondere für die Züge auf der Gegenrichtung des Hauptstroms. Dadurch kann sich die Reisegeschwindigkeit des Zuges erhöhen und die Umlaufzeit der Lokomotiven und Bahnwagen möglichst verkürzt werden.

#### **6.4.7 Gestaltung des Taktfahrplans für den Nahverkehr und den Mittel-Fernverkehr im Ballungsgebiet**

Die wirtschaftliche Entwicklung hat den Bedarf im Personenverkehr intensiviert, insbesondere innerhalb der Ballungsgebiete, wie z. B. im „Jangtse-Delta“, dem „Perfluss-Delta“ usw. Die Nachfrage kann die grundlegende Personenbeförderungsleistung eines rein linienbezogenen Taktfahrplans erreichen. Das Vertakten des Fahrplans kann ein regelmäßiges Angebot mit besserer Merkbarkeit der Abfahrtszeiten im Nahverkehr sowie Mittel-Fernverkehr bieten und damit die Attraktivität bzw. die Nutzungsmöglichkeiten der Bahn erhöhen. Ein regelmäßig wiederholter Fahrplan ist vorteilhaft für die Organisation der Fahrzeuge und Infrastruktur.

#### **6.4.8 Entwurf des Fahrplans mit Berücksichtigung der gewünschten Reisegeschwindigkeit von Fernreisezügen**

Um die Reisequalität per Eisenbahn zu garantieren bzw. zu erhöhen, müssen die gewünschten Reisegeschwindigkeiten des Zuges beim Entwurf des Fahrplans berücksichtigt werden. In dieser Forschungsarbeit wurden dafür drei Modelle zur Planung des Fern- und Mittelfernverkehrs mit einer Zieloptimierung der Reisegeschwindigkeit entwickelt.

Definitionen

$L = (B, E)$	Bahnstrecke L
$B$	Menge von Betriebsstellen auf Bahnstrecke L
$E$	Menge von Streckenabschnitten auf Bahnstrecke L
$z$	Zug z

$z^1$	Vorfahrender Zug von Zug z
$z^{+1}$	Folgender Zug von Zug z
$B_{i,z}$	Die Betriebsstelle, die Zug z auf die Strecke L abgefahren hat. $B_{i,z} \subseteq B$
$i$	Betriebsstelle; $i \in B$
$i^1$	Die vorherige Betriebsstelle vor i in der Fahrtrichtung; $i^1 \in B$
$i^{+1}$	Die nächste Betriebsstelle hinter i in der Fahrtrichtung; $i^{+1} \in B$
$i^0$	Startbahnhof von Zug z; $i^0 \in B$
$i^x$	Endbahnhof von Zug z; $i^x \in B$
$j_z$	Geplanter Haltebahnhof von Zug z; $j_z \in B$
$j_z^{+1}$	Der nächste geplante Haltebahnhof nach i in der Fahrtrichtung; $j^{+1} \in B$
$j_z^{-1}$	Der vorherige geplante Haltebahnhof vor i in der Fahrtrichtung; $j^{-1} \in B$
$e(i, i^{+1})$	Streckenabschnitt zwischen zwei angrenzenden Betriebsstellen i und $i^{+1}$ , $e(i, i^{+1}) \in E$ .
$t_{A.i.z}$	Der Zeitverbrauch für die Abfahrbeschleunigung, wenn Zug z zur Betriebsstelle i ausfährt
$t_{B.i.z}$	Der Zeitverbrauch für die Bremsverzögerung, wenn Zug z in die Betriebsstelle i einfährt
$t_{H.i.z}$	Die Aufenthaltszeit in Betriebsstelle i von Zug z
$t_{H.i.z}^{\min}$	Die Mindestaufenthaltszeit in Betriebsstelle i von Zug z wegen Fahrgastwechsel
$t_{H.i.z}^{\max}$	Die Mindestaufenthaltszeit in Betriebsstelle i von Zug z wegen Fahrgastwechsel und Überholung
$t_{F.i^1.z}$	Die reine Fahrzeit des Zugs z zwischen Betriebsstelle $i^1$ und Betriebsstelle i
$\psi_{i,z}$	Haltefaktor, wenn Zug z in Betriebsstelle i hält, $\psi_{i,z} = 1$ , sonst $\psi_{i,z} = 0$
$T_{Ein.i.z}$	Der Einfahrzeitpunkt von Zug z in Betriebsstelle i
$T_{Aus.i.z}$	Der Ausfahrzeitpunkt von Zug z in Betriebsstelle i
$\{T_{Aus.i^0.z}^-, T_{Aus.i^0.z}^+\}$	Begrenzte Zeitscheibe für den Ausfahrzeitpunkt von Zug z aus Startbahnhof $i^0$
$T_{H.i.z}$	Die Summe der Zeiten, die wegen der Halte von Zug z innerhalb der Betriebsstelle i erzeugt wurden
$t_{A.i}^{z^1,z}$	Die Mindestzugfolgezeit zwischen Zug $z^1$ und z, damit die Sicherheit der Abfahrten der Züge von Betriebsstelle i gewährleistet werden kann
$t_{E.i}^{z,z^{+1}}$	Die Mindestzugfolgezeit zwischen Zug z und $z^{+1}$ , damit die Sicherheit der Einfahrten der Züge in Betriebsstelle i gewährleistet werden kann

$t_{R,z}^{\min}$	Mindestreisezeit von Zug z
$t_{R,z}^{\text{opt}}$	Optimierte Reisezeit von Zug z
$t_{R,z}^R$	Reservierungszeit von Zug z
$t_{R,z}^{R,R}$	Restliche verfügbare Reservierungszeit von Zug z

$$T_{\text{Ein},i,z} = T_{\text{Aus},i^{-1},z} + t_{F,i^{-1},z} \quad \text{Gleichung 6-1}$$

$$T_{\text{Aus},i,z} = T_{\text{Ein},i,z} + \psi_{i,z} * (t_{B,i,z} + t_{H,i,z} + t_{A,i,z}) \quad \text{Gleichung 6-2}$$

$$T_{\text{Ein},i^x,z} = T_{\text{Aus},i^0,z} + \sum_{i=1}^x t_{F,i^{-1},z} + \sum_{i=1}^{x-1} \psi_{i,z} * (t_{B,i,z} + t_{H,i,z} + t_{A,i,z}) \quad \text{Gleichung 6-3}$$

$$T_{H,i,z} = T_{\text{Aus},i,z} - T_{\text{Ein},i,z} = \psi_{i,z} * (t_{B,i,z} + t_{H,i,z} + t_{A,i,z}) \quad \text{Gleichung 6-4}$$

#### Bearbeitungsprozess

1. Die Züge, die auf den gleichen Streckenabschnitten fahren, sollen nach ihrer Funktion und Priorität beispielsweise als Modellzug  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  klassifiziert werden.

$$i \in B_{i,A} \cap B_{i,B} \cap B_{i,C}$$

$$\text{Prioritäten } Z_A > Z_B > Z_C$$

2. Berechnung der Reservierungszeit  $t_{R,z}^R$  jedes Modellzugs.

$$t_{R,A}^R, t_{R,B}^R, t_{R,C}^R$$

3. Die Züge, die zum gleichen Modellzug gehören sind, sollen möglichst in der Folge gebündelt werden.

$$z, z^{+1} \in Z_A \text{ oder } Z_B \text{ oder } Z_C$$

$$z^{-1}, z \in Z_A \text{ oder } Z_B \text{ oder } Z_C$$

4. Die Züge, die nicht von anderen Zügen überholt werden dürfen, haben höhere Prioritäten und sollen als Erste im Fahrplan eingelegt werden. Ihre Reservierungszeiten sind sehr klein und wurden grundsätzlich nur für die Verlängerung der Haltezeit in den geplanten Zwischenhaltestellen benutzt, wodurch die späteren Abfahrtszeiten verwirklicht werden können. Die Zugfolgezeiten können Mindestzugfolgezeit  $t_{z,m}$  einschließlich der Mindestpufferzeit  $t_{p,m}$  behandelt werden.

**Mit dem Berechnungsmodell F① folgen die Züge mit Mindestzugfolgezeit (*min.*  $t_{z,m}$ ), die Voraussetzungen sind:**

$$T_{Aus.i.z^{+1}} - T_{Aus.i.z} \geq T_{A,i}^{z,z^{+1}}$$

$$T_{Ein.i^{+1}.z^{+1}} - T_{Ein.i^{+1}.z} \geq T_{E,i^{+1}}^{z,z^{+1}}$$

$$T_{Aus.i^0.z} \in \{T_{Aus.i^0.z}^-, T_{Aus.i^0.z}^+\}$$

Mit den Gleichungen 6-1, 6-2 und 6-3 können der Einfahrts- und Ausfahrtszeitpunkt von Zug z jeder Betriebsstelle ermittelt und die Fahrtrassen festgelegt werden.

- Die Züge, die wegen niedrigerer Prioritäten von anderen Zügen überholt werden können, müssen die Fahrplantrassen in den Streckenabschnitten  $e(i, i^{+1})$  zwischen den vorgeplanten Züge  $z^{-1}, z^{+1}$  finden. Wenn sie Konflikte mit vorgeplanten Zügen haben, müssen sie den Ausfahrtszeitpunkt verändern.

**Mit dem Berechnungsmodell F② fahren die Züge im frühesten Zeitpunkt (min.  $T_{Ein.i^{+1}.z}$ ) in der Betriebsstelle  $i^{+1}$  ein, die Voraussetzungen sind:**

$$T_{Aus.i.z} - T_{Aus.i.z^{-1}} \geq T_{A,i}^{z^{-1},z}$$

$$T_{Ein.i^{+1}.z^{+1}} - T_{Ein.i^{+1}.z} \geq T_{E,i^{+1}}^{z,z^{+1}}$$

Schritt 1	Eingabe $i:=i^0$ $T_{Aus.i^0.z}$
Schritt 2	Suche mögliche Ausgangszeit $T_{Aus.i.z}$ , um $T_{Aus.i.z^{-1}} \leq T_{Aus.i.z} \leq T_{Aus.i.z^{+1}}$
Schritt 3	Wenn $T_{Ein.i^{+1}.z} \in \emptyset$ , weiter zu Schritt 4, sonst Schritt 5
Schritt 4	Wenn $T_{H,i.z} = 0$ , Einstellung $\psi_{i,z} = 1$ , $i:=i^{+1}$ ; sonst $T_{Aus.i.z} = T_{Aus.i.z^{+1}} + t_{A,i}^{z^{+1},z}$ , $T_{H,i.z} = T_{Aus.i.z} - T_{Ein,i.z}$ weiter zu Schritt 2
Schritt 5	Einstellung $i:=i^{+1}$ . Wenn $i = i^x$ , weiter zu Schritten 6; sonst $T_{Aus.i.z} = T_{Ein,i.z} + t_{H,i.z}$ , zu Schritt 2
Schritt 6	Alle Einfahrts- und Ausfahrtszeitpunkte von Zug z in jeder Betriebsstelle sind schon ermittelt und die Fahrplantrasse von Zug z kann festgelegt werden

- Überprüfung und Optimierung der Fahrplantrassen.

Wenn Zug z auf Strecke  $e(i^0, i^x)$  keine Konflikte mit anderen Zügen hat, wird die Reisezeit  $t_{Reise} = T_{Ein,i^x.z} - T_{Aus,i^0.z}$  von Zug z die Mindestgröße betragen, die Reisegeschwindigkeit von Zug z erreicht gleichzeitig den max. Wert. In der Praxis sind die Geschwindigkeitsunterschiede der Züge tatsächlich existent, daher sind Konflikte zwischen den Zügen nicht vermeidbar. Durch Vorgabe der

gewünschten Reisegeschwindigkeit des Zuges kann man nach der Berechnung der optimierten Reisezeit  $t_{R,z}^{opi}$  den Differenzwert zwischen der optimierten Reisezeit  $t_{R,z}^{opi}$  und der Mindestreisezeit  $t_{R,z}^{min}$  als Reservierungszeit  $t_{R,z}^R$  definieren. Die gewünschte Reisegeschwindigkeit des Zuges kann durch eine statische Analyse des IST-Fahrplans grob geschätzt und Schritt für Schritt nachgewiesen werden.

Für jeden außerplanmäßigen Zwischenhalt und eine Verlängerung der Haltezeit wird die Größe der Reservierungszeit  $t_{R,z}^R$  reduziert, die restliche verfügbare Reservierungszeit von Zug  $z$   $t_{R,z}^{R,R}$  kann mit der Gleichung  $t_{R,z}^{R,R} = t_{R,z}^R - \sum \Delta H - \sum (t_{B,i,z} + t_{A,i,z})$  berechnet werden. Da der Abstand zwischen zwei Plan-Haltestellen in der Realität unterschiedlich ist, ist es kaum möglich, auf der gesamten Strecke durch Linear-Interpolation die Reservierungszeit an jeder Haltestelle zu verwirklichen. Die Reisegeschwindigkeit des Zuges und die restliche verfügbare Reservierungszeit  $t_{R,z}^{R,R}$  können durch Beschränkung der Haltezeit  $t_{H,i,z}^{max}$  und in einem bestimmten Bereich bleiben. Wenn die Haltezeit  $t_{H,i,z} > t_{H,i,z}^{max}$  ist, fährt der Zug  $z$  am spätestens an dem Zeitpunkt  $T_{Ein,i,z} + t_{H,i,z}^{max}$  aus dem Bahnhof aus, er hat damit höhere Prioritäten als andere Züge zu diesem Zeitpunkt.

Wenn die Züge in einer Betriebsstelle nur wegen betrieblicher Aufgaben halten, werden zusätzliche Zeitverluste wegen der Abfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung erzeugt. Außerdem ist jeder außerplanmäßige Zwischenhalt mit zusätzlichen Betriebskosten verbunden, die mehr Energieverbrauch und Personalbedarf erzeugen.

Die Optimierung soll mit dem „Bi Level Programm“ durchgeführt werden. Die zwei Zielsetzungen im Programm sind Mindestreisezeit  $f(\min \text{ Reisezeit})$  und Mindestzwischenhalte  $f(\min \text{ Zwischenhalte})$ . Um die Zielsetzungen zu verwirklichen, werden hier drei Prinzipien vorgeschlagen wurden:

- 1 Mögliche Integration der Halte zum Verkehrsziel und Betriebsziel.  $i=j$ ;
- 2 Mögliche gleichmäßige Verteilung der gesamten Reservierungszeit  $t_{R,z}^R$  .;
- 3 Die Züge mit der geringeren Reservierungszeit haben höhere Prioritäten.

**Mit Berechnungsmodell F<sup>3</sup> fahren die Züge mit Mindestreisezeit  $t_{R,z}^{min}$  und Mindestzwischenhalte  $\min. \sum \psi_{i,z}$  ergeben sich folgende Schritte:**

Schritt 7	Suche Betriebsstelle $i$ mit $t_{H,i,z} > 0$
Schritt 8	Wenn $i:=j$ , weiter zu Schritt 13; Sonst suche $j_z$ in der Nähe mit Kürzester Distanz. Wenn $j_z^{+1}$ , weiter zu Schritt 9; Sonst zu Schritt 12
Schritt 9	Einstellung des neuen Eingangszeitpunkts von Zug $z$ in geplanten Bahnhof $j_z^{+1}$ $T_{Ein,j_z^{+1},z} = T_{Ein,i,z} + \sum_{i=i+1}^j t_{F,i-1,z}$ $i := j_z^{+1}, \text{ weiter zu schritt 13}$
Schritt 10	Verschiebung des Einfahrtszeitpunkts des blockierten Zuges $z^{+1}$ in der Betriebsstelle $j_z^{+1}$ . Zug $z^{+1}$ und Zug $z$ sind konfliktfrei. $T_{Ein,j_z^{+1},z^{+1}} = T_{Ein,j_z^{+1},z} + t_{E,j_z^{+1}}^{z,z^{+1}}$
Schritt 11	Mit F① zur Ermittlung der neuen Fahrplantrassen für $z^{+1}$ und die folgenden beeinflussenden Züge
Schritt 12	Einstellung des neuen Ausgangszeitpunkts von Zug $z$ im geplanten Bahnhof $j_z^{-1}$ Neu $T_{Aus,j_z^{-1},z} = T_{Aus,j_z^{-1},z^{+1}} + t_{A,j_z^{-1}}^{z^{+1},z}$ weiter zu Schritt 2
Schritt 13	Wenn $t_{H,i,z} < t_{H,i,z}^{\max}$ , weiter zu Schritt 15; Sonst zu Schritt 14
Schritt 14	Einstellung $t_{H,i,z} \leq t_{H,i,z}^{\max}$ , der Ausgangszeitpunkt $T_{Aus,i,z} \leq T_{Ein,i,z} + t_{H,i,z}^{\max}$ . weiter zu Schritt 9
Schritt 15	Einstellung $i:=i^{+1}$ . Wenn $i = i^x$ , zu Schritt 17, Sonst zu Schritt 8
Schritt 16	Alle Einfahrts- und Ausfahrtszeitpunkte von Zug $z$ sind optimiert worden.

Durch die entwickelten Modelle und die dynamische Änderung der Priorität des FRz in der Fahrplankonstruktion können die verschiedenen Modellzüge zeitlich entmischt werden und die Reisegeschwindigkeit des FRz mit angestrebtem Wert gewährleistet werden.

#### 6.4.9 Aufteilung der Reiseweite des „Extra-Fernzuges“ in Sektoren und Anwendung des anschlussoptimierten Fahrplans

Nach den statistischen Daten in Tabelle 5.2 haben 5,5 % der Züge eine Reisedistanz über 2500 km und die 17,4 % der Züge eine Reisedauer über 24 Stunden, diese

werden als „Extra-Fernzug“ bezeichnet. Die Vorteile der Angebote bestehen darin, dass die Fahrgäste ohne Umstiege ihre Zielstädte erreichen können. Andererseits gibt es aber auch deutliche Nachteile wegen der langen Distanz und der Reisedauer, wobei das Einlegen der Fahrplantrassen im Fahrplan sehr kompliziert ist. Dieses führt zu vielen Konflikten mit anderen Zügen wegen deren gewünschter Fahrplantrasse. Die Ermittlung der optimierten Ankunftszeit für die Zwischenhalte ist sehr schwierig und die Umlaufzeit von Waggons sowie Lokomotiven ist wegen der extra langen Reiseweite sehr groß. Außerdem sind die Bequemlichkeit und die Zufriedenheit der Fahrgäste wegen der langen Aufenthalte in den geschlossenen Räumen erheblich reduziert.

Hinzu kommt noch, dass die Angebote von Fluggesellschaften in China stark zugenommen haben und die Bahn nicht mehr der einzige Verkehrsträger für den Fernverkehr ist. Vor der Fertigstellung des Netzes von Hochgeschwindigkeitsstrecken hat der Flugverkehr deutliche Vorteile an Geschwindigkeit und Zeitgewinn vor dem „Extra-Fernzug“.

Mittels der Integration des anschlussoptimierten Fahrplans kann die Reisedistanz von „Extra-Fernzügen“ auf zwei oder drei Abschnitte in den großen Verkehrsknoten getrennt werden. Obwohl die Fahrgäste, die vom Start- bis zum Zielbahnhof durchgehend reisen wollen, zwischendurch umsteigen müssen, kann mit der „Anschlussoptimierung“ in großen Verkehrsknoten die Wartezeit für die Fahrgäste optimal verkürzt werden. Weiterhin haben die Fahrgäste mehr Auswahlmöglichkeiten an Zügen vom Startbahnhof zu den Verkehrsknoten, und sie können durch Teilfahrten auf den Hochgeschwindigkeitsstrecken die gesamte Reisezeit noch verkürzen. Für die Chinesische Bahn bzw. die Regionaldirektion kann die Umlaufzeit von Zügen damit verkürzt und die Lage der Fahrplantrassen im Fahrplan noch mehr optimiert werden.

## **6.5 Neue Berechnung der Zugfolgezeit**

Die zulässige Mindestzugfolgezeit auf einer Bahnstrecke wurde wegen des vorherigen Kerngeschäfts der chinesischen Bahn im Güterverkehr immer mit den Berechnungsergebnissen der Güterzüge verbunden. Da die meisten Bahnstrecken in China im Mischbetrieb betrieben werden, ist die Mindestzugfolgezeit 6-10 min, die durch die Leistungsdaten des Güterzuges ermittelt wurde, als maßgebende Größe für die Zugfolge auf den Bahnstrecken vorgeschrieben. In der Realität ist diese Größe von Mindestzugfolgezeit für die Reisezüge zu lang und verursacht damit, dass viele Zeitlücken im Fahrplan als „nicht nutzbar“ erkannt werden und dadurch die Leistungsfähigkeit der Strecke seit langer Zeit nicht ausgenutzt wird.

Um die obengenannten Probleme zu lösen und die Leistungsfähigkeit der Strecke zu erhöhen, wird die Ausführung zweier betrieblicher Maßnahmen gefordert. Eine

Maßnahme ist die Optimierung der Signalanzahl und –Standorte auf der freien Strecke. Die Länge des Blockabschnitts ist von dem Standort der Signale abhängig und beeinflusst die Zugfolgezeit und die Leistungsfähigkeit der Strecke; die Anzahl der Blöcke bzw. Signale entscheidet über die Investitionen und die Folgekosten für Instandhaltungen. Durch die Optimierung können die gewünschten Zugfolgezeiten, die erforderliche Leistungsfähigkeit der Strecke und die kostengünstige Infrastruktur gewährleistet werden. Die andere Maßnahme besteht darin, die Ermittlung der Zugfolgezeit mit Sperrzeitstufen und unter Berücksichtigung der verschiedenen Zuggeschwindigkeiten vorzunehmen. Die Mindestzugfolgezeit auf einer Strecke wird nicht von dem Güterzug entschieden, sondern nach den verschiedenen Zugfolgefällen und Modellzügen mit unterschiedlichen Größen im Fahrplan dargestellt.

### 6.5.1 Ermittlung der Zugfolgezeit mit Sperrzeitstufen und unter Berücksichtigung der verschiedenen Zuggeschwindigkeiten

Mithilfe des analytischen Verfahrens zur Ermittlung der Zugfolgezeit wird in Deutschland für jeden Modellzug auf der Zeit-Weg-Linie eine Sperrzeitentreppe konstruiert. Die Konstruktion der Sperrzeitentreppe basiert auf betrieblich relevanten Daten wie z. B. Signalstandorten, Fahrstraßenbilde- und -auflösezeiten, Zuglängen usw. Die Mindestzugfolgezeit jedes Zugfolgefalls muss die Herausbildung der Sperrzeitüberschneidung von zwei nacheinander in den Streckenabschnitt einfahrenden Zügen vermeiden.

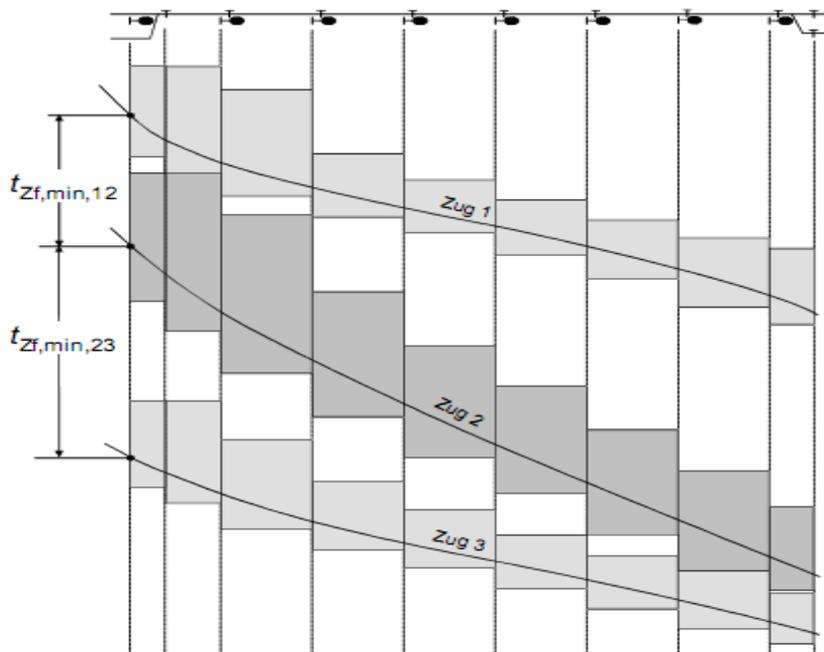


Abbildung 6-4 Mindestzugfolgezeiten in einem Streckenabschnitt [Pac08]

Das Verfahren zur Festlegung der Zugfolgezeit auf einem Streckenabschnitt in China wurde im Abschnitt 5-3 beschrieben. Die ermittelte größte Zugsperrzeit des Güterzuges von allen Zugfolgefällen wird als die maßgebende Mindestzugfolgezeit auf alle Zugfolgen auf dem Untersuchungsabschnitt angewendet. Das Verfahren hat wesentlich geringere Ansprüche an den Detaillierungsgrad von Infrastrukturmodellen und Zugmodellen und die Überprüfung der Konfliktfreiheit besonders bei Verspätungsfällen ist nicht so scharf und klar wie bei den Sperrzeitbetrachtungen.

Durch den Vergleich der beiden Verfahren ist die Anwendung der Sperrzeitentreppe als betriebliches Hilfsmittel vorteilhafter. Die zeitlichen Belegungen jedes Blockabschnitts werden durch die um die Zeit-Weg-Linie konstruierten Sperrzeitentreppe sehr deutlich dargestellt. Durch die Verschiebung der Eintrittszeit des folgend einfahrenden Zuges kann die konfliktfreie Erstellung der Lage des Zuges ohne Überschneidung mit den anderen verwirklicht werden. Die Sperrzeitentreppe ist darüber hinaus bei der Betriebsdisposition erforderlich, denn durch die deutliche Darstellung der Überschneidungen der Sperrzeitentreppe aufgrund von Verspätungen im Diagramm, können die entsprechenden Dispositionen eingeleitet werden.

Ein anderer Grund für die Anwendung der Sperrzeitentreppe liegt im Nutzen der EDV-Technik im Bahnbetrieb, sie ist das Kernstück einer rechnergestützten Fahrplankonstruktion bei der Berechnung bzw. Konstruktion einer Sperrzeitentreppe für jede Fahrplantrasse. Die Fahrplantrasse wird durch die automatischen Berechnungen der Zeit-Weg-Linie und die zugehörige Sperrzeitentreppe in ihrer gewünschten Lage auf dem Rechner dargestellt. Die EDV-Technik bewirkt also eine immense Rationalisierung der Fahrplankonstruktion. Die Deutsche Bahn AG war das weltweit erste Eisenbahnunternehmen, das seine Fahrplankonstruktion Ende der 1990er Jahre vollständig auf eine sperrzeitbasierte Rechnerlösung umgestellt hatte [Sau99].

Bezogen auf die Grundlagen des Verfahrens zur Festlegung der Zugfolgezeit in chinesischen Eisenbahnbetrieb sind die Ermittlungen durch Sperrzeitentreppe wie folgende Abbildungen darzustellen:

1. Zugsperrzeit  $t_{zj,aus}$  zwischen zwei nacheinander aus dem Bahnhof ausfahrenden Zügen:

$$t_{zj,aus} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3}}{v} \quad \text{Gleichung 5-1}$$

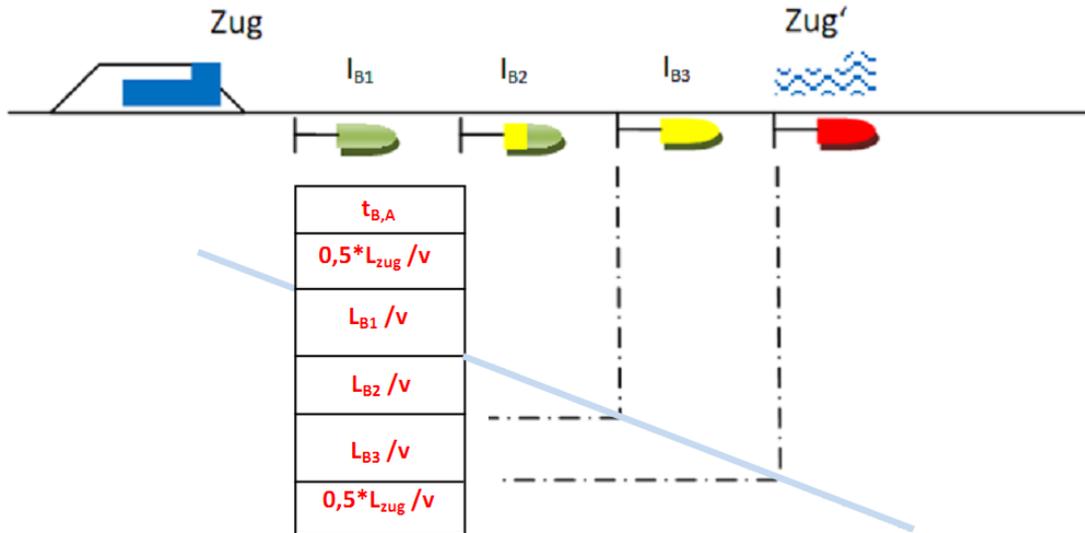


Abbildung 6-5 Zugsperrzeit  $t_{zj,aus}$

2. Zugsperrzeit  $t_{zj,str}$  zwischen zwei nacheinander fahrenden Zügen auf der gleichen freien Strecke:

$$t_{zj,str} = \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{B4}}{v} \quad \text{Gleichung 5-2}$$

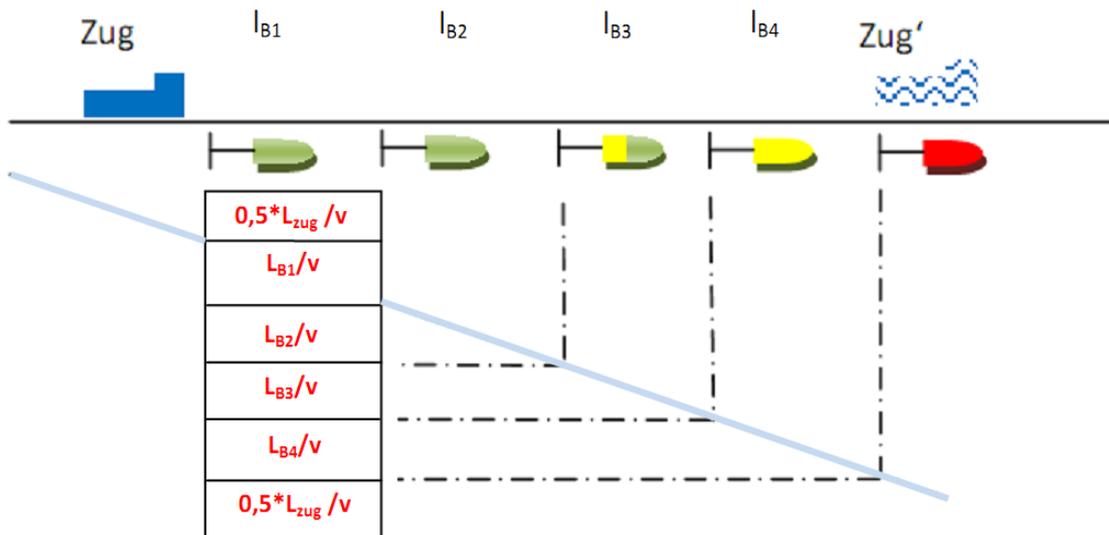


Abbildung 6-6 Zugsperrzeit  $t_{zj,str}$

3. Zugsperrzeit  $t_{zij,ein}$  zwischen zwei nacheinander in den Bahnhof einfahrenden Zügen:

$$t_{zij,ein} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{ES}}{v} \quad \text{Gleichung 5-3}$$

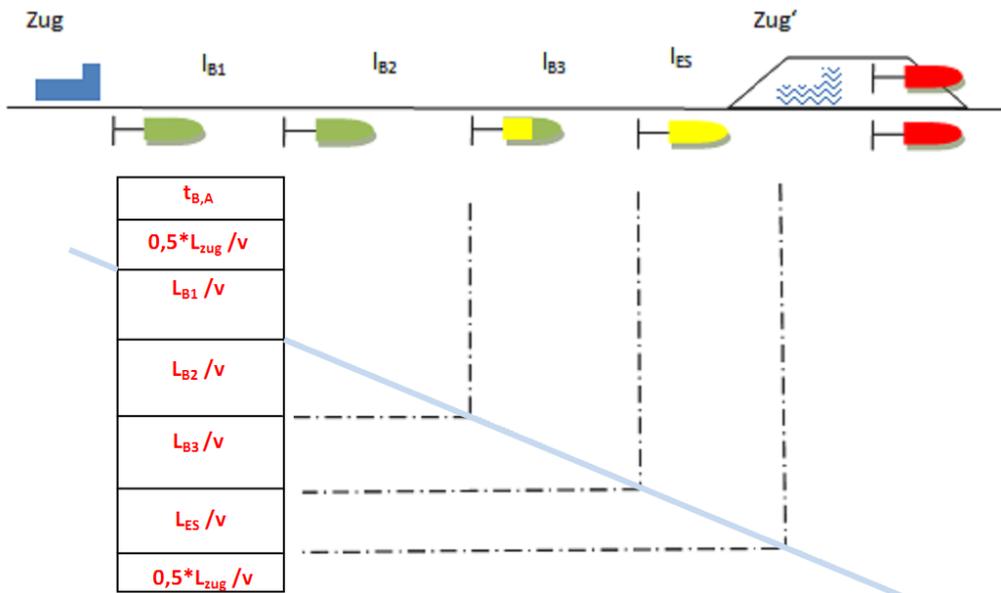


Abbildung 6-7 Zugsperrzeit  $t_{zij,ein}$

4. Zugsperrzeit  $t_{zij,dur}$  zwischen zwei nacheinander im Bahnhof durchfahrenden Zügen:

$$t_{zij,dur} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{BB} + l_{SS}}{v} \quad \text{Gleichung 5-4}$$

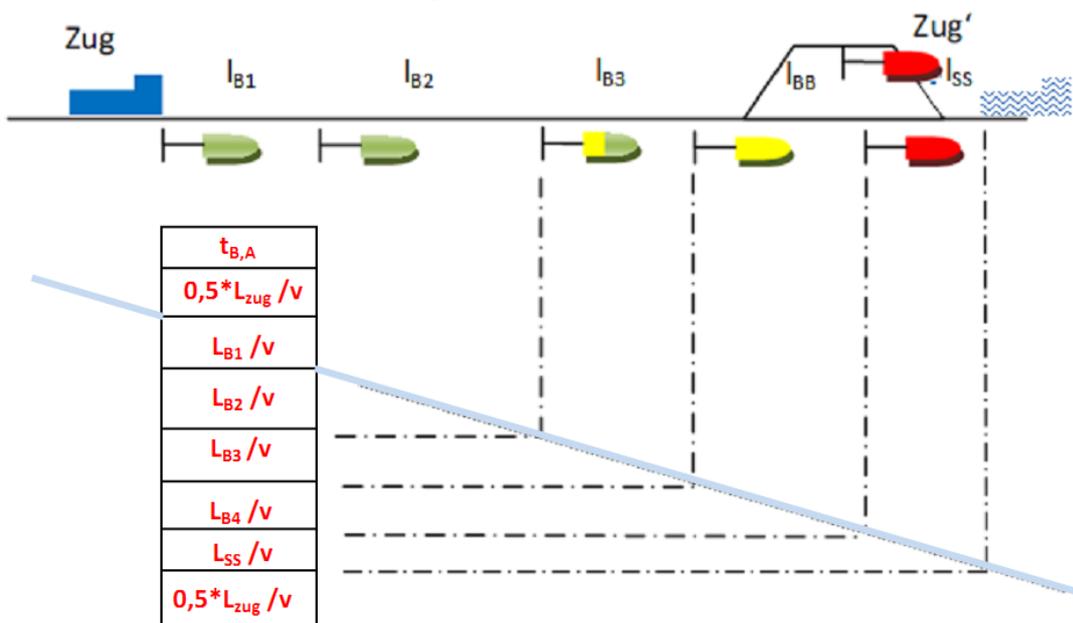


Abbildung 6-8 Zugsperrzeit  $t_{zij,dur}$

Nach der Ermittlung der Mindestzugfolgezeit durch die Sperrzeitentreppe ist die Lage der Fahrplantrasse grundsätzlich festgelegt. In der Praxis ist jedoch eine Verspätung der Zugfahrt nicht vermeidbar. Um die Übertragung der Verspätungen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zügen zu reduzieren, werden freie Zeitabschnitte, die nicht zu Sperrzeiten gehören, als Pufferzeiten definiert und zwischen den Sperrzeitentrepfen eingelegt. Die endgültig erforderlichen Zugfolgezeiten werden aus den durch Sperrzeitentrepfen ermittelten Mindestzugfolgezeiten und eine zugeschlagene Pufferzeit bestehen, die Züge im Fahrplan sind nicht wie in Abbildung 6-4 so eng folgend.

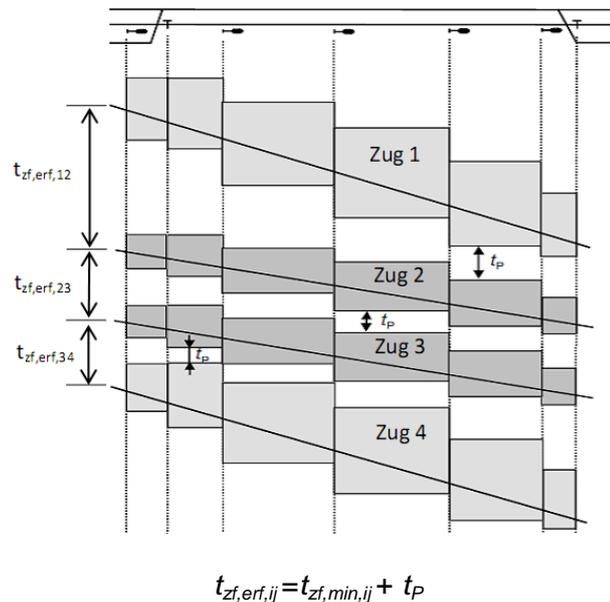


Abbildung 6-9 erforderliche Zugfolgezeiten in einem Streckenabschnitt

Die Mindestzugfolgezeit dient der Gewährleistung der Sicherheit der Zugsbewegungen. In der Praxis ist die geplante Zugfolgezeit im Fahrplan manchmal größer als die erlaubte Mindestzugfolgezeit, der Differenzwert zwischen der geplanten Zugfolgezeit und der Mindestzugfolgezeit ist als Fahrplanpufferzeit definiert, sie funktioniert zur Dämpfung der Übertragung der Folgeverspätungen. Allerdings ist die Einlegung der Pufferzeit in der Konstruktion des Fahrplans in China nicht aktiv verwendet, weil die Übertragung der Verspätung im Fahrplan nicht ausreichend berücksichtigt ist. Andererseits ist die momentan in China angewendete Mindestzugfolgezeit auf der Bahnstrecke einheitlich für alle Zugfolgen mit 6 bis 10 min vorgeschrieben, damit ist diese Zugfolgezeit für die schnell fahrenden Züge sehr groß (vgl. Tabelle 5-5). Die Differenz zwischen der vorgegebenen Mindestzugfolgezeit und der in der Realität verlangten Mindestzugfolgezeit kann die Funktionen der Pufferzeit in der Praxis

ersetzen, deswegen werden die Untersuchungen zur Bemessung und Verteilung der Pufferzeiten in der Konstruktion des Fahrplans in China selten durchgeführt.

In dieser Arbeit wird eine Mindestpufferzeit mit Größe 1 min zwischen zwei Sperrzeittreppen bei der Fahrplankonstruktion in China vorgeschlagen. In dem durchführenden Fahrplan kann die Mindestpufferzeit aus der ganzen „Mindestzugfolgezeit“ extrahiert werden, d. h., die vorgeschriebene „Mindestzugfolgezeit“ kann in zwei Teile getrennt werden. Ein Teil ist als Mindestpufferzeit mit Größe 1 min zu definieren, der andere Teil ist als die erforderliche Zugfolgezeit im Bahnbetrieb zu berücksichtigen. Diese Mindestpufferzeit kann einerseits völlig auszuschließende Sperrzeitenüberschneidungen sicher verhindern und auch die Wahrscheinlichkeit der Folgeverspätung reduzieren, andererseits ist die vorgeschriebene „Mindestzugfolgezeit“ nach der Spaltung der Pufferzeit im Vergleich zu der erforderlichen Zugfolgezeit zwischen Schnellzüge in der Größe realistisch. Es ist noch vorteilhaft für die Entscheidung der Disposition bei den kleinen Verspätungsfällen (z. B. kleiner als 1 min), damit können die Bahnmitarbeiter der Abteilung „Zugdisposition“ entscheiden, ob die Dispositionsmaßnahmen für den nachfolgenden Zug notwendig sind.

### **6.5.2 Verbesserung der theoretischen Berechnung der Zugfolgezeit**

Das Kernstück der Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Bahnstrecke ist die Verkürzung der Zugfolgezeit, die hauptsächlich abhängig von den Zugfolgefällen, der Länge des maßgebenden Blockabschnitts und den zulässigen Geschwindigkeiten ist. Durch die Reduzierung der Zugfolgezeit können mehrere Züge innerhalb eines bestimmten Zeitraums auf einer Strecke aufeinander folgend fahren.

Die Verkürzungen der Zugfolgezeit können mit zwei Maßnahmen realisiert werden. Einerseits kann man die baulichen Maßnahmen anwenden, wie z. B. eine Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeit und eine Verkürzung der Länge des Blockabschnitts auf Engpassabschnitten, um die Belegungszeit des Blockabschnitts zu reduzieren. Andererseits können die Zugfolgen durch die Anwendung betrieblicher Maßnahmen, z. B. durch zeitliche Entmischung unterschiedlicher Zuggattungen sowie durch gebündeltes Fahren von Zügen, die die gleiche Geschwindigkeit haben, vernünftig eingeordnet werden. Dadurch können die auftretenden Wahrscheinlichkeiten des Zugfolgefalles „langsam-schnell“ im Fahrplan verringert werden, weil der Zugfolgefall „langsam-schnell“ einem größeren Zeitabschnitt im Zeitraum besitzt und eine Geschwindigkeitsschere erzeugt. Die baulichen Maßnahmen sind dabei natürlich das wirkungsvollste Verfahren zur Verkürzung der Zugfolgezeit und zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Strecke, allerdings sind die Kosten für bauliche Maßnahmen

wesentlich höher, weshalb die betrieblichen Maßnahmen zur Verbesserung des Leistungsverhaltens in der Praxis vorrangig sind.

Die Verkürzung der Blockabschnittslängen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit ist in China die am häufigsten angewandte bauliche Maßnahme, da die Länge des Blockabschnitts die Belegungszeit des Blocks entscheidet. Die Gleichungen 5-1, 5-2, 5-3 und 5-4, nach denen die Mindestzugfolgezeit in vier Zugfolgefällen in China theoretisch ermittelt werden sollen, sind stark mit den Blockabschnittslängen verbunden. Die Darstellungen der Gleichungen sichern die Zugfolge durch die gesamte Länge von mindesten drei oder sogar vier aufeinanderfolgenden Blockabschnitten.

Aus der Abbildung 6-6 geht hervor, dass die zwei Blöcke zwischen Grün/Gelb und Rot  $l_{B3}+l_{B4}$  den Bremsweg des Zuges garantieren. Die schnell fahrenden Züge sollen nach dem Passieren des Grün/Gelb-Signals ihre Geschwindigkeiten bis zur erlaubten Geschwindigkeit vor dem Gelbsignal reduzieren, anschließend können sie innerhalb eines Blocks bremsen und vor dem Rotsignal halten. Der Block  $l_{B3}$  zwischen Grün/Gelb und Gelb soll einer Verzögerungsstrecke entsprechen, der Zug soll seine Geschwindigkeit auf dem Abschnitt reduzieren. Die Sperrzeit der Blöcke  $l_{B1}+l_{B2}$  soll größer oder gleich der Summe von der Sichtzeit  $t_{Sicht}$ , der Fahrstraßenbildezeit  $t_{Fb}$  und der Fahrstraßenauflösezeit  $t_{Fa}$  sein, die Summe entspricht einer Vorbereitungszeit für die Strecke und den Zug. Durch die Anlegung der Vorbereitungszeit, der Verzögerungszeit und der Bremszeit kann der Abstand vom nachfolgenden Zug bei mindestens vier Blöcken hinter dem vorausfahrenden Zug gewährleistet werden. Nach dem Umbau wird die Gleichung 5-2 wie folgend dargestellt:

$$t_{zj,sr} = \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{B4}}{v} = t_{Fa} + t_{Sicht} + t_{Fb} + t_{vz} + t_B + t_{Raeum} \quad \text{Gleichung 6-5}$$

Mit

$$t_{vz} = \frac{l_{B3}}{v}$$

$$t_B = \frac{l_{B4}}{v}$$

$$t_{Fa} + t_{Sicht} + t_{Fb} \leq \frac{l_{B1} + l_{B2}}{v}$$

Die Nachbelegungszeit dient der Gewährleistung des kompletten Räumens des Zuges, sie ist abhängig von der Zuglänge und der Geschwindigkeit. Die Belegungszeit ist die Fahrzeit auf dem letzten Blockabschnitt, in dem die Züge innerhalb des Blockabschnitts vor dem Rotsignal halten sollen, der Zeitanteil wird hier von der Länge des Blockabschnitts bestimmt. Die Vorbelegungszeit besteht aus der Fahrzeit auf der

Verzögerungsstrecke  $t_{vz}$  und der Vorbereitungszeit der Strecke und des Zuges. Die Verzögerungsstrecke ist zur Gewährleistung der Geschwindigkeitsreduzierung des Zuges notwendig. Innerhalb der Länge der Verzögerungsstrecke kann der Zug die zulässige Geschwindigkeit für den letzten Streckenblock zwischen dem Rotsignal und dem Gelbsignal erreichen.

Die Zeitkomponenten der Vorbereitungszeit bestehen aus der Fahrstraßenauflösezeit  $t_{Fa}$  des vorausfahrenden Zuges, der Fahrstraßenbildezeit  $t_{Fb}$  und der Sichtzeit bzw. Reaktionszeit  $t_{Sicht}$  des Lokomotivführers. Innerhalb der Fahrstraßenbildezeit können die Fahrdienstleiter den Fahrweg für den fahrenden Zug vorbereiten und innerhalb der Sichtzeit bzw. Reaktionszeit kann der Lokomotivführer den Belegungszustand der Strecke in der Fahrtrichtung anweisen. Beim chinesischen Vier-Aspekt-Signalisierungssystem wird die Vorbereitungszeit für den fahrenden Zug mit  $t_{vor} = (l_{B1} + l_{B2})/v$  und für den aus dem Bahnhof ausfahrenden Zug mit  $t_{vor} = l_{B1}/v$  umgerechnet, da die Länge der Blockaufteilung in der Regel gleichmäßig ist und die durchschnittliche Geschwindigkeit  $\bar{v}$  von einem gerade aus dem Bahnhof ausfahrenden Zug annähernd  $\bar{v} = (v-0)/2 = 0,5*v$  ist, weshalb die Vorbereitungszeit bei dem Vier-Aspekt-Signalisierungssystem tatsächlich mit  $t_{vor} = 2*l_B/v$  betrachtet werden kann.

Die Fahrstraßenauflösezeit  $t_{Fa}$ , und die Fahrstraßenbildezeit  $t_{Fb}$  sind die technischen Parameter des Stellwerks, die Sichtzeit bzw. die Reaktionszeit des Lokomotivführers kann auch als Konstante behandelt werden, d. h., die Summe der Vorbereitungszeit kann zusammengefasst als Konstante C betrachtet werden. Zur theoretischen Ermittlung der Zugfolgezeit mit den Gleichungen sind die Vorbereitungszeiten jedoch mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit und der Länge des Blockabschnitts variabel verbunden. Wenn die Strecken Geschwindigkeitseinbrüche haben und die Blockabschnitte allzu lang sind, werden die Ergebnisse der Berechnungen der Vorbereitungszeit erheblich zunehmen, sodass sich die Summe der Mindestzugfolgezeit vergrößert.

Damit die Vorbereitungszeiten annähernd die theoretische Konstante darstellen, soll die durchschnittliche Länge des Blocks einem angenäherten Fahren im absoluten Bremswegabstand entsprechen, was auch die mindestens erlaubte Länge des Blockabschnitts ist. In Abbildung 6-10 kreuzen sich die zwei Linien zur Ermittlung der Mindestzugfolgezeiten an der Stelle  $l_{B,Min}$ , weil die Vorbereitungszeit genau gleich mit der Länge des Blocks der theoretischen Konstante ist. Während der Zunahme der Länge des Blockabschnitts ist die Vorbereitungszeit mit der Gleichung  $t_{vor} = 2*l_B/v$  augenscheinlich größer als die Konstante. Die Erhöhung der Zugfolgezeit wird

einerseits von der Zunahme der Belegungszeit des Warnungsabstandes und des Bremsabstandes begleitet, andererseits ist sie zusätzlich von der Zunahme der Vorbereitungszeit beeinflusst.

Außerdem beeinflusst die zulässige Geschwindigkeit der Strecke gemäß den Gleichungen bzw. den Theorien auch noch die Vorbereitungszeit. Wegen der Topografie haben die Bahnstrecken dabei in der Regel Geschwindigkeitseinbrüche. Diese Geschwindigkeitseinbrüche haben nicht nur eine Verlängerung der Belegungszeit der betroffenen Blockabschnitte zur Folge, sondern sie beeinflussen auch die Vorbereitungszeit nach der Bestimmung in den Gleichungen.

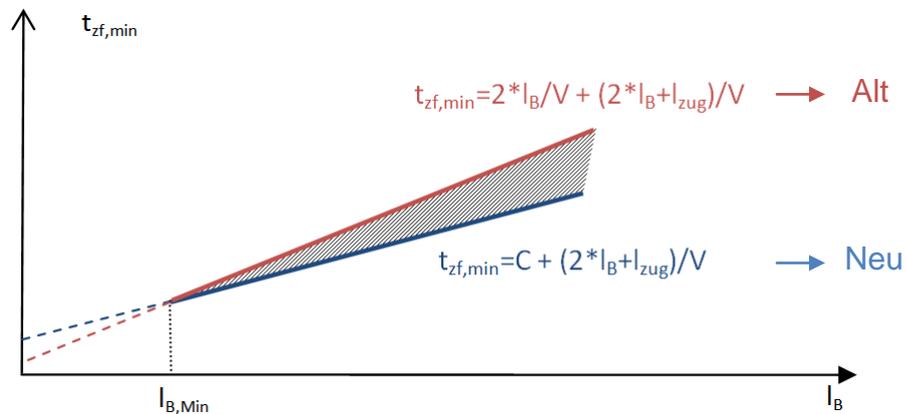


Abbildung 6-10 Unterschied zwischen zwei Berechnungen der Vorbereitungszeit zur Ermittlung der Mindestzugfolgezeit

Die Verbindungen der Berechnung der Vorbereitungszeit  $t_{vor}$  mit der Blocklänge und der Geschwindigkeit erzeugen die überhöhten Endergebnisse der Mindestzugfolgezeit, sodass die daraus resultierende theoretische Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke natürlich korrelativ unterschätzt wird. Die Bahnstrecke ist nicht komplett ausgenutzt und die Investitionen in die Infrastruktur zur Realisierung der gewünschten Leistungsfähigkeit können wegen der unterschätzten Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke mehr Kosten verursachen.

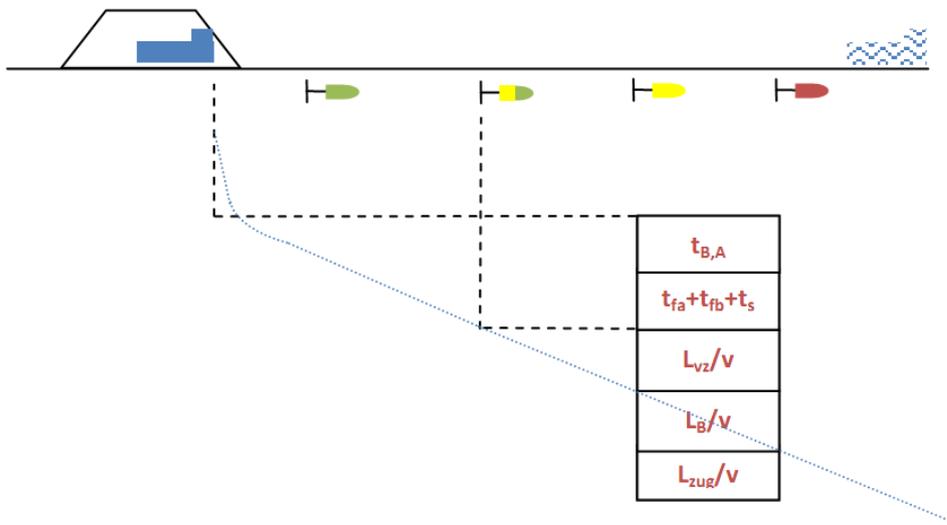
Deshalb wird die Maßnahme im Bahnbetrieb genommen, die Ermittlung der Sperrzeit eines Blockabschnitts mit einer konstanten Vorbereitungszeit  $t_{vor} = C$  statt Variablen  $t_{vor} = 2 * l_B / V$  anzuwenden, sodass die unter ausreichender Berücksichtigung der Sicherheit ermittelten Mindestzugfolgezeiten im Vergleich zu den Ergebnissen, die mit den gegenwärtigen traditionellen Gleichungen berechnet werden, erheblich reduziert werden können.

Die Gleichungen zur Ermittlung der Sperrzeit des Blockabschnitts und die Darstellungen der Sperrzeitstufen können wie im Folgenden dargestellt neu umgeformt werden.

1. Zugsperrrzeit  $t_{zij,aus}$  zwischen zwei nacheinander aus dem Bahnhof ausfahrenden Zügen:

$$t_{zij,aus} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3}}{v} \quad \text{Gleichung 5-1}$$

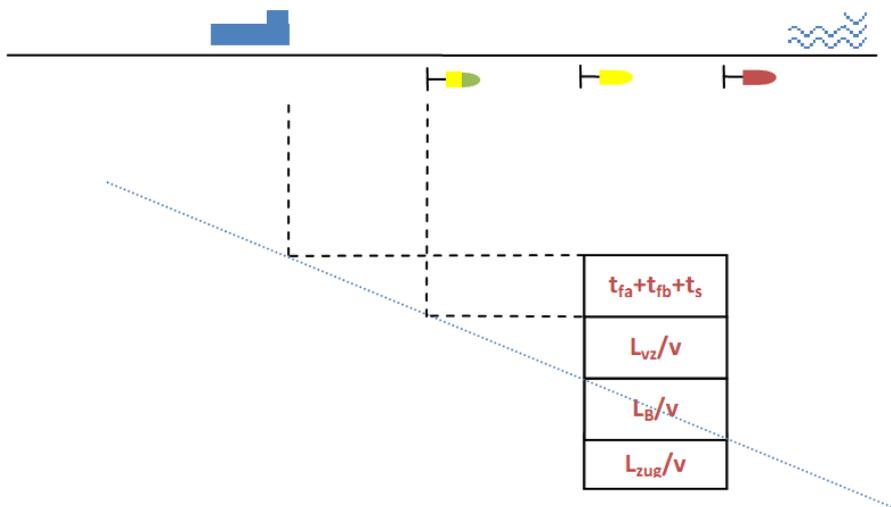
$$t_{zij,aus} = t_{B,A} + C + \frac{l_{vz} + l_B}{v} + \frac{l_{zug}}{v} \quad \text{Gleichung 6-6}$$



2. Zugsperrrzeit  $t_{zij,str}$  zwischen zwei nacheinander fahrenden Zügen auf der gleichen freien Strecke:

$$t_{zij,sr} = \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{B4}}{v} \quad \text{Gleichung 5-2}$$

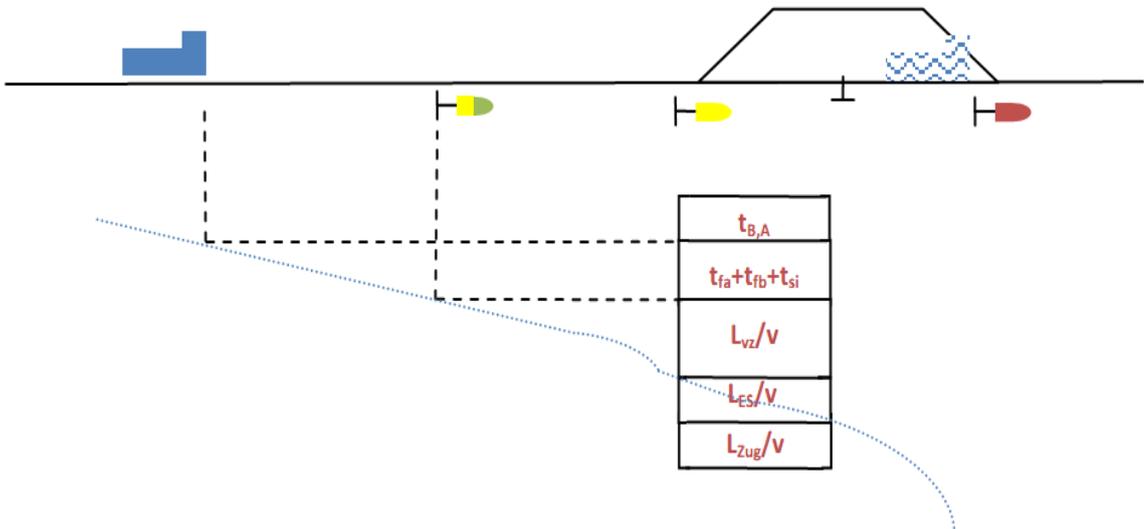
$$t_{zij,aus} = C + \frac{l_{vz} + l_B}{v} + \frac{l_{zug}}{v} \quad \text{Gleichung 6-7}$$



3. Zugsperrzeit  $t_{zij, ein}$  zwischen zwei nacheinander in den Bahnhof einfahrenden Zügen:

$$t_{zij, ein} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{ES}}{v} \quad \text{Gleichung 5-3}$$

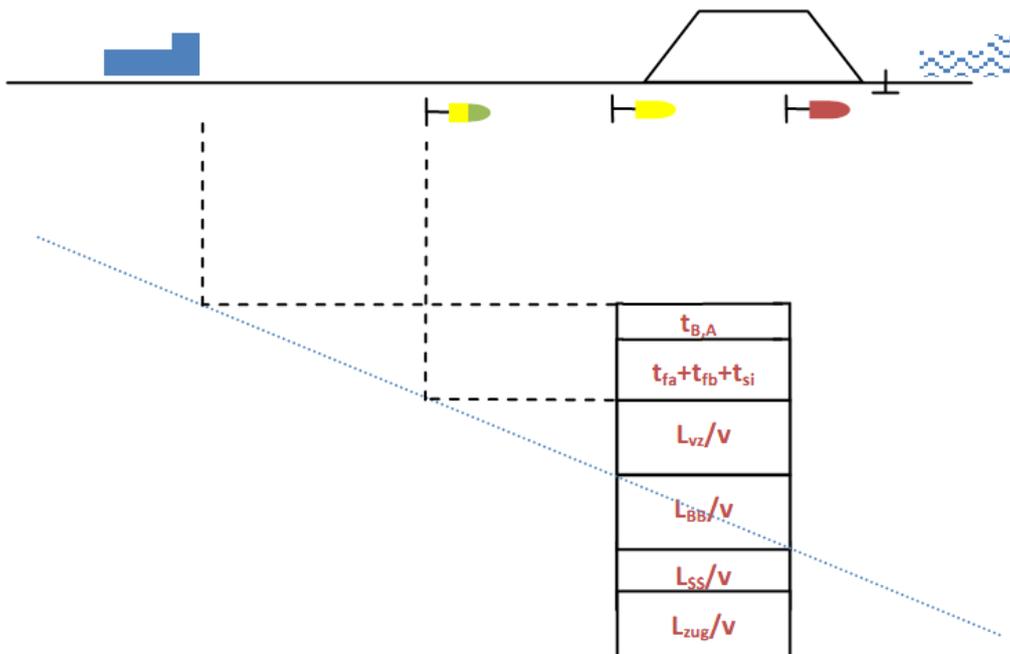
$$t_{zij, aus} = t_{B,A} + C + \frac{l_{vz} + l_{ES}}{v} + \frac{l_{zug}}{v} \quad \text{Gleichung 6-8}$$



4. Zugsperrzeit  $t_{zij, dur}$  zwischen zwei nacheinander im Bahnhof durchfahrenden Zügen:

$$t_{zij, dur} = t_{B,A} + \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{BB} + l_{SS}}{v} \quad \text{Gleichung 5-4}$$

$$t_{zij, aus} = t_{B,A} + C + \frac{l_{vz} + l_{BB}}{v} + \frac{l_{SS}}{v} + \frac{l_{zug}}{v} \quad \text{Gleichung 6-9}$$



$l_{zug}$	Durchschnittliche Länge des Zuges
$l_{vz}$	Die Länge des Blockabschnitts, um die Geschwindigkeit zu verzögern
$l_B$	Die Länge des belegten Blockabschnitts
$l_{BB}$	Die Länge des belegten Blockabschnitts im Bahnhof (vom Einfahrtsignal bis zum Stationssignal)
$l_{ES}$	Die Länge der Strecke zwischen Einfahrtsignal im Bahnhof und Zugschlussstelle
$l_{ss}$	Die Länge der Schutzstrecke, nach dem Durchfahren der Strecke kann der Zug die Weiche komplett räumen
$v$	durchschnittliche Geschwindigkeit des Zuges
$t_{B,A}$	die Arbeitszeit vom Zugleiter im Bahnhof für die Zulassung der in den Bahnhof einfahrenden, ausfahrenden und durchfahrenden Züge
$t_{Fb}$	die Fahrstraßenbildezeit
$t_{Si}$	Sicht- und Reaktionszeit
$t_{Fa}$	die Fahrstraßenauflösezeit
$C = t_{Fb} + t_{Si} + t_{Fa}$	Vorbereitungszeit

Die Vorbereitungszeit aus der gesamten Zugsperrzeit wird in den neu vorgeschlagenen Gleichungen als Konstante behandelt, was vorteilhaft für die theoretische Analyse der Leistungsfähigkeit der Strecke ist und damit auch positive Auswirkungen für den wirtschaftlichen Entwurf der Infrastruktur zur Folge hat.

### 6.5.3 Wirtschaftliche Optimierung der Blocklänge, der Signalzahl und Signalstandorte auf der freien Strecke

Seit langer Zeit wird die Verkürzung der Länge jedes Blockabschnitts, die ungefähr dem absoluten Bremswegabstand von ca. 800 m entspricht, als effiziente bauliche Maßnahme zur Reduzierung der Zugfolgezeit auf der mit Vier-Aspekt-Signalsystem gesicherten Bahnstrecke in China angewendet. Die Ursache wurde schon in Abschnitt 6.5.2 erklärt, wonach die Vorbelegungszeit und die Belegungszeit eines Blockabschnitts abhängig von der Blockabschnittslänge sind und die Summe der Sperrzeit nur durch die Verkürzung der Länge jedes Blockabschnitts verringert werden kann. Die Vorbereitungszeit wird insbesondere mit den langen Blöcken überhöht berechnet und beeinflusst die Endergebnisse der Zugfolgezeit sehr negativ. Außerdem kann die Vorbereitungszeit theoretisch nur durch Verkürzung der Blockabschnittslängen bis hin zum Übergang zum Fahren im absoluten Bremswegabstand gleich ihrer tatsächlichen Größe sein. Aus diesem Grund resultiert in der Regel eine Aufteilung bzw. Signalisierung der Bahnstrecke in einseitiger Weise mit der min. zulässigen Länge von ca. 800 m. In Abschnitt 6.5.2 wurde die Ermittlung der Zugsperrzeit mit einer konstanten Größe der Vorbereitungszeit statt der gegenwärtig an Blocklänge und Geschwindigkeit gebundenen Variablen dargestellt. Dieser Vorschlag wird auch durch die Signalisierung der Bahnstrecke beeinflusst. In diesem Abschnitt wird daher ein Verfahren zur groben Signalisierung der Bahnstrecke vorgeschlagen und danach werden dann mit einem Berechnungsbeispiel das ermittelte

Ergebnis mit den Konstanten und Variablen der Vorbereitungszeit bewertet und verglichen.

Die Optimierung der Signalzahl und der Signalstandorte stellt eine Untersuchung der Lösungen mehr zielgerichteter Fragestellungen dar und soll die Anforderungen und Beschränkung von Zielen erfüllen und weitestgehend bessere Wirkungen realisieren. Die Zielsetzungen für die Optimierung der Signalzahl und –Standorte sind Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit, wobei die Faktoren sich gegenseitig beeinflussen.



Abbildung 6-11 Zielsetzungen für die Optimierung der Signalisierung

Die Beeinflussungsfaktoren für die Signalisierung sind vielfältig, die hauptsächlichen Faktoren sind Bremsweg, Signalsystem, Fahrzeug und Länge der Gleisstromkreise.

Potthoff [Pot80] hat ein analytisches Verfahren zur Ermittlung der Signalzahl und –standorte bei Einabschnittssignalisierung auf freier Strecke vorgestellt. Das Verfahren basiert auf der Überlegung, dass die Signalteilung optimal ist, wenn sich an den einzelnen Signalen gleiche Zugfolgezeiten ergeben [Pot80].

Die komplette Sperrzeit des Zuges im Verfahren Potthoff besteht aus drei Teilen: der Vorbelegungszeit  $t_{Im}$ , der Nachbelegungszeit  $t_{Hm}$  und der Fahrzeit in einem Block  $t_f$

$$t_{Im} = \frac{\text{Sichtabstand} + \text{Vorsignalabstand} + 0,5 * \text{Zuglaeage}}{\text{Geschwindigkeit}}$$

$$t_{Hm} = \frac{0,5 * \text{Zuglaeage} + \text{Schutzabstand}}{\text{Geschwindigkeit}}$$

$$t_i = \frac{T_{AN}}{m+1}$$

$$t_{1m} + t_{Hm} + t_i = t_{zf,min}$$

$m$  Anzahl der Signale

$T_{AN}$  Fahrzeit zwischen den begrenzenden Signalen auf der Untersuchungsstrecke

$t_{zf,min}$  Mindestzugfolgezeit

Die erwünschte Mindestzugfolgezeit  $t_{zf,min}$  wird vom Betriebsprogramm für eine gezielte Leistungsfähigkeit der Strecke ermittelt, wobei dann durch Gleichungen die Anzahl der Signale festgelegt werden kann. Vorbelegung und Nachbelegung werden durch zwei Linien dargestellt, und mit konstruktiver Bestimmung werden die Signalstandorte erfolgreich ermittelt. Basierend auf dem Verfahren von Potthoff wird ein analytisches Verfahren bei der groben Signalisierung der freien Bahnstrecke im Rahmen der chinesischen Vier-Aspekt-Signalisierung entwickelt.

Die Gleichungen 5-2 und 6-7 stellen die Ermittlungen der Zugsperrzeit auf der mit der Vier-Aspekt-Signalisierung gesicherten freien Bahnstrecke dar, wobei den Unterschied zwischen beiden Gleichungen die Behandlung der Vorbereitungszeit darstellt. Die Sperrzeitentrepfen des Zuges bestehen aus drei Teilen:

	Vorbereitungszeit als Konstante	Vorbereitungszeit als Variable
Vorbelegungszeit	$t_{1B} = (t_{Fa} + t_{Sicht} + t_{Fb}) + t_{vz} = C + \frac{l_{B3}}{V}$	$t_{1B} = (t_{B1} + t_{B2}) + t_{vz} = (\frac{l_{B1} + l_{B2}}{V}) + \frac{l_{B3}}{V}$
Belegungszeit	$t_{2B} = t_B = \frac{l_{B4}}{V}$	$t_{2B} = t_B = \frac{l_{B4}}{V}$
Nachbelegungszeit	$t_{3B} = t_{Raeum} = \frac{l_{zug}}{V}$	$t_{3B} = t_{Raeum} = \frac{l_{zug}}{V}$

Nach der grundlegenden Forderung des Verfahrens Potthoff ist die vorgegebene Mindestzugfolgezeit  $t_{zf,min}$  gleich oder größer als die Streckenbelegungszeit jedes Abschnitts; die reinen Fahrzeiten der Blockabschnitte sollen gleich sein.

$$t_i = t_{i+1} = t_{i+2} = t_{i+3} = \frac{T_{AN}}{N} \quad \text{Gleichung 6-6}$$

$N$  Anzahl der Blockabschnitte

$T_{AN}$  Fahrzeit zwischen den begrenzenden Signalen auf der Untersuchungsstrecke

Die Berechnungen der Sperrzeit mit den Gleichungen 5-2 und 6-7 sollen gleich oder kleiner sein als die Mindestzugfolgezeit  $t_{zf,min}$ .

$$t_{zj,sr} = \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{B4}}{v} \leq t_{zf,min}$$

$$t_{zj,sr} = \frac{l_{zug} + l_{B1} + l_{B2} + l_{B3} + l_{B4}}{v} = 4 * \frac{T_{AN}}{N} + t_{Raeum} \rightarrow N \geq \frac{4 * T_{AN}}{t_{zf,min} - t_{Raeum}} \quad \text{Gleichung 6-7}$$

$$t_{zj,aus} = C + \frac{l_{vz} + l_B}{v} + \frac{l_{zug}}{v} \leq t_{zf,min}$$

$$t_{zj,aus} = C + \frac{l_{vz} + l_B}{v} + \frac{l_{zug}}{v} = C + 2 * \frac{T_{AN}}{N} + t_{Raeum} \rightarrow N \geq \frac{2 * T_{AN}}{t_{zf,min} - C - t_{Raeum}} \quad \text{Gleichung 6-8}$$

Mit der kostengünstigen Zielsetzung wird die Anzahl N mit dem min. Wert genommen.

Da in China auf den meisten Strecken der Mischverkehr angewandt wird, sind noch viele Züge mit Geschwindigkeiten unter 120 km/h auf den mit Vier-Aspekt-Signalisierung gesicherten Bahnstrecken im Betrieb. [Rrt07] schreibt die zulässige Geschwindigkeit des Zuges bei Vier-Aspekt-Signalisierung vor, dass wenn die Züge unter 120 km/h am Grün/Gelb-leuchtenden Signal vorbeifahren, sie ihre jeweilige Geschwindigkeit halten können und bis zum Gelb-leuchtenden Signal fahren, nach dem Passieren am Gelb-leuchtenden Signal sollen sie dann die Geschwindigkeit reduzieren und vor dem Rot-leuchtenden Signal halten. Aus der Beschreibung kann man entnehmen, dass der Blockabstand zwischen Grün/Gelb und Gelb dem Warnungsabstand entspricht, der letzte Block vor dem Rot-leuchtenden Signal dient der Gewährleistung des erforderlichen Bremsabstands, wobei die mindeste Länge eines Blocks den Bremsweg von dem 120 km/h fahrenden Zug garantieren soll. Der Bremsabstand für die Züge unter 120 km/h kann nicht kleiner als 800 Meter [Rrt07] sein. Die max. Länge eines Blocks kann die max. Länge der Gleisstromkreise nicht überschreiten.

$$N \geq \frac{l_{Strecke}}{l_{gsk}} \quad l_{gsk} \geq l_B \geq 800 \quad \text{Gleichung 6-9}$$

$l_{gsk}$  die max. Länge der Gleisstromkreise

$l_{Strecke}$  die Länge der Untersuchungsstrecke

Die Anzahl der Blockabschnitte  $N$  wird auf eine ganze Zahl gerundet, damit die Anzahl der erforderlichen Signale ermittelt werden kann.

$$m=N-1$$

$m$  = Anzahl der erforderlichen Signale.

Die Größen von  $T_{AN}$  sind wegen der verschiedenen eingesetzten Züge und ihrer technischen Daten unterschiedlich, die Ermittlung der Anzahl der Blockabschnitte  $N$  und der entsprechenden Blockaufteilung soll für alle darauf fahrenden Züge nach ihren

Merkmale mit Modellzügen durchgeführt werden. Die Ergebnisse können als Entwurfsvarianten mit Zielsetzungen von Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit verglichen und beurteilt werden. Danach kann man schließlich über die Signalisierung der Strecke entscheiden. Der Ermittlungsprozess wird im folgenden Flussdiagramm dargestellt:

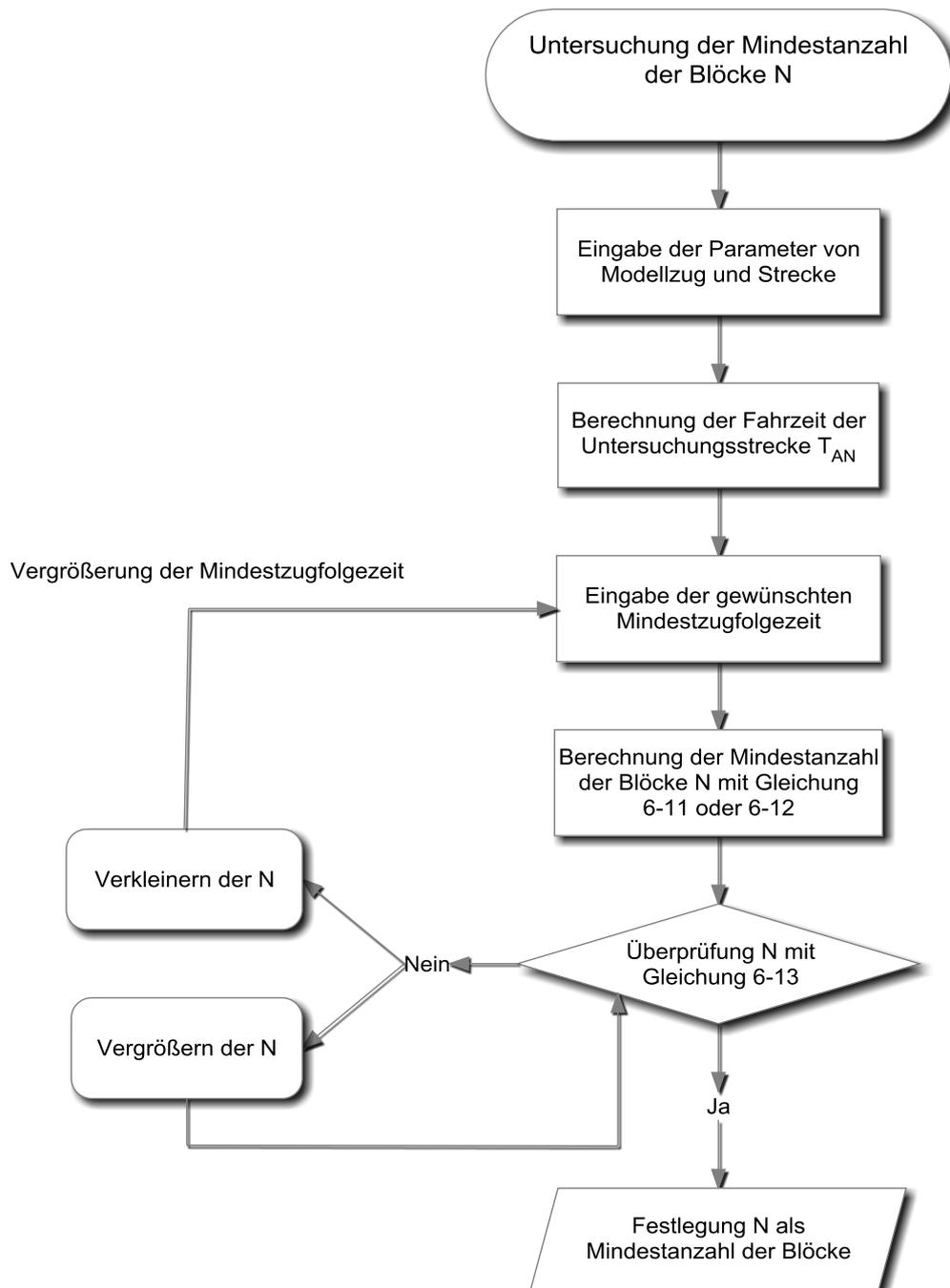


Abbildung 6-12 Ermittlungsprozess im Flussdiagramm

Mit einem Beispiel in Anhang I kann nachwiesen werden, dass die vorherigen baulichen Maßnahmen zur Verkürzung der Blöcke auf die gleiche Mindestlänge von

800 m nicht optimale und wirtschaftliche Lösungen bringen. Außerdem haben die vorher überschlägig berechneten Zugfolgezeiten großen Einfluss auf die gesamten Investitionen und erhebliche Kosten erzeugt. Die richtige Ermittlung der Mindestzugfolgezeit ist nicht nur vorteilhaft für die optimale Ausnutzung der Bahnstrecke, sondern auch für die angemessenen Investitionen für die Infrastruktur.

## **6.6 Neue Berechnung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke für China**

Die Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke setzt sich aus der maximalen Zahl der zulässigen darauf fahrenden Züge in einem bestimmten Zeitraum unter vorgegebenen betrieblichen Randbedingungen zusammen.

### **6.6.1 Gegenwärtig angewendetes Verfahren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke**

Im Abschnitt 4.2 wurde das gegenwärtig in China angewendete Verfahren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Strecke bzw. der max. zulässigen Anzahl der darauf fahrenden Züge vorgestellt, das Verfahren wird basierend auf dem Abzugsfaktor und unter der Berücksichtigung der Mindestzugfolgezeit entwickelt. Die Genauigkeit des Verfahrens kann nur unter den Voraussetzungen bewiesen werden, dass z. B. die Durchführung der Zugfolge strikt nach Fahrplan, die betriebenen Bahnanlagen ohne Störungen und mit Zügen ohne Verspätungen erfolgt. In der Praxis sind aber alle obengenannten Voraussetzungen unmöglich gewährleistet, da der Bahnbetrieb in der Realität unter erheblichen Unwägbarkeiten leidet und Bahnanlagenstörungen und Verspätungen von Zügen nicht vermieden werden können.

Das Verfahren mittels Abzugsfaktor ist eine statische und definitive Methode, um die maximalen Fähigkeiten von Bahnanlagen darzustellen. Bei Berechnungsergebnissen mittels definitiver Weise ist die max. Leistungsfähigkeit ein Idealfall und tatsächlich nur schwer realisierbar. Wenn sie in der Praxis als Standardwert betrachtet werden, könnten sie die Überbeanspruchung der Bahnstrecke verursachen und die Wahrscheinlichkeit der Zugsverspätungen vergrößern sowie die Betriebsqualität verschlechtern. Der daraus entstandene starrere Fahrplan ist natürlich wegen der Zugfolge mit der vorgeschriebenen Mindestzugfolgezeit nicht regulierbar und nicht anpassungsfähig. Um diese Probleme zu lösen, wird seit 1990 der empirische Abzugsfaktor „Abzugsfaktor von Reisezug als Maßstab auf zweigleisiger Strecke mit Drei-Aspekt-Signalisierung“ [Mtn90] in der Praxis durchgeführt. Die empirischen Abzugsfaktoren waren dem Betriebszustand gut angepasst, weil es damals sehr wenige Rz im Betrieb gab.

In Abschnitt 6.5 wurde das in China angewendete Verfahren zur Berechnung der Mindestzugfolgezeit vorgestellt und die Genauigkeit des Verfahrens analysiert. Die im Fahrplan eingelegte „Mindestzugfolgezeit“ ist dabei in den meisten Fällen zu groß. Die ungenaue Ermittlung der Mindestzugfolgezeiten und ihre Anwendung haben natürlich die Leistungsfähigkeit stark beeinflusst. Des Weiteren ist die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse der Zugfolgezeit stark mit den empirischen Abzugsfaktoren [Mtn90] in Tab. 4-5 verbunden, die auf den Voraussetzungen basieren, dass die Zugfolgezeit 6-12 min beträgt, der Güterverkehr das Kerngeschäft der Bahn ist und die Zahl der Personenzüge weniger als 60 Züge/Tag aufweist. Die Zahl der Personenreisezüge nimmt jedoch in China jährlich rasch im Betrieb zu und das Kerngeschäft von der Bahn ist nicht mehr wie in der Vergangenheit nur der Güterverkehr. Wenn der Anteil der Personenzüge auf der Bahnstrecke umgekehrt größer als der Anteil der Güterzüge wäre, ergibt sich die Fragestellung: Sollen hier die Güterzüge wegen der Einlegung bzw. Beeinflussung der Personenzüge von dem Fahrplan abgezogen werden oder umgekehrt? In einigen Streckenabschnitten sind die Auslastungen der Strecken theoretisch gesättigt bzw. übersättigt wegen der gebündelten Zugfolge der Personenzüge, sodass sich die Genauigkeit der empirischen Abzugsfaktoren nicht an die Situation und die potenzielle Entwicklung der chinesischen Eisenbahn anpassen lässt.

Das Untersuchungsverfahren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit in Deutschland wurde bereits in Abschnitt 4.3 dargestellt. Das Verfahren basiert auf der Warteschlangentheorie, die einen Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit einer Eisenbahnstrecke und den in einer Warteschlange wartenden Zügen herstellt. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Einbruchsverspätungen  $w_e=N_e/N$ , die mittlere Einbruchsverspätung bezogen auf die verspäteten Züge  $\rho_m=p/N_e$  [min/verspäteter Zug] und die mittlere durchschnittliche Zugfolgezeit  $\overline{mint}_z$  sind stochastische Beeinflussungen im Bahnbetrieb. Die von der Eisenbahnverkehrspolitik entschiedenen Betriebsstrategien beeinflussen die Betriebsqualität. Die Leistungsfähigkeit ist nicht konstant, sondern von der Betriebsqualität und der Infrastruktur abhängig und kann wegen der stochastischen Beeinflussungsfaktoren genauer den Bedarf am Transportmarkt darstellen, um die Entwicklung im Eisenbahnverkehr der Volkswirtschaft anzupassen. Wenn diese auf der Warteschlangentheorie zur Ermittlung einer bestimmten Leistungsfähigkeit basiert, kann mit der Anwendung der „Pufferzeit“ die Konstruktion des Fahrplans flexibel und adjustierbar sein.

Durch Vergleiche und Bewertungen ist das basierend auf der Warteschlangentheorie entwickelte Verfahren vorteilhaft für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Strecke. Der Kern des Verfahrens ist die Ermittlung der durchschnittlichen Zugfolgezeit  $\overline{mint}_z$ . Die Wahrscheinlichkeit der Zugfolge wird einseitig von den Proportionen der Anzahl der Modellzüge entschieden, mit der gerechneten Wahrscheinlichkeit und der Zugfolgezeit in verschiedenen Folgefällen kann die durchschnittliche Zugfolgezeit ermittelt werden. Im Abschnitt 5.1.1 wurden die Merkmale des Personenfernverkehrs in China dargestellt. Die chinesische Eisenbahn bündelt ihre Produkte im Fernverkehr nach ihrer Reiseweite in zwei Zeitscheiben „Sonnenaufgang“ und „Sonnenuntergang“, indem die Wahrscheinlichkeit der Zugfolge aufgrund der Produktstrategien manuell geändert und nicht mehr nur von den Proportionen der Modellzüge abhängig ist. Die durchschnittliche Zugfolgezeit, die mit der durch die Proportionen der Anzahl der Modellzüge ermittelten Wahrscheinlichkeit festzulegen ist, ist wegen der manuellen Beeinflussung der Wahrscheinlichkeit der Zugfolge von der tatsächlichen Größe abweichend.

### 6.6.2 Vorschläge für ein Verfahren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke

Die Grundlage des Verfahrens ist, dass die Ermittlung der durchschnittlichen Zugfolgezeit in einem Zeitraum mit Berücksichtigung der Anteile der Modellzüge und der feststellbaren Wahrscheinlichkeit der Zugfolge von gebündelten Fernreisezügen ist.

Im Folgenden wird mit einem Beispiel die Berechnung der Zugfolgezeit mit vorgeschlagenen Verfahren dargestellt. Zuerst sollen die im Fahrplan laufenden Züge als Modellzüge klassifiziert werden, die Proportionen der Anzahl der Modellzüge können auch berechnet werden.

Modellzug	$Z_1, Z_2, Z_3$
Anzahl der Modellzüge	$n_1, n_2, n_3$
Die Anteile der Modellzüge	$Z_1 \% = n_1 / (n_1 + n_2 + n_3),$ $Z_2 \% = n_2 / (n_1 + n_2 + n_3),$ $Z_3 \% = n_3 / (n_1 + n_2 + n_3),$  <i>Mit <math>Z_1 \% + Z_2 \% + Z_3 \% = 100 \%</math></i>  $(Z_1) \% = n_1 / (n_1 + n_2)$ $(Z_2) \% = n_2 / (n_1 + n_2)$

Danach wird die Zugfolgezeit in den verschiedenen Zugfolgefällen berechnet.

Zugfolgezeit  $t_{zf,z1z1}, t_{zf,z1z2}, t_{zf,z1z3}, t_{zf,z2z2}, t_{zf,z2z1}, t_{zf,z2z3}, t_{zf,z3z1}, t_{zf,z3z2}, t_{zf,z3z3}$

Berechnung der Wahrscheinlichkeiten der Zugfolge nach den Proportionen der Modellzüge.

Vorfahrend	nachfahrend		
	Z <sub>1</sub> (n <sub>1</sub> )	Z <sub>2</sub> (n <sub>2</sub> )	Z <sub>3</sub> (n <sub>3</sub> )
Z <sub>1</sub> (n <sub>1</sub> )	n <sub>1</sub> *n <sub>1</sub>	n <sub>1</sub> *n <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> *n <sub>3</sub>
Z <sub>2</sub> (n <sub>2</sub> )	n <sub>2</sub> *n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub> *n <sub>2</sub>	n <sub>2</sub> *n <sub>3</sub>
Z <sub>3</sub> (n <sub>3</sub> )	n <sub>3</sub> *n <sub>1</sub>	n <sub>3</sub> *n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub> *n <sub>3</sub>
$\Sigma = n_1*n_1 + n_1*n_2 + n_1*n_3 + n_2*n_1 + n_2*n_2 + n_2*n_3 + n_3*n_1 + n_3*n_2 + n_3*n_3$			
Vorfahrend	nachfahrend		
	Z <sub>1</sub> (n <sub>1</sub> )	Z <sub>2</sub> (n <sub>2</sub> )	Z <sub>3</sub> (n <sub>3</sub> )
Z <sub>1</sub> (n <sub>1</sub> )	n <sub>1</sub> *n <sub>1</sub> /Σ	n <sub>1</sub> *n <sub>2</sub> /Σ	n <sub>1</sub> *n <sub>3</sub> /Σ
Z <sub>2</sub> (n <sub>2</sub> )	n <sub>2</sub> *n <sub>1</sub> /Σ	n <sub>2</sub> *n <sub>2</sub> /Σ	n <sub>2</sub> *n <sub>3</sub> /Σ
Z <sub>3</sub> (n <sub>3</sub> )	n <sub>3</sub> *n <sub>1</sub> /Σ	n <sub>3</sub> *n <sub>2</sub> /Σ	n <sub>3</sub> *n <sub>3</sub> /Σ

Tabelle 6-6 Matrix zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten der Zugfolgefälle

Es erfolgt eine manuelle Eingabe der Wahrscheinlichkeit von gebündelter Zugfolge, wenn die Wahrscheinlichkeiten der Zugfolge in dem Untersuchungszeitraum schon bekannt gegeben sowie feststellbar sind. Es wird im Beispiel der Modellzüge Z<sub>3</sub> ihr Zugfolgefall Z<sub>3</sub>-Z<sub>3</sub> mit der Höhe a % angegeben.

$$n_3*n_1/\Sigma + n_3*n_2/\Sigma + n_3*n_3/\Sigma = n_1*n_3/\Sigma + n_2*n_3/\Sigma + n_3*n_3/\Sigma = Z_3 \% = n_3/(n_1+n_2+n_3)$$

$$a \% \leq Z_3 \%$$

Die Wahrscheinlichkeit im Zugfolgefall Z<sub>3</sub>-Z<sub>3</sub> wird mit a % in der Matrix angegeben, die Anteile des Modellzuges Z<sub>3</sub> bleibt ohne Veränderung, daher müssen die Wahrscheinlichkeiten von Zugfolgefällen Z<sub>1</sub>-Z<sub>3</sub>, Z<sub>2</sub>-Z<sub>3</sub>, Z<sub>3</sub>-Z<sub>1</sub>, Z<sub>3</sub>-Z<sub>2</sub> basierend auf ihren Proportionen entsprechend der Anzahl des Modellzuges Z<sub>1</sub> und Z<sub>2</sub> korrigiert werden.

$$\text{Zugfolgefall } Z_3\text{-}Z_1 \text{ und } Z_1\text{-}Z_3 \quad (Z_3 \% - a \% ) * (Z_1) \%$$

$$\text{Zugfolgefall } Z_3\text{-}Z_2 \text{ und } Z_2\text{-}Z_3 \quad (Z_3 \% - a \% ) * (Z_2) \%$$

Die Wahrscheinlichkeiten, die von Modellzug Z<sub>3</sub> beeinflusst und neu berechnet wurden, wurden in die Matrix in Tab. 6-6 eingetragen. Damit erhält man eine neue Matrix der Zugfolgewahrscheinlichkeiten.

Vorfahrend	Nachfahrend		
	Z <sub>1</sub> (n <sub>1</sub> )	Z <sub>2</sub> (n <sub>2</sub> )	Z <sub>3</sub> (n <sub>3</sub> )
Z <sub>1</sub> (n <sub>1</sub> )	$n_1 \cdot n_1 \cdot (1 - 2 \cdot Z_3 \% + a \%) / (\Sigma)$	$n_1 \cdot n_2 \cdot (1 - 2 \cdot Z_3 \% + a \%) / (\Sigma)$	$(Z_3 \% - a \%) \cdot (Z_1) \%$
Z <sub>2</sub> (n <sub>2</sub> )	$n_2 \cdot n_1 \cdot (1 - 2 \cdot Z_3 \% + a \%) / (\Sigma)$	$n_2 \cdot n_2 \cdot (1 - 2 \cdot Z_3 \% + a \%) / (\Sigma)$	$(Z_3 \% - a \%) \cdot (Z_2) \%$
Z <sub>3</sub> (n <sub>3</sub> )	$(Z_3 \% - a \%) \cdot (Z_1) \%$	$(Z_3 \% - a \%) \cdot (Z_2) \%$	<b>a %</b>

Mit  $(\Sigma) = n_1 \cdot n_1 + n_1 \cdot n_2 + n_2 \cdot n_1 + n_2 \cdot n_2$

Die Zugfolgezeiten jedes Zugfolgefalls sind schon vorher berechnet, sodass die durchschnittliche Zugfolgezeit  $\overline{\text{mint}}_z$  berechnet werden kann.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Einbruchsverspätungen  $w_e = N_e / N$  und die mittlere Einbruchsverspätung bezogen auf die verspäteten Züge  $p_m = p / N_e$  [min/verspäteter Zug] können durch die Erfahrungen aus der Praxis mit empirischen Größen vorgegeben werden. Die Berechnung von der ermittelten erforderlichen mittleren Pufferzeit  $\overline{r}_{\text{eff}}$  kann durch Begrenzung der Summe der Folgeverspätungen  $P_F$  mit Formel und Diagramm erfolgen.

Die Leistungsfähigkeit  $L_{\text{Str}}$  eines Streckenabschnitts kann mit der Gleichung ermittelt

$$L_{\text{str}} = \frac{T_{\text{ges}}}{\overline{\text{mint}}_z + r_{\text{eff}}} \text{ werden.}$$

Das Verfahren mit Abzugsfaktoren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit einer Bahnstrecke ist heutzutage für die Entwicklung der Eisenbahn in China nicht mehr geeignet. Die Genauigkeit von Abzugsfaktoren ist wegen der neuen Berechnung der Zugfolgezeiten, der Einlegung der Pufferzeiten und den jährlich zunehmenden Personenzügen unscharf und nicht für die Tätigkeit der Bahnarbeit wegweisend. Das auf der Warteschlangentheorie basierend entwickelte Verfahren benötigt mehr Anpassungsfähigkeiten und Korrekturen in der Realität. Durch die Nachbesserung bei den Aufteilungen der Zugfolgewahrscheinlichkeiten im Hinblick auf die chinesischen Besonderheiten im Personenverkehr ist das vorgeschlagene Verfahren noch besser der Praxis des Bahnbetriebs in China anzupassen. Die damit ermittelte Leistungsfähigkeit kann die Durchführbarkeit eines Betriebsprogramms und die Dimensionierung von Infrastruktur überprüfbar machen.

## **6.7 Reform und Reorganisation von Verwaltung und Betrieb der chinesischen Bahn**

Eine verbesserte Entwicklung des Eisenbahnverkehrswesens und eine weitere Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes verspricht sich China von der Bahnreform.

Seit 1998 hat MOR erstmals eine Reform „Ordnung der Haftung für das Vermögensmanagement“ in einigen Regionaldirektionen begonnen und anschließend nach einem Jahr in der ganzen chinesischen Eisenbahnbranche umgesetzt, um seinen Haushaltssaldo zu reduzieren oder sogar zu vermeiden. Diese Reform hat eine neue Situation im Betriebsmanagement gestaltet: „Indikatoren zu jeder Person, Kalkulation für jedes Team, Überprüfungen für jeden Arbeitsplatz“. Damit wurde eine durchgreifende Reduzierung der Verluste herbeigeführt. Obwohl die Reform damals sehr bedeutete Leistungen zur Bahnentwicklung ermöglicht hat, enthielt sie noch latente Probleme wie beispielsweise, dass jeder Mitarbeiter und jede Abteilung sich für die Leistungen verantworten und dafür haften muss. In den Bahnarbeitstätigkeiten überbetont sie nur ihre eigenen Interessen und Leistungen, die Infrastruktur sind meistens nicht optimal ausgelastet und die Personalbesetzungen sind redundant organisiert. Die Bahnreform ist unvollkommen und nicht gründlich.

Nach einem intensiven Dialog hat das DRC (Development Research Center of the State) des Staatsrates der V. R. China auf eine Zusammenfassung der Bahnreform hingewiesen [Dev02]: „Nur durch die Abschaffung des Staatsmonopols, Einführung des wettbewerbsfähigen Marketings und vollständige Reform des Organisationssystems kann die Entwicklung des Eisenbahntransports weiterhin durchgeführt werden.“

Um das Ziel der Entwicklung der modernen Eisenbahn insbesondere zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecke in China zu verwirklichen, sollen die folgenden Ziele der Bahnreform verfolgt werden:

- Trennung der Regierungs- und Unternehmensaufgabe bei MOR. MOR soll nur für die Industriepolitik, Regulierungsaufgaben und staatliche Vermögensverwaltung verantwortlich sein. Umwandlung der chinesischen Staatseisenbahn in ein privates Unternehmen. Aufteilung der Betreiber von Bahninfrastruktur und der Betreiber des Bahntransports. Die Konstruktion des Fahrplans ist nach den Nachfragen von EVU und mit bestimmten Verfahren festzulegen, wenn Konflikte mit Konkurrenzunternehmen auf den gewünschten Fahrplantrassen auftreten.

- Die EVU und die EIU sollen eine selbstständige Gewerbebefugnis haben. Förderung des positiven Wettbewerbs innerhalb des Bahnsektors, der Wettbewerb zwischen EVU oder EIU soll effizientere Leistungen hervorbringen.
- Begründung einer selbstständigen Verwaltungsorganisation für die Eisenbahn, deren Aufgaben sind: Zulassung für die EVU und EIU; Aufsicht über die Konkurrenz, die Preise und die Sicherheit des Bahnbetriebs; Modernisierung und Gesetzgebung der eisenbahnbetrieblichen Theorien, technischen Richtlinien und Ordnungen.
- Reform des Verwaltungssystems der staatseigenen Vermögen: Die Aufgaben von MOR bzw. der Regierung, die Investitions- und Entscheidungsträger der politischen Strategie und Aufsicht sind, sollen in verschiedenen Abteilungen gliedert werden.

## **7 Anwendung der entwickelten Maßnahmen auf der Untersuchungsstrecke**

Das Ziel des Kapitels besteht in der beispielhaften Anwendung der betrieblichen Maßnahmen auf der Eisenbahnstrecke zwischen den Städten Shanghai und Nanjing in dem Bezirk YRD (Yangtse River Delta wirtschaftlicher Kreis) zur Überprüfung der Plausibilität und Auswirkungen. Dieser praxisnahe Einsatz wird zunächst mithilfe synchroner Simulationen überprüft, abschließend werden die Ergebnisse bewertet.

### **7.1 Darstellung der Versuchsstrecke**

#### **7.1.1 Verlauf**

Am 01. April 1907 wurde die eingleisige Bahnstrecke „Hu-Ning“, die die Städte Shanghai und Nanjing verbinden kann, von dem englischen Unternehmen „Jardine Matheson Holdings“ in Betrieb genommen, und bis 1929 betrieben. Die Fahrzeit zwischen den zwei Städten dauerte damals 10 Stunden.

Im Zweiten Weltkrieg und im chinesischen Bürgerkrieg wurde die Strecke schwerwiegend zerstört, nach dem Krieg im Jahr 1949 war sie nach 12 Jahren wieder im Betrieb. Anschließend wurde die Strecke in den 1950er Jahren renoviert und modernisiert. Um die Streckenleistungsfähigkeit zu erhöhen, wurde im Jahr 1986 das zweite Gleis zwischen Shanghai und Nanjing vollständig trassiert, auf dem die zulässige Geschwindigkeit des Zuges 120 km/h betrug.

Von 1995 bis 2006 wurden viele bauliche Maßnahmen auf der Strecke zur Erhöhung der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit durchgeführt. Nach der vollständigen Elektrifizierung in 2006 ist diese Strecke durchlaufend mit der Geschwindigkeit von 160 km/h befahrbar. Außerdem können die modernen Triebzüge auf über 50 % des „Hu-Ning- Abschnittes“ mit 200 km/h und sogar auf einigen Streckenabschnitten mit 250 km/h im Betrieb sein. Entlang dem 301 km langen „Hu-Ning- Abschnitt“ sind insgesamt 42 Betriebsstellen auf der Linie verteilt, davon 15 Personenbahnhöfe und 2 Rangierbahnhöfe. Nach der Einstellung des Betriebs der Regionalbahn, die vorher mit der 4-stelligen Nummer 7xxx bezeichnet und von der Regionaldirektion Shanghai MOR mit hohen Verlusten betrieben wurde, sind zurzeit nur 8 Bahnhöfe als Personenbahnhöfe auf dem „Hu-Ning-Abschnitt“ im Betrieb: Nanjing, Zhenjiang, Danyang, Changzhou, Wuxi, Suzhou, Kunshan und Shanghai. Von diesen 8 Bahnhöfen werden Nanjing, Wuxi, Suzhou und Shanghai wegen ihrer hohen Verkehrsströme als Hauptbahnhöfe bezeichnet.

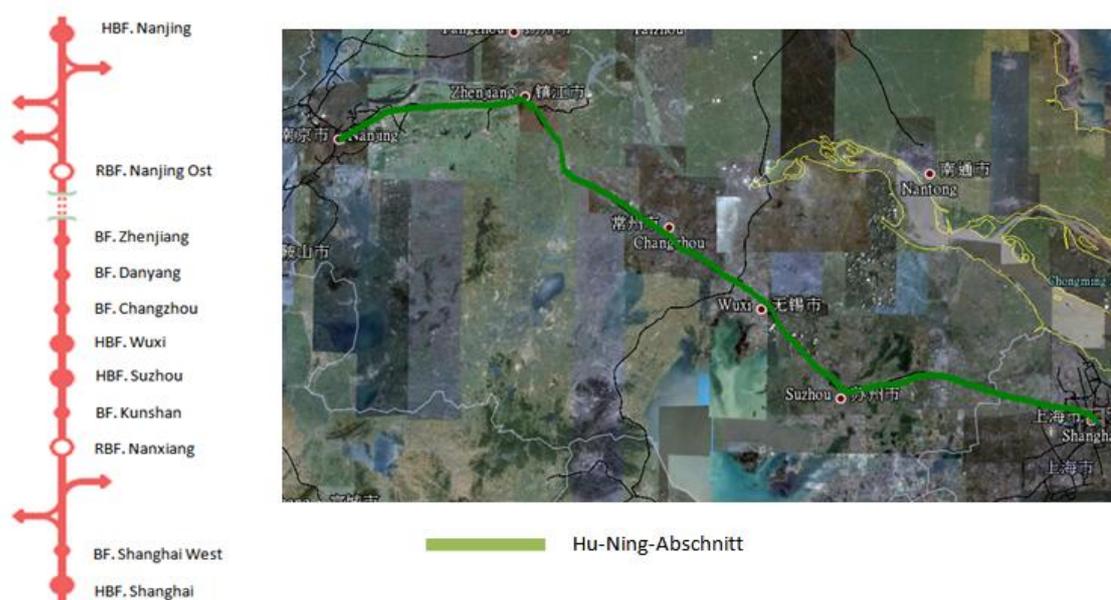


Abbildung 7-1 Aufriss der Strecke „Hu-Ning-Abschnitt“ und Darstellung der Lage auf Google Earth©

Die zweigleisige und 301 km lange Bahnstrecke „Hu-Ning“ ist seit 2007 ein Teilabschnitt der Verbindung der „Jing-Hu-Linie“ zwischen den zwei Metropolen Peking und Shanghai. Aufgrund ihrer Lage im Bereich des YRD ist sie heutzutage eine der voll belastetsten Strecken in China und gehört zum Verwaltungsbereich der Regionaldirektion Shanghai.

### 7.1.2 Technik und Betrieb

Die Untersuchungsstrecke „Hu-Ning-Abschnitt“ ist durchgängig mit der Vier-Aspekte-Signalisierung ausgerüstet, damit die Lokomotivführer über die Geschwindigkeiten und die Fahrterlaubnis mittels des Grün/Gelb-Signals informiert sind, bis zum Gelbsignal die zulässige Geschwindigkeit erreichen und vor dem Rotsignal die Züge dann halten können. Darüber hinaus sollen die Triebzüge wegen ihrer max. Geschwindigkeit von 250 km/h noch zusätzlich die Digitalanzeige im Führerstand berücksichtigen.

Bei der Vier-Aspekte-Signalisierung wurden die Blöcke zwischen den ortsfesten Signalen im durchschnittlichen Abstand von etwa 1,3 km eingerichtet. Die Strecke wurde 2006 vollständig mit Wechselstrom 25 kV elektrifiziert. Zur Gleisfreimeldung kommen Tonfrequenz-Gleiskreise „ZPW-2000A“ zum Einsatz, die auf der importierten Technik „UM71“ basieren und zur Lokalisierung mit eigenem Charakter entwickelt sind.



Abbildung 7-2 ein CRH fährt auf der Bahnstrecke „Hu-Ning-Abschnitt“ (Quelle: Xinhua News Agency)

Die ausgebaute Bahnstrecke wird planmäßig von Personenverkehrs- und Güterzügen befahren. Wegen der großen Nachfrage von Reisenden steht die Strecke zwischen 05:00 und 19:00 Uhr vorrangig den Zügen des Personenverkehrs zur Verfügung, in der übrigen Zeit fahren noch die Güterzüge auf der Bahnstrecke. Außerdem gibt es zwei Wartungsfenster im Fahrplan für die Durchführung der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten.

### 7.1.3 Probleme

In den vergangenen 30 Jahren hat China seine wirtschaftliche Öffnung erfolgreich in der Stadt Shanghai durchgeführt. Das Ballungsgebiet YRD wurde mit der Stadt Shanghai als Zentrum gleichzeitig entwickelt. Das YRD besteht aus insgesamt 22 Städten und ist die größte wirtschaftliche Einflusszone in China. Die Gesamtnachfrage und das Angebot in dem Gebiet entsprechen 20 % des chinesischen Bruttoinlandsproduktes. Außer dem Zentrum Shanghai gibt es noch die fünf Städte Nanjing, Suzhou, Hangzhou, Ningbo und Wuxi als untergeordnete Zentren im YRD.

Vor der Eröffnung der CHGS „Hu-Ning“ im Juli 2010 war die Untersuchungsstrecke „Hu-Ning-Abschnitt“ die einzige Bahnstrecke zwischen Shanghai und Nanjing, die die vier Zentren Shanghai, Suzhou, Wuxi und Nanjing mit der Eisenbahn verbunden hat. Die Nachfrage nach Bahnangeboten wuchs aber und die verfügbaren Personenzüge konnten nicht den Bedarf decken. Die Belastung der Strecke des „Hu-Ning-Abschnitts“ weist laut einer öffentlichen Erklärung schon eine „Überbeanspruchung“ auf. Um die Konflikte zwischen der Nachfrage und dem Angebot zu lösen, hat die Regierung 2005 entschieden, eine neue parallele CHGS zwischen Shanghai und Nanjing zu bauen. Obwohl die bauliche Maßnahme die Leistungsfähigkeit des Bahnnetzes in YRD natürlich stark erhöhen kann, verursacht sie erhebliche Kosten. Außerdem erzeugen die Einsätze der modernen Hochgeschwindigkeitszüge noch zusätzliche Kosten, die teilweise von den Fahrgästen über die Fahrpreise getragen werden sollen.

Im vorangehenden Kapitel 6 wurden auf theoretischem Weg die betrieblichen Maßnahmen nachgewiesen, wonach die chinesische Eisenbahn durch die Harmonisierung der Züge und die Verkürzung der Zugfolgezeit ihre Leistungsfähigkeit ohne große Investitionen in bauliche Maßnahmen erheblich erhöhen kann. Außerdem kann durch die optimierte Fahrplankonstruktion die Reisegeschwindigkeit der Fernverkehrszüge, die niedrigere Prioritäten haben, auf zufriedenstellendem Niveau gehalten werden. Die angewendeten Maßnahmen werden mithilfe synchroner Simulationen in ihren betrieblichen Auswirkungen nachgewiesen.

## 7.2 Simulationsmodell

Für die Modellierung der Infrastruktur und die Durchführung der Fahrplansimulation wird ein „Werkzeug“ benötigt. In dieser Arbeit wurde das Simulationsmodell RailSys<sup>®</sup> als „Werkzeug“ benutzt. Durch die exakte Modellierung der Infrastruktur, des Sicherungssystems, der Eisenbahnzüge und des Fahrplans können die praxisnahen Evaluierungen mit dem Rechner anschaulich dargestellt werden.

Das am Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und –betrieb der Leibniz Universität Hannover entwickelte synchrone Modell RailSys<sup>®</sup> ist ein Trassen- und Infrastrukturenmanagementsystem mit einer integrierten netzweiten Fahrplan- und Betriebssimulation. Es besteht aus drei Komponenten, nämlich dem Infrastrukturmanager, dem Fahrplantrassen- und Simulationsmanager und dem Auswertungsmanager.

Mit dem **Infrastrukturmanager** können die Infrastrukturdaten, also Eisenbahnstrecken, Signale und alle weiteren benötigten Elemente der mikroskopischen Infrastrukturplanung bis auf den Meter genau eingegeben und verwaltet werden. Im Infrastrukturmanager können auch verschiedene Sicherungssysteme eingebaut werden.

Das RailSys-Modul „**Fahrplantrassen- und Simulationsmanager**“ besteht aus dem Fahrplantrassen- und Baubetriebsmanager und der Fahrplan- und Betriebssimulation. Im Fahrplantrassen- und Baubetriebsmanager kann man auf einfache und schnelle Weise Züge auf dem Streckennetz eingeben und darüber hinaus ein schnelles "Ausprobieren" verschiedener Varianten erzeugen. Die zeitweise Streckensperrung eines Teilabschnittes und eine sehr zügige Kontrolle des Fahrplans auf Konfliktfreiheit sind damit ermöglicht.

Im Fahrplan- und Simulationsmanager gibt es anschließend an die Fahrplankonstruktion die Möglichkeit, das vorher ausgewählte Betriebsprogramm zu

simulieren. Alle Zugbewegungen können auf dem Streckennetz wie in der Realität durch die Signale, Weichen und Baustellenbetrieb beeinflusst werden.

Die Ergebnisse einer Betriebssimulation können mit dem **Auswertungsmanager** in verschiedenen grafischen und tabellarischen Ausgaben ausgewertet werden. Die Säulendiagramme mit der Verspätungsverteilung können automatisch dargestellt werden. Eine Darstellung der Verspätungsentwicklung in der Netzansicht ist möglich.

### 7.2.1 Modellierungen der Infrastruktur

Die Qualität der Ergebnisse einer Untersuchung hängt maßgeblich von der Schärfe der Eingangsdaten ab. Die Modellierungen der Infrastruktur basieren auf der Freigabe der Daten der „College of Transportation Engineering, Tongji University“ und der „Shanghai Regionaldirektion, MOR“. Die technischen Parameter der Lokomotiven und Triebzüge sind laut der Informationen des Herstellers CSR [CSR10] und CNR [CNR10] und der EDV-Programme zur Berechnung der Zugkraft von Lokomotiven aus dem Haus „China Academy of Railway Sciences“ [EPZ10]. Die Daten können als Referenzen in der Forschung angewendet werden und ihre Genauigkeit ist plausibel.

km.	Bez.	Name	Abstand	km.	Bez.	Name	Abstand	km.	Bez.	Name	Abstand				
1150,7	HBF	Nanjing	---	1287,2	PBF	Changzhou	----	1402,7	PBF	Kunshan	---				
1157,1	BS	64,1 km		1289,3	BS	38,9 km		1412,0	BS	49,3 km					
1160,8	RBF			1293,3	BS			1424,9	BS						
1162,4				1298,1	BS			1430,9	BS						
1163,3				1304,5	BS			1437,1	BS						
1170,1	BS			1312,4	BS			1440,2	RBF						
1178,6	BS			1318,4	BS			1443,4	BS						
1189,2	BS			1326,1	HBF			Wuxi	----			1446,9	BS		
1201,5	BS			1331,7	BS			42,3 km				1452,0	HBF	Shanghai	---
1207,9	BS			1336,8	BS										
1214,8	PBF			Zhenjiang	---							1342,4	BS		
1217,8	BS			27,9 km								1348,3	BS		
1229,7	BS	1356,0	BS												
1242,7	PBF	Danyang	---	1361,8	BS										
1251,5	BS	44,5 km		1368,4	HBF	Suzhou	----								
1261,5	BS			1377,4	BS	34,3 km									
1269,2	BS			1385,6	BS										
1277,9	BS			1393,2	BS										
1287,2	PBF	Changzhou	---	1402,7	PBF	Kunshan	----								

Tabelle 7-1 Kilometrierung der Betriebsstellen entlang der Untersuchungsstrecke

Die Bahnstrecken wurden genau unter Berücksichtigung der zulässigen Geschwindigkeiten und des Neigungsbandes auf zwei Gleisen im Linksverkehr abgebildet, durch vereinfachte Definition wurden die Strecken vollständig mit Elektrifizierung ausgerüstet, das Kürzel der Strecke in RailSys® ist „nj-sh“. Das

angewendete Vier-Aspekt-Signalsystem kann durch den Einsatz der Mehrabschnittssignalisierungen annähernd abgebildet werden. Die zulässigen Geschwindigkeiten für die Weichen wurden anhand der Tabelle 31 in [Rmt04] definiert. Innerhalb der Betriebsstelle sind die Nebengleise mit der Mindestlänge von 800 Metern angegeben, damit können die Güterzüge und die langsamen Züge auf dem Nebengleis halten und auf die komplette Räumung der schnellen Züge warten. Die Nummerierung der Nebengleise in den Betriebsstellen geschieht nach der Ordnung in [Rmt04], alle Betriebsstellen sind mit dem Kürzel in RailSys<sup>®</sup> definiert.

Die Gestaltungen der Modellzüge in RailSys<sup>®</sup> können nicht nur die technischen Eigenschaften darstellen, sondern auch die betrieblichen Änderungen der Prioritäten aufgrund der Verspätungen definieren. Diese Parameter können die Fahrzeit bzw. Belegungszeit eines Blockes ermitteln und eine automatische Disposition bei der Störung in der Simulation durchführen.

### **7.2.2 Konstruktion des IST-Fahrplanes in RailSys<sup>®</sup>**

Die Häufigkeit der Veränderung des landesweiten Fahrplans ist in China in der vergangenen Zeit sehr hoch und unregelmäßig, da viele Neubaustrecken in den letzten Jahren eröffnet wurden und viele neue moderne Züge im Betrieb eingesetzt sind. Nach der Inbetriebnahme der Strecken und Züge liegt die Servicefrequenz der Angebote im Personenverkehr auf hohem Niveau. Der in der Untersuchung angewendete Fahrplan wurde kurz nach dem Frühlingsfest 2008 veröffentlicht. Die wegen der hohen Nachfrage während der Reisesaison außerplanmäßig eingerichteten Personenverkehrstrassen stehen nicht im Fahrplan. Dieser Fahrplan wurde von der „Shanghai Regionaldirektion des MOR“ angeboten.

Nach der Durchführung der sechsten und auch der letzten landesweiten Geschwindigkeitserhöhung 2007 haben die zulässigen Geschwindigkeiten der vorhandenen Eisenbahnstrecken nicht mehr zugenommen, deshalb wurde der Fahrplan der gegenwärtig angewendeten Infrastruktur und dem Betriebszustand angepasst und kann ihn vollkommen abbilden.

Mit traditionellen Verfahren werden die Fahrplantrassen mit einer minimalen Einheit von 10 Minuten im Gitternetz mit geraden Linien gezeichnet. Im Abschnitt 6.5.1 wurden die Nachteile des Fahrplans dargestellt, wobei unscheinbare Konflikte bei einem kleinen Verspätungsfall, die im Fahrplan wahrscheinlich bestehen und nicht klar überprüfbar sind, jedoch negative Auswirkung im Betrieb haben können. In RailSys<sup>®</sup> würden diese genannten Probleme reibungslos gelöst werden, d. h., alle Fahrplantrassen würden in Sperrzeitentreppen dargestellt und somit würden Sperrzeitenüberschneidungen sicher verhindert.

Das Importieren des IST-Fahrplanes in RailSys® geschieht gemäß den originalen Dateien wie z. B. der Zugnummer, der Zugfolge und der angewendeten Zuggattung. Die Abfahrtszeit, die Ankunftszeit und die Haltezeit sind in sekundengenau abgebildet. Die Betriebsvariante „IST-Fahrplan“ wurde konfliktfrei in der Fahrtrichtung Nanjing nach Shanghai in RailSys® konstruiert.

Außerdem ist die Zugfolge ohne Division der Mindestpufferzeit im IST-Fahrplan angeordnet. In Abschnitt 6.5.1 wurde vorgeschlagen, dass die im chinesischen Bahnbetrieb vorgeschriebene „Mindestzugfolgezeit“ von 6 min in zwei Teile aufgeteilt werden kann, da die „Mindestzugfolgezeit“ im Vergleich zu der verlangten Größe zu hoch ist. Aus den 6 min sind 5 min theoretisch als „Mindestzugfolgezeit“ zur Gewährleistung der Zugfolgesicherheit und 1 min als Mindestpufferzeit zur Dämpfung der Folgeverspätung definiert. Die Eingabe der Mindestpufferzeit bzw. der Spaltung der „Mindestzugfolgezeit“ ist in RailSys® durch eine einfache Definition realisierbar, wegen der hoch vorgeschriebenen Zugfolgezeit ist die Mindestpufferzeit reibungslos zwischen zwei beliebigen Sperrzeitentrepfen einzufügen.

## **7.3 Analyse und Bewertung des IST-Fahrplanes**

### **7.3.1 Statistik des IST-Fahrplanes**

Im IST-Fahrplan sind 14 Fahrplantrassen von Güterzügen zwischen zwei Rangierbahnhöfen trassiert und 76 Personenzüge zwischen Hbf Nanjing nach Hbf Shanghai täglich im Betrieb, die auf der Untersuchungsstrecke komplett durchfahren. 25 CRH-Triebzüge mit dem Buchstaben „D“ sind als Pendlerzüge zwischen zwei Städten seit 2007 im Betrieb, die Fahrzeit wird knapp auf 2,5 h verkürzt. Die restlichen Personenzüge sind Fernverkehrszüge, von deren die meisten über 1.000 km fahren. Nachts zwischen 0:00 Uhr bis 4:00 Uhr fahren noch 17 Fernreisezüge über die Stadt Nanjing und weiter in Richtung Shanghai.

Darüber hinaus sind 18 Fahrplantrassen für die Güterzüge im IST-Fahrplan reserviert, die von RBF Nanjing-Ost abfahren und in den sechs Güterbahnhöfen entlang der Bahntrecke einfahren. Zur Verstärkung der morgendlichen sowie abendlichen Angebote sind 5 D-Züge zwischen Shanghai und den untergeordneten Zentren zusätzlich im Einsatz. Vom Startbahnhof fahren der Zug N 437 aus der Stadt Zhenjiang und der Zug K469 aus der Stadt Suzhou in der Richtung über Shanghai nach der Zielstadt. Die Strategie zur Konstruktion des IST-Fahrplans im Personenverkehr basiert auf Einzelfahrten und die Lage jeder Zugfahrt wird unabhängig von den anderen Zügen in dem Fahrplan mit einem sehr unharmonischen Betriebsprogramm festgelegt.

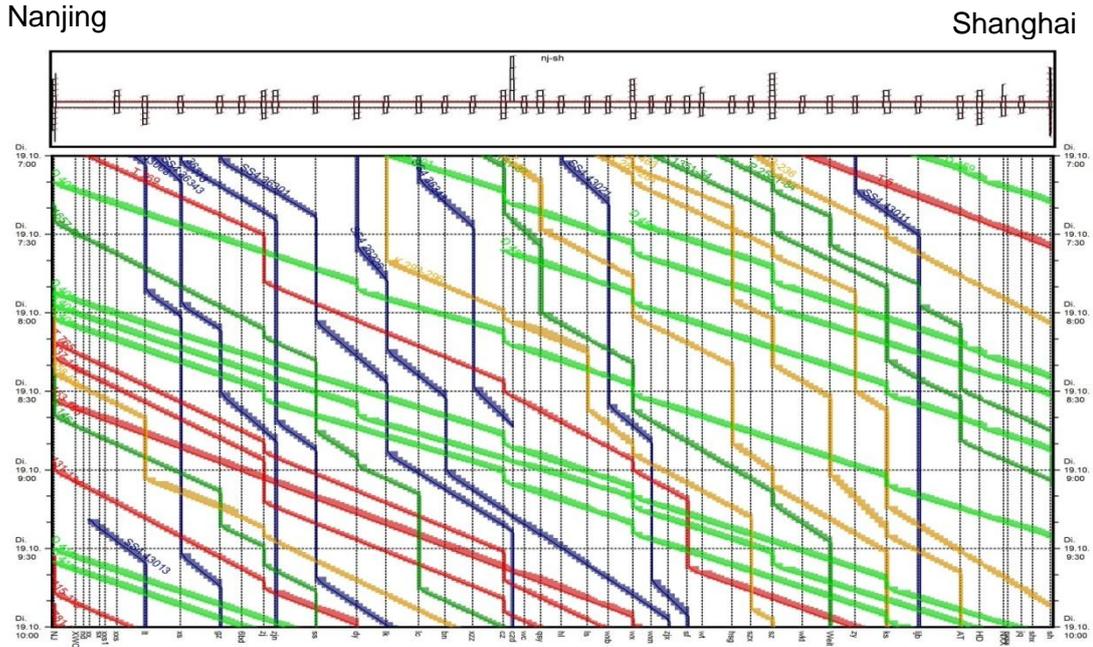


Abbildung 7-3 Betriebsprogramm IST-Zustand



Abbildung 7-4 Belastung der Untersuchungsstrecke

Die Personenzüge im Fahrplan bestehen aus 6 Zugklassen: dem D-Zug (Hochgeschwindigkeitszug), dem T-Zug (Express-Schnell-Zug), dem Z-Zug (Direkt-Express-Zug), dem K-Zug (schneller Zug), dem N-Zug (schneller Regionszug) und dem P-Zug (normaler Personenzug). Die Züge sind nach der Vorgabe in Tab. 2-4 als Modellzüge D, E, S, P zu klassifizieren. Die betrieblichen Merkmale der Modellzüge können durch statistische Verfahren mit durchschnittlicher Größe in der folgenden Tabelle dargestellt werden.

Modellzug	D	E	S	P
Durchschnittliche Fahrzeit [h]	2,23	3,12	4,73	5,03
Reisegeschwindigkeit [km/h]	134,9	96,4	63,6	59,8
Fahrpreis [€/km]	0,035	0,018	0,018	0,009
Mindestzugfolgezeit [min]	5	6	6	6

Tabelle 7-2 betriebliche Merkmale der Modellzüge

Außer Pendelzug D-Zug bieten die Fernverkehrszüge E-, S- und P-Zug das gleiche regionale Angebot auf die Strecke. Der Modellzug D hat eine kürzere Reisezeit und einem hohen Fahrpreis. Die Reisegeschwindigkeit von Modellzug S ist fast gleich wie bei Modellzug P, der Fahrpreis ist jedoch doppelt so hoch. Der Modellzug E und der Modellzug S haben zwar den gleichen Fahrpreis, allerdings weichen ihre Reisegeschwindigkeiten erheblich voneinander ab.

### 7.3.2 Berechnung der Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke

Um die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke zu erhöhen und die betrieblichen Maßnahmen durchzuführen, muss man zuerst nachweisen, ob die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke erhöht werden kann. In folgenden Abschnitt wird die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke mit den Abzugsfaktoren, der UIC-Kapazität und den in Abschnitt 6.6 vorgestellten Verfahren überprüft, berechnet und bewertet.

In der Arbeit wird der Streckenabschnitt zwischen dem Bahnhof Danyang und dem Güterbahnhof Changzhou Ost zur Berechnung der Leistungsfähigkeit genommen, da fast alle Züge im IST-Fahrplan auf dem Streckenabschnitt fahren und die Belastung auf diesem Abschnitt die maximale Größe in der Höhe von 109 Züge erreicht (zwischen Changzhou und Changzhou Ost).

#### Berechnung mit Abzugsfaktoren

In der Berechnung mit Abzugsfaktoren werden alle Güterzüge in diesem Beispiel in Güterzüge und Sammelgüterzüge grob aufgeteilt, sodass die Anzahl der Personenzüge, der Güterzüge und der Sammelgüterzüge in der folgenden Tabelle dargestellt werden kann.

Abschnitt	Personenzüge	Güterzüge	Sammelgüterzug	Summe
Danyang — Changzhou Ost	79	21	9	109

Tabelle 7-3 Anzahl der Züge auf dem Untersuchungsabschnitt

Die auf dem Untersuchungsabschnitt fahrenden Personenzüge haben höhere Geschwindigkeiten, weshalb die Berechnungen des durchschnittlichen Abzugsfaktors des Reisezugs nach der Gleichung 4-20 erfolgt:

$$E_{sr} = \alpha \varepsilon_{sr} = (1,07 - 0,0053 * n_{sr} + n_{sr}^2 * 10^{-5}) * \varepsilon_{sr}$$

Die Größe von  $\varepsilon_{sr}$  kann in Tabelle 4-1 abgelesen werden, die Mindestzugfolgezeit der Personenzüge beträgt 6 min, dann beträgt  $\varepsilon_{sr} = 2,8$ . Wenn die Anzahl der Reisezüge je 10 Züge zugenommen sind, wird dieser Wert von  $\varepsilon_{sr}$  je um 0,1 reduziert.

Wenn  $\alpha = 0,79$ , dann  $\varepsilon_{sr} = 2,3$

$$E_{sr} = 1,817$$

Umrechnung aller Züge in Güterzüge.

$$N = E_{sr} * n_{sr} + \varepsilon_G * n_G + \varepsilon_{sgz} * n_{sgz}$$

Mit  $\varepsilon_G = 1$ ,  $\varepsilon_{sgz} = 2,5$  aus Tabelle 4.4

$$N_{um} = 1,817 * 79 + 1 * 21 + 2,5 * 9 = 187,0 \text{ [Züge/Tag]}$$

Berechnung der Belastung der Strecke aus dem maximal möglichen erreichbaren Wert im symmetrischen Fahrplan.

Die Mindestfolgezeit von Güterzügen im IST-Fahrplan beträgt 7 min. Für die Wartungs- und Instandhaltungsarbeit wird die Strecke ab HBF Nanjing von 21:00 bis 23:00 Uhr und 4:00 bis 5:00 Uhr Schritt für Schritt als „Wartungsfenster“ gesperrt, die Züge können zwischen diesen Zeiten nicht auf der Strecke fahren. Diese Zeit kann als eine Summe in der Höhe 180 min berechnet werden.

Die max. Belastung der Strecke ist mit der Gleichung 4.4 zu ermitteln, für die zweigleisige Strecke kann der Wirkungsfaktor  $f_w$  als 0,88 genommen werden.

$$n = \frac{(1440 - T_l) * f_w * n_T}{T_T}$$

$$N = 0,88 * (1440 - 180) / 7 = 158,4 \text{ [Züge/Tag]}$$

Der Nutzungsgrad der Untersuchungsstrecke  $\eta_{Strecke}$  ist

$$\eta_{Strecke} = N_{um} / N$$

$$\eta_{Strecke} = 187,0 / 158,4 = 118,08 \%$$

Die Relation zeigt, dass die Strecke nicht nur voll belastet und überlastet ist. Der tatsächlich durchzuführende IST-Fahrplan ist nur durch eine Optimierung der Abzugsfaktoren zu verwirklichen.

### UIC-Kapazität

Mithilfe von RailSys® kann die UIC-Kapazität des Untersuchungsabschnittes einfach ermittelt werden. Unter Berücksichtigung der Sperrzeiten im Fahrplan beträgt der verkettete Belegungsgrad von 109 Zügen innerhalb eines Tageszeitraums knapp 55,0 % und der verkettete Belegungsgrad von 17 Zügen in der Hauptverkehrszeit (8:00 bis 11:00 Uhr) ungefähr 63,0 %.

In [UIC04] sind Richtwerte für die Obergrenze des Kapazitätsverbrauchs einer Eisenbahnstrecke definiert, sodass der Kapazitätsverbrauch der Strecken mit gemischtem Verkehr für den Tageszeitraum 60,0 % und für die Hauptverkehrszeit 75,0 % erreichen kann. Die im IST-Fahrplan ermittelte Kapazität hat noch Differenzwerte im Vergleich zu den Richtwerten.

### Mit entwickeltem Verfahren

Um die Belastung der Strecken ungefähr zu berechnen, wird im Beispiel die Länge des Blockabschnitts  $L_B$  mit durchschnittlichen Mittelwerten genommen. Der Überholungsgleisabstand  $L_U$  wird beim Abstand zwischen Bs. Sanshan und Bf. Danyang genommen, da der Abstand den längsten Überholungsgleisabstand auf der Untersuchungsstrecke hat. Darüber hinaus gibt es  $L_B = 1300$  m,  $L_U = 13000$  m, die Arbeitszeit des Zugleiters im Bahnhof bleibt unberücksichtigt  $t_{B,A} = 0$  s, die Sichtzeit  $t_{Sicht} = 12$  s, die Fahrstraßenbildezeit  $t_{Fb} = 12$  s und der Fahrstraßenauflösezeit  $t_{Fa} = 6$  s. Die technischen Daten der Modellzüge werden in Tabelle 7-4 vorgestellt.

Modellzug	D	E	S	P	G
Zul. Geschwindigkeit [km/h]	160*	160	140	120	100
Zuglänge [m]	400	500	500	500	800

\*Die Untersuchungsstrecke ist nicht vollständig mit 200 km/h trassiert.

Tabelle 7-4 Modellierung der Züge im IST-Fahrplan 24 h

Mit den vorgegebenen Daten können die Zugfolgezeiten mit dem in Abschnitt 6.2.3 dargestellten Empfehlungsverfahren in Sekunden berechnet werden:

	D	E	S	P	G
D	98	335	375	429	517
E	98	100	375	429	517
S	98	100	110	429	517
P	98	100	110	123	517
G	98	100	110	123	152

Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Zugfolgefälle. Die Anzahl der Züge ist nach IST-Fahrplan zwischen 8:00 bis 11:00 Uhr (HVZ) gegeben und es gibt insgesamt 17 Züge im Zeitraum.

		Ohne Änderung					
		D	E	S	P	G	
		5	6	2	2	2	Σ
D	5	0,087	0,104	0,035	0,035	0,035	0,294
E	6	0,104	0,125	0,042	0,042	0,042	0,353
S	2	0,035	0,042	0,014	0,014	0,014	0,118
P	2	0,035	0,042	0,014	0,014	0,014	0,118
G	2	0,035	0,042	0,014	0,014	0,014	0,118
Σ		0,294	0,353	0,118	0,118	0,118	
							$z_m=219\text{ s}$

		Mit Änderung					
		D	E	S	P	G	
		5	6	2	2	2	Σ
D	5	0,176	0,059	0,020	0,020	0,020	0,294
E	6	0,059	0,147	0,049	0,049	0,049	0,353
S	2	0,020	0,049	0,016	0,016	0,016	0,118
P	2	0,020	0,049	0,016	0,016	0,016	0,118
G	2	0,020	0,049	0,016	0,016	0,016	0,118
Σ		0,294	0,353	0,118	0,118	0,118	
							$z_m=204\text{ s}$

In der Berechnung sind die Zugfolgefälle D-D mit der Wahrscheinlichkeit 17,6 % gegeben, weil die D-Züge in den meisten Fällen gebündelt sind und aufeinanderfolgen und die Wahrscheinlichkeit der Zugfolgefälle D-D entsprechend erhöht werden kann. Im Untersuchungszeitraum sind 3 D-Züge von 5 D-Zügen im Zugfolgefall D-D, weshalb die Wahrscheinlichkeit bei  $0,294 \cdot (3/5) \cdot 100\% = 17,6\%$  liegt. Die anderen Wahrscheinlichkeiten der Zugfolgefälle sind nach der manuellen Änderung D-D neu zu berechnen.

Nach der Berechnung beträgt die mittlere Mindestzugfolgezeit  $z_m$  204 Sekunden. Für die Berechnung der Leistungsfähigkeit ist neben der mittleren Mindestzugfolgezeit noch die erforderliche mittlere Pufferzeit  $\overline{r_{\text{eff}}}$  zu ermitteln, das Leistungsvermögen der

Strecke im Bezugszeitraum kann mit der Gleichung  $L_r = \frac{d}{z_m + r_{\text{eff}}}$  berechnet werden.

Die Berechnung der erforderlichen Pufferzeit ist abhängig von den Einbruchsverspätungen, den Wahrscheinlichkeiten und der Summe der Folgeverspätungen usw., die Daten sind leider auf die Untersuchungsstrecke nicht vorhanden. Um das Problem zu lösen, kann mithilfe des betrieblichen Zustandes im IST-Fahrplan die Größe der erforderlichen Pufferzeit ungefähr überschlagen werden.

Obwohl der IST-Fahrplan nach der Berechnung mit Abzugsfaktoren „übersättigt“ ist, ist der Fahrplan noch ohne Schwierigkeiten durchführbar. Die Mindestzugfolgezeiten von Personenzügen und Güterzügen sind unterschiedlich im IST-Fahrplan mit 6 min und 7 min vorgeschrieben. Im Untersuchungszeitraum von 8:00 bis 11.00 Uhr sind insgesamt 17 Züge innerhalb auf dem Untersuchungsabschnitt im Betrieb, der

verkettete Belegungsgrad von den Zügen ist nach UIC-Verfahren ungefähr 63,0 % gerechnet, deshalb kann man die restliche Zeit als die Summe der Pufferzeit betrachten. Dadurch ist die durchschnittliche Größe der erforderlichen Pufferzeit mit Gleichung 7-1 grob zu schätzen, anschließend wird die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke ermittelt.

$$r_{\text{erf}} = \frac{(1-0,63) * 3 * 60}{n} \quad \text{Gleichung 7-1}$$

$$r_{\text{erf}} = \frac{(1-0,63) * 3 * 60}{n} = \frac{(1-0,63) * 3 * 60}{17} = 3,9 \text{ [min]}$$

$$L_f = \frac{3 * 60}{\frac{204}{60} + 3,9} = 24,7$$

Die Berechnungsergebnisse liegen bei 24,7 Zügen innerhalb von 3 Stunden. Diese theoretische Größe ist erheblich größer als die in der Praxis eingesetzten 17 Züge.

Durch die Berechnung der UIC-Kapazität und der Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke mit dem entwickelten Verfahren kann nachgewiesen werden, dass die Genauigkeit von Abzugsfaktoren heutzutage nicht der Realität in der Praxis angepasst ist und die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke noch erhöht werden kann.

## 7.4 Verbesserungskonzept

### 7.4.1 Analyse der Verkehrsnachfrage und Festlegung der Verkehrsangebote

Die Nachfrage nach Schienenverkehrstransporten ist von der Makroökonomie und der Anzahl der Bevölkerung in dem Gebiet anhängig. Der Zustand des wirtschaftlichen Aufbaus beeinflusst den Arbeitsmarkt und den Bedarf des Transports. In Abschnitt 6.4.2.3 wurde es erklärt und vorgeschlagen, dass die Konstruktion des Fahrplans die Verkehrsnachfrage und –Prognose berücksichtigen muss. In [Guo06] werden die prognostizierten regional beförderten Personen mit dem Schienenverkehr im Bezirk YRD analysiert. Die Nachfrage des Personenverkehrs wurde in folgender Tabelle als Referenz in Betracht gezogen.

Streckenabschnitt	Prognostizierte regionale Nachfrage im Bahnverkehr [1.000 Personen]		
	2010	2015	2020
Nanjing-Zhenjiang	21.060	26.820	32.560
Zhenjiang-Changzhou	23.410	29.560	35.530
Changzhou-Wuxi	26.000	34.360	42.710
Wuxi-Suzhou	26.540	35.800	45.140
Suzhou-Shanghai	24.500	31.590	38.670
<b>Summe</b>	<b>121.510</b>	<b>158.130</b>	<b>194.610</b>

Tabelle 7-5 Prognostizierte regionale Nachfrage im Bahnverkehr zwischen den Städten in YRD

Die Anzahl der verfügbaren Plätze pro Zug kann ungefähr mit 1.000 geschätzt werden. Nach der Berechnung kann die Anzahl der notwendigen Züge zur Abdeckung des regionalen Bedarfs innerhalb YRD ermittelt werden.

Streckenabschnitt	Anzahl der erforderlichen Züge pro Tag		
	2010	2015	2020
Nanjing-Zhenjiang	58	73	89
Zhenjiang-Changzhou	64	81	97
Changzhou-Wuxi	71	94	117
Wuxi-Suzhou	73	98	124
Suzhou-Shanghai	67	87	106
erforderliche Züge	73	98	124

Tabelle 7-6 die Anzahl der erforderlichen Züge zwischen den Städten in YRD

Auf der Untersuchungsstrecke fahren außer den regionalen Zügen noch die überregionalen Fernverkehrszüge, die ebenfalls in den Städten zwischen Nanjing und Shanghai halten. Die FRz können auch Angebote für den Regionalverkehr in YRD anbieten, in [Vrp95] wird eine Voraussetzung für die neue Einlegung eines FRz im Fahrplan vorgeschrieben, dass der FRz die Mindestanzahl der Nachfrage der Verkehrsströme erreichen muss. Für den FRz, der über zwei, drei sowie vier Regionaldirektionen durchfahren soll, sind 600, 500 und 400 Personen als Untergrenze in [Vrp95] vorgeschrieben. In der Untersuchung wird vorausgesetzt, dass ein FRz durchschnittlich 600 Fahrgäste hat, sodass jeder FRz mindesten 400 freie Plätze auf der Untersuchungsstrecke hat, damit kann jeder FRz noch 400 Fahrgäste befördern. Im IST-Fahrplan gibt es 51 FRz, die Angebote im Fernverkehr können laut der Prognose als kaum Änderung behandelt werden. Wenn jeder FRz 400 freie Plätze zur Verfügung hat, können die 51 FRz insgesamt 20.400 Fahrgäste täglich transportieren. Da jeder Reisezug 1.000 Fahrgäste befördern kann, sind die Angebote von den 51 FRz im Ballungsgebiet ungefähr als 20 NRz umzurechnen.

Um die prognostizierte regionale Nachfrage in 2015 sogar in 2020 zu erledigen, müssen die Angebote von NRz noch verstärkt werden. Im IST-Fahrplan fahren 25 D-Züge täglich zwischen Nanjing und Shanghai, die die Nachfrage aber leider nicht befriedigen können. Bezüglich des teureren Fahrpreises des D-Zuges wird im Konzept außer der Verstärkung des D-Zuges der Modellzug RE-Zug „Regionalexpress“ mit 140 km/h angeboten.

## 7.4.2 Ordnung der Halteregel

Entlang der Strecke im „Hu-Ning-Abschnitt“ sind derzeit 8 Personenbahnhöfe im Betrieb, die den Fahrgästen das Ein- und Aussteigen ermöglichen. Die Nachfrage im Personenverkehr, die gewünschte Betriebsqualität von Fahrgästen sowie EVU, die Attraktion der Zugangebote usw. beeinflussen die Auswahl der Haltestellen. Im Kapitel 5 wurde bereits nachgewiesen, dass die Reisegeschwindigkeit von der Anzahl der Zwischenhalte und der Zugfolgefälle stark beeinflusst wird. Um die Reisegeschwindigkeit des Zuges und die Leistungsfähigkeit der Strecke weitere zu erhöhen, müssen die Zwischenhalte optimiert angeordnet werden. Die Prioritäten der möglichen Haltestellen auf dem „Hu-Ning-Abschnitt“ können in folgender Reihe berücksichtigt werden:

Modellzug	Prioritäten der Haltestellen
<b>D</b>	HBF Shanghai > HBF Wuxi = HBF Suzhou > BF Changzhou > BF Zhenjiang
<b>E</b>	HBF Shanghai > HBF Wuxi = HBF Suzhou > BF Changzhou > BF Zhenjiang
<b>RE</b>	HBF Shanghai > HBF Wuxi = HBF Suzhou > BF Changzhou > BF Zhenjiang > BF Kunshan
<b>S</b>	HBF Shanghai > HBF Wuxi = HBF Suzhou > BF Changzhou > BF Zhenjiang; BF Danyang und BF Kunshan können bevorzugt als kombinierte Haltestelle benutzt werden.
<b>P</b>	HBF Shanghai > HBF Wuxi = HBF Suzhou > BF Changzhou > BF Zhenjiang > BF Danyang BF Kunshan kann bevorzugt als kombinierte Haltestelle benutzt werden.

Tabelle 7-7 Ordnung der Halteregel

## 7.4.3 Konstruktion der Betriebsvariante

### 7.4.3.1 Vorschläge zur Streckenbelastung in einer Spitzenstunde

Die Tabelle 7-5 zeigt, dass die Nachfrage des Schienenpersonenverkehrs im Ballungsgebiet offensichtlich in den nächsten 10 Jahren zunimmt. Ein regelmäßiger Taktfahrplan im Personenverkehr ist im Konzept erforderlich, sodass die Fahrgäste sich die Angebote leicht merken können. Die Fahrgäste brauchen nicht zu früh in den Bahnhöfen auf die Züge zu warten, dadurch können ihre Wartezeit in den Bahnhöfen und sogar ihre gesamte Reisezeit reduziert werden. Der IST-Fahrplan hat dargestellt, dass er die Angebote des D-Zuges als Nahverkehr von 6:00 bis 21:00 Uhr gleichmäßig bietet. Im Konzept wird diese Zeitscheibe von 6:00 bis 21:00 Uhr als ein optimaler Bereich der Abfahrtszeit des NRz weiter angewendet. Innerhalb der 15 Stunden sind insgesamt 60 NRz von Nanjing nach Shanghai geplant, 2 D-Züge und 2 RE-Züge je Stunde können die regionale Nachfrage befriedigen.

Außer den NRz wird im Konzept versucht, dass die FRz im Takt regelmäßig auf der Strecke verkehren, dadurch können die FRz als Ergänzung zur Abdeckung der Nachfrage des Regionalverkehrs im Ballungsgebiet beitragen. Das Prinzip für die Anordnung des FRz im Taktfahrplan ist, dass die neue Abfahrtszeit von FRz im Vergleich zu der IST-Abfahrtszeit aus HBF Nanjing optimal innerhalb [-30 min, +30 min] und max. innerhalb [-60 min, +60 min] verschoben werden darf.

Im IST-Fahrplan fahren in einer Spitzenstunde max. drei E-Züge von Nanjing nach Shanghai, außerdem fahren ein K-Zug und ein P-Zug fast stündlich von Nanjing ab. In Bezug auf diese IST-Angebote wird es vorschlagen, dass ein Takt in einer Spitzenstunde aus zwei D-Zügen, zwei REs, drei E-Zügen, einem K-Zug und einem P-Zug bestehen soll.

**7.4.3.2 Festlegung der Prioritäten und der gewünschten Reisegeschwindigkeit des Modellzuges**

Um die Betriebsqualität bzw. Reisezeit des Zugs im optimalen Bereich zu halten, müssen die Prioritäten und die gewünschten Reisegeschwindigkeiten der Züge entsprechend vor der Konstruktion des Taktfahrplans eingerichtet werden.

	Modellzug	Anzahl	$V_{max}$ [km/h]	$V_{ziel}$ [km/h]	Prioritäten
<b>SPFV</b>	E-Zug	3	160	>110	höher
	S-Zug	1	140	>80	normal
	P-Zug	1	120	>70	niedrig
<b>SPNV</b>	D-Zug	2	200	>120	höchst
	RE-Zug	2	140	>100	hoch

Tabelle 7-8 die Priorität und die gewünschte Reisegeschwindigkeit des Modellzuges im Takt

In Abschnitt 5.3.3 wurden die Prioritäten der Modellzüge schon festgelegt, allerdings ist der Modellzug RE neu in dem Konzept definiert. Im Vergleich zu den anderen Modellzügen hat der RE-Zug die gleiche technische Geschwindigkeit wie der S-Zug. Aufgrund seiner Häufigkeit der Nutzung und seiner Aufgabe zur Verstärkung des Nahverkehrs auf der Untersuchungsstrecke hat der RE-Zug eine höhere Priorität als der S-Zug in dem Konzept. Die gewünschte Reisegeschwindigkeit des Modellzuges kann aus den Vorschlagswerten in Tab. 5.12 entnommen werden.

**7.4.3.3 Bestimmung der Zugfolgezeit im Fahrplan**

Die Mindestzugfolgezeit wurde im Abschnitt 7.3.2 auf einem Streckenabschnitt berechnet. Die Größe ist im Vergleich zu der Zugfolgezeit, die in China mit gegenwärtig

verwendetem Verfahren ermittelt wird, erheblich reduziert. In der Praxis soll der Fahrplan Elastizität aufweisen, denn die kleinen Verspätungen sollen sich nicht auf die folgend fahrenden Züge übertragen. Die Zugfolgezeit für PV und GV ist in dem Konzept einheitlich mit 5 min einschließlich 1 min Pufferzeit gegeben. Mit dieser Zugfolgezeit kann man auch gewährleisten, dass die Züge auf freier Strecke mit mindestens 4 Blöcken Abstand folgend fahren.

#### 7.4.3.4 Konstruktion des Fahrplans

Die Konstruktion eines Taktfahrplans kann mittels des vorgestellten Verfahrens im Abschnitt 6.4.2.6 durchgeführt werden. Die D-Züge, E-Züge und RE-Züge sollen in drei Zuggruppen gebündelt, die Abfahrtsfolge aus HBF Nanjing in einem Takt soll nach den Geschwindigkeiten bzw. Prioritäten der Modellzüge in der Reihe D – E – RE – K – P angeordnet werden. Die Trassensuche von Modellzug D, E und RE kann man mit dem Berechnungsmodell F<sup>①</sup> ermitteln, danach können die Lage von Modellzug P-, S- und G-Zug im Fahrplan mit dem Berechnungsmodell F<sup>②</sup> grob gelegt werden. Schließlich wird die Fahrplantrasse von P- und S-Zug mit dem Berechnungsmodell F<sup>③</sup> optimiert.

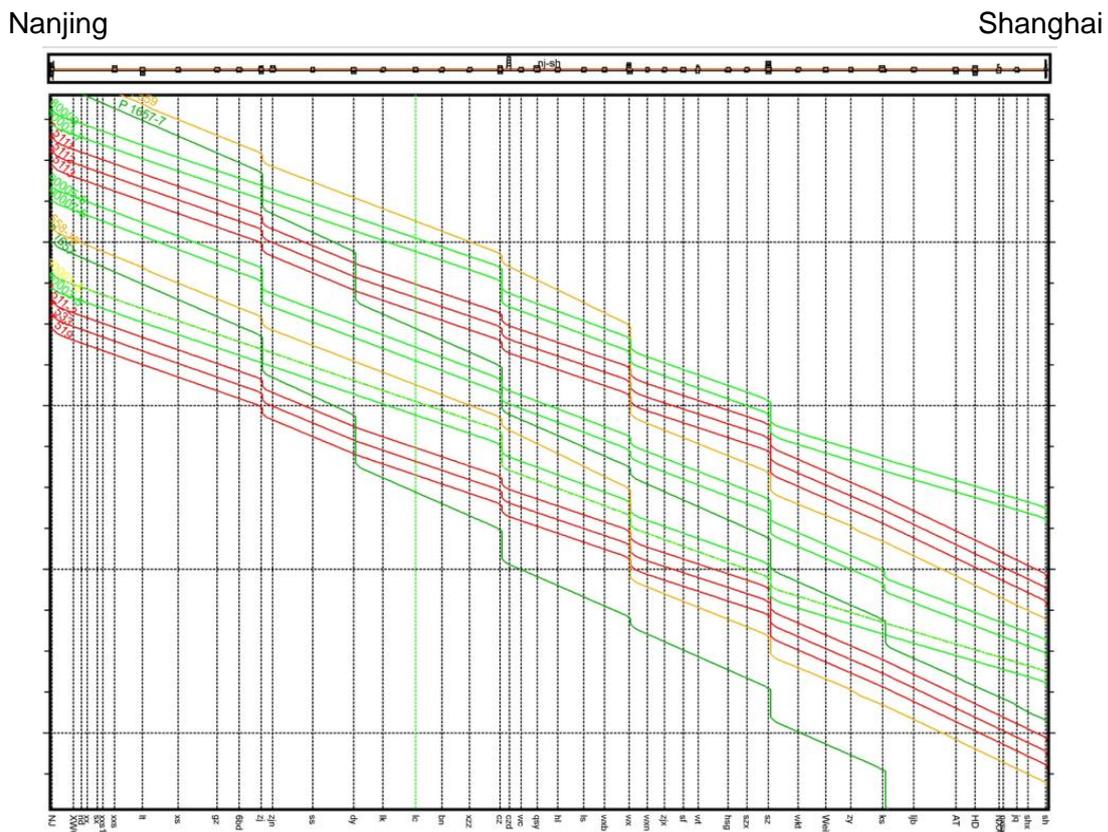


Abbildung 7-5 zweistündlicher Takt in der Entwurfsvariante

Die Reisegeschwindigkeit des Modellzugs ist in der Entwurfsvariante annähernd mit den gewünschten Zielsetzungen realisiert.

Modellzug	Fahrzeit [min]			Reisegeschwindigkeit [km/h]			
	Ist	Entwurf	$\Delta$	Ziel	Ist	Entwurf	$\Delta$
<b>D</b>	134	147	+13	>120	134,9	122,9	-12
<b>E</b>	187	161	-26	>110	96,4	112,2	+15,8
<b>RE</b>	-	167	-	>100	-	108,1	-
<b>S</b>	284	204	-80	>80	63,6	88,5	+24,9
<b>P</b>	302	236	-66	>70	59,8	76,5	+16,7

Tabelle 7-9 Vergleich IST-Fahrplan und Entwurfsvariante

Die Reisezeit jedes Modellzugs in der Entwurfsvariante ist außer dem D-Zug deutlich reduziert. Dieses Ergebnis kann folgende Ursachen haben:

1. Die Zugfolge wurde durch die zeitliche Trennung des schnellen und langsamen Verkehrs mit den gebündelten Zügen harmonisiert. Je stärker die Zugfolge harmonisiert ist, desto geringer sind die durch die Geschwindigkeitsschere bedingten nicht nutzbaren Zeitlücken [Pac08].
2. Die im IST-Fahrplan „nicht nutzbaren Zeitlücken“ sind durch Reduzierung der Mindestzugfolgezeit wieder nutzbar.
3. Durch das im Abschnitt 6.4.2.6 entwickelte Verfahren zur Konstruktion des Fahrplans haben die FRz, die im Betrieb niedrige Prioritäten haben, bei dem Überholungsfall die Möglichkeiten, ihre Prioritäten durch die Beschränkung der max. Haltezeit in der Betriebsstelle und Überprüfung der verfügbaren Reisezeitreserve zum bestimmten Zeitpunkt vorläufig zu erhöhen. Die Zeitverluste des Zugs können damit aufgrund der Einschränkung der Überholungsmöglichkeit von anderen Zügen reduziert werden und die Reisegeschwindigkeit des Zugs kann entsprechend erhöht werden.
4. Die Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit von D-Zügen ist durch eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten des Betriebsprogrammes verursacht.

In der Entwurfsvariante wird die Streckenbelastung auf der Untersuchungsstrecke mit Mischbetrieb in Höhe von 9 Zügen pro Richtung und Stunde realisiert, was im Vergleich zu der IST-Belastung erheblich höher ist. Durch die zeitliche Entmischung des Personenverkehrs am Tag (6:00 - 21:00 Uhr) und des Güterverkehrs in der Nacht (23:00 – 4:00 Uhr) wird die Fahrplanstruktur optimiert und die Leistungsfähigkeit der Strecke kann auch dadurch entsprechend erhöht werden. Das „Wartungsfenster“, das für die Wartung- und Instandhaltungsarbeiten im IST-Plan in 24 Stunden unterteilt ist, wird wie im IST-Plan beibehalten. Wegen der Streckensperrung in der Nacht sind die verfügbaren Angebote der Gz und Rz entsprechend reduziert.

Die Anzahl der FRz können von 51 FRz im „IST-Fahrplan“ auf 96 FRz in der „Entwurfsvariante“ erhöht werden. In Bezug auf die relativ stabilen Nachfragen im SPFV und die Vorschriften in [Vrp95] ist es voraussichtlich, die Anzahl der FRz außerhalb der Frühlingsfest-Reisesaison keine große Zunahme zu haben. In der Entwurfsvariante werden die Anzahl der FRz von 51 auf 60 erhöht, die Angebote im Personenverkehr auf der Untersuchungsstrecke sollen von 60 FRz und 60 NRz zusammen verfügt werden. Die restlichen 36 Fahrplantrassen der FRz können im Fahrplan für die hohen Verkehrsauslastungen während der Reisesaison reserviert werden, sodass die Angebote in der Spitzenzeit um ca. 30 % vermehrt und die großen Nachfragen bei dem in [Soh08] dargestellten Fall bewältigt werden können. Außerdem sind die reservierten FRz auch im Takt im Fahrplan geplant, deshalb haben die Fahrgäste sehr hohe Merkbarekeit bezüglich der Abfahrtszeiten der Züge. Diese Vorteile können die Wartezeit für die Fahrgäste in den Bahnhöfen sehr deutlich reduzieren. Insbesondere während der Reisesaison kann das Auftreten von Staus wartender Fahrgäste in den Bahnhöfen mit großen Fahrgastmengen entsprechend verringert werden.

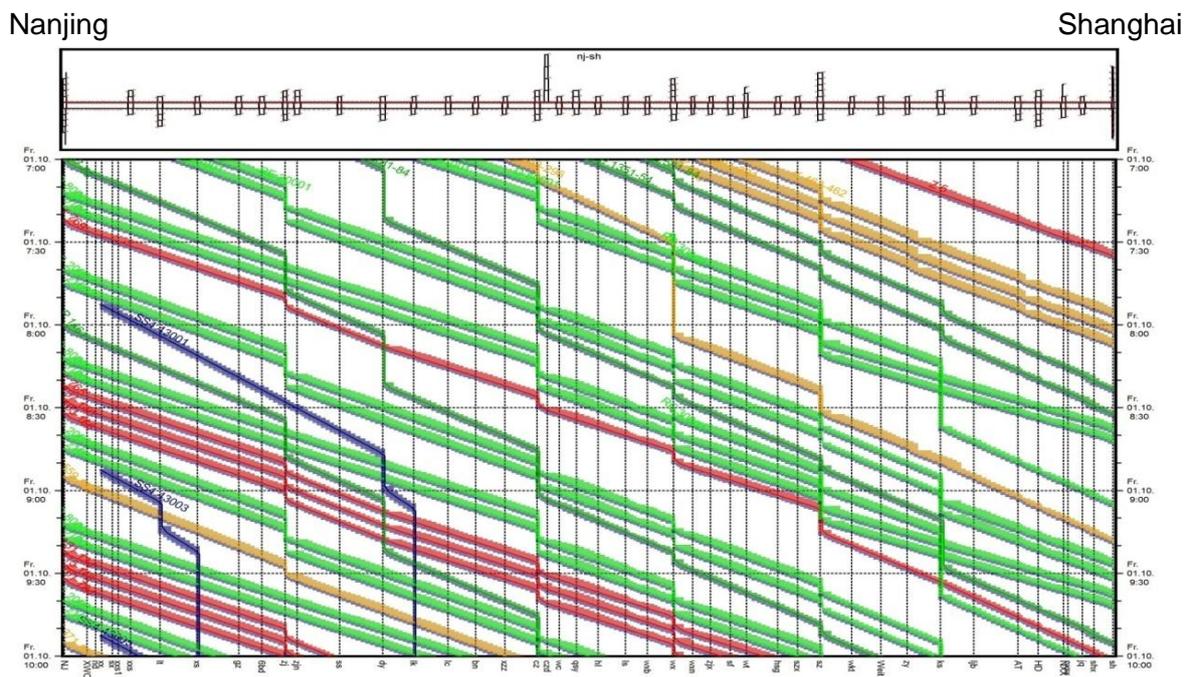


Abbildung 7-6 Betriebsprogramm Entwurfsvariante

Nach der Deaktivierung der Fahrplantrassen von den 36 FRz in der Entwurfsvariante können die Angebote zwischen HBF Wuxi und HBF Shanghai in den HVZ (morgens und abends) durch Einlegen von 4 NRz verstärkt werden, außerdem können mehrere Güterzüge im Fahrplan eingefügt werden. In der Entwurfsvariante wird zwischen 7:00 bis 16:00 Uhr ein Gz pro Stunde ab RBF Nanjing nach RBF Shanghai und von 15:00

bis 19:00 Uhr ein Gz pro Stunde ab RBF Nanjing nach Güterbahnhof Changzhou Ost geplant.

#### 7.4.3.5 UIC-Kapazität

Das im UIC-Merkblatt 406 vorgestellte Verfahren ist eine annähernde Lösung zur Bemessung der Verkehrsqualität, der Fahrplanqualität und der effizienten, wirtschaftlichen Nutzung der Infrastruktur.

Um die Kapazität und die Engpässe einer Strecke beurteilen zu können, ist der Kapazitätsverbrauch jedes einzelnen Streckenabschnitts zu berechnen. Der größte Wert des Kapazitätsverbrauchs auf einem Streckenabschnitt bestimmt den Kapazitätsverbrauch entlang der gesamten Strecke [UIC04]. Die Obergrenze des Kapazitätsverbrauchs einer Mischbetriebsstrecke ist für einen Tageszeitraum zu 60,0 % und für die Hauptverkehrszeit zu 75,0 % in [UIC04] definiert.

Streckenabschnitt	Tageszeitraum			Spitzenzeit (8:00 Uhr- 11:00 Uhr)		
	Verbrauchszeit [s]	Berechnungszeitraum [s]	Kapazitätsverbrauch[%]	Verbrauchszeit [s]	Berechnungszeitraum [s]	Kapazitätsverbrauch[%]
Nanjing-Zhenjiang	45419	86400	52,6	4705	10800	43,6
Zhenjiang-Danyang	34353	86400	39,8	5084	10800	47,1
Danyang-Changzhou Ost	51808	86400	<b>60,0</b>	6926	10800	<b>64,1</b>
Changzhou Ost-Wuxi	38170	86400	44,2	4943	10800	45,8
Wuxi-Suzhou	39991	86400	46,3	5187	10800	48,0
Suzhou-Kunshan	36797	86400	42,6	4129	10800	38,2
Kunshan-Shanghai	41510	86400	48,0	5401	10800	50,0

Tabelle 7-10 Berechnung des Kapazitätsverbrauchs jedes Streckenabschnittes

Der Kapazitätsverbrauch für die gesamte Untersuchungsstrecke beträgt im Tageszeitraum 60,0 % und in der Hauptverkehrszeit 64,1 %. Unter Berücksichtigung der Sperrzeiten im Fahrplan soll der verkettete Belegungsgrad von 157 Zügen im Tageszeitraum noch kleiner als 60,0 % sein, deswegen ist der Kapazitätsverbrauch kleiner als die vorgeschriebene Obergrenze in [UIC04].

## 7.5 Überprüfung der Durchführbarkeit des Verbesserungskonzepts mit Betriebssimulation

Nach der Überprüfung der Daten wurde die Konstruktion des Fahrplans festgelegt, danach wird die Betriebsqualität der Betriebsprogramme mithilfe der Mehrfachsimulation durch RailSys® ermittelt und anschließend bewertet.

Der Sollfahrplan kann in RailSys® auf seine Stabilität gegenüber Störungen im laufenden Betrieb getestet werden. Dazu werden die Zugfahrten des Sollfahrplans mit Störungen überlagert und eine Anzahl von gestörten Fahrplänen automatisch erzeugt, um die Gegebenheiten des realen Betriebs abzubilden. Da keine näheren Angaben über Störungen bekannt sind, werden im Rahmen dieser Arbeit Störungen gemäß den Empfehlungswerten nach DB-Richtlinie 405 [Deu92] ungefähr angesetzt.

Während der Betriebssimulation werden nacheinander alle gestörten Fahrpläne simuliert. Im Ergebnisfenster werden nach Beenden der Simulation jedes gestörten Fahrplans die zugehörigen Informationen in Form einer Zeile der Tabelle ausgegeben. Nach Beendigung der Simulation können alle durch die Simulation erzeugten Daten mithilfe des „Auswertungsmanagers“ analysiert werden.

Zuggattung	Belastung des Haltebahnhofs			
	gering		hoch	
	Wahrscheinlichkeit	Mittelwert [min]	Wahrscheinlichkeit	Mittelwert [min]
ICE, IC, IR	0,05	1,0	0,10	2,0
RE, SE, RB	0,05	0,5	0,10	1,0
S	0,05	0,2	0,10	0,5
Güterzug	0,05	5,0	0,10	5,0

Tabelle 7-11 Urverspätungen als Haltezeitverlängerung [Deu92]

Zuggattung	Belastung der Zulaufstrecken			
	gering		hoch	
	Wahrscheinlichkeit	Mittelwert [min]	Wahrscheinlichkeit	Mittelwert [min]
ICE, IC	0,20	3,0	0,30	4,0
IR	0,45	3,5	0,60	4,5
RE, SE, RB	0,50	2,0	0,60	3,0
S	0,20	1,3	0,25	2,0
Ferngüterzug	0,40	20	0,50	30
Nahgüterzug, Tzfz	0,50	20	0,60	30

Tabelle 7-12 Einbruchsverspätungen im Untersuchungsbereich [Deu92]

Störungen	Zuggattung	Anteil der Züge [%]	Mittlere Verspätung [min]	Maximale Verspätung [min]
Urverspätungen als Haltezeitverlängerung	D, E, RE, S, P	10	2	5
	G	10	5	10
Einbruchsverspätung	E, S, P	50	4	6
	G	40	20	40

Tabelle 7-13 Wahrscheinlichkeit der Urverspätungen und Einbruchsverspätungen

		IST	Variante	Δ
Pünktlichkeit der Personenzüge (5 min als Grenze)	Fernreisezüge	99,9 %	97,1 %	-2,8 %
	Nahreisezüge	99,9 %	99,2 %	-0,7 %

Tabelle 7-14 Vergleiche der Pünktlichkeit der Personenzüge

Die Auswertung der Betriebssimulation zeigt, dass die Verspätungen der Personenzüge in der Entwurfsvariante erhöht sind, aber die Betriebsqualität ist im Vergleich zu IST-Fahrplan nahezu gleichbleibend. Die Personenzüge können ihre Verspätungen im Konzept zum Teil erheblich, manche sogar vollständig abbauen, der Mittelwert der Verspätung von Personenzügen liegt vollständig unter der Pünktlichkeitsgrenze von 5 min. Die Güterzüge werden den Mittelwert der Verspätung erhöhen. Die Größe der Verspätung ist jedoch kleiner als die zulässige Untergrenze von 30 min und kann noch als „kleine Verspätung“ zufriedenstellend sein. Das Betriebsprogramm im Verbesserungskonzept ist durchführbar und seine Betriebsqualität kann als zufriedenstellend eingestuft werden.

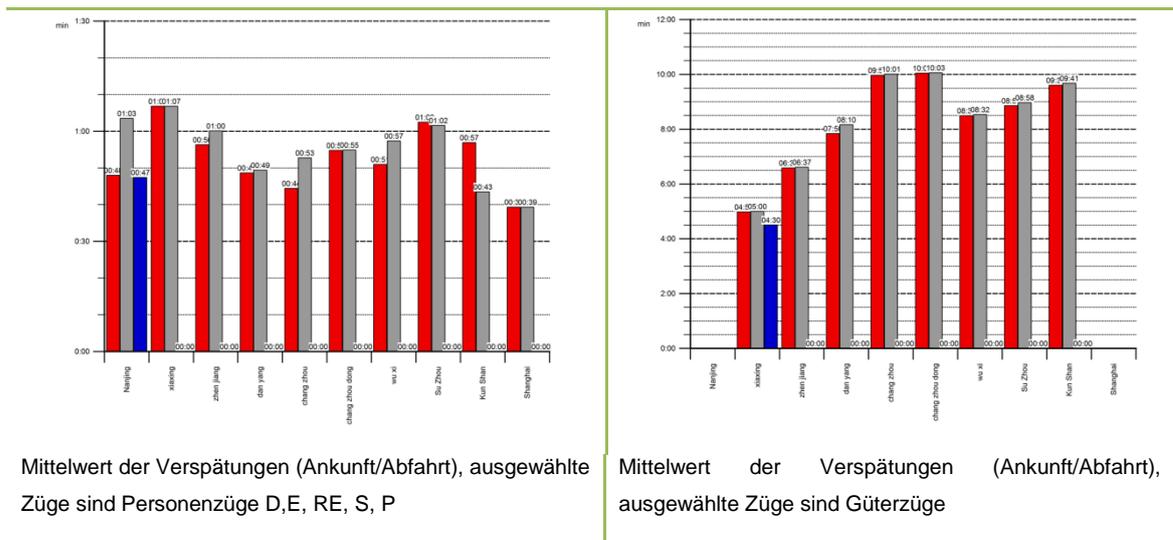


Tabelle 7-15 Mittelwert der Verspätung für die Relation HBF Nanjing- HBF Shanghai

## 7.6 Fazit

Mithilfe der Betriebssimulation kann man die Auswirkung der Anwendungen der entwickelten Maßnahmen auf der Untersuchungsstrecke im Rechner ansehen. Durch die Harmonisierung der Züge und die Verkürzung der Zugfolgezeit kann die Leistungsfähigkeit der Versuchsstrecke um knapp 45 % erheblich erhöht werden. Außerdem können die Reisegeschwindigkeiten der FRz (Modell S und P), die vorher niedrige Prioritäten und mehrere Überholungen von anderen Zügen im Betrieb hatten, durch das verbesserte Verfahren zur Konstruktion des Fahrplans auf eine zufriedenstellende Höhe erreichen.

Belastung der Untersuchungsstrecke Abschnitt (Danyang – Changzhou Ost)			
	IST	Entwurf	$\Delta$
D	27	30	+ 3
E	17	22	+ 5
RE	0	30	+ 30
S	23	23	+ 0
P	12	15	+ 3
G	30	37	+ 7
Summe	109	157	+ 48

Tabelle 7-16 Vergleich der Streckenbelastung in „IST“ und „Entwurf“

Um die Pünktlichkeit zu erhöhen und die Verspätungen abzubauen, kann im Fahrplan der Fahrzeitüberschuss jedes Zuges noch mit einem bestimmten Maß erhöht werden. Obwohl die Belastung der Strecke entsprechend teilweise reduziert wird, ist die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke jedoch schon sehr groß und beachtenswert. Die Bahnstrecke in China wurde wegen des Berechnungsverfahrens mit Abzugsfaktoren und der großen „Mindestzugfolgezeit“ nicht komplett ausgenutzt, nach der Analyse, und Überprüfung der Auswirkung der entwickelten Maßnahmen auf der Untersuchungsstrecke kann die Möglichkeit zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit auf der Bahnstrecke von CABS und CBBS um ca. 30 % gut nachgewiesen werden.

Da in China die meisten Bahnstrecken von CABS und CBBS ähnliche Infrastruktur und betriebliche Aufgaben wie die Untersuchungsstrecke haben, wird in dieser Arbeit die Entwurfsvariante, in der die Leistungsfähigkeit der Untersuchungsstrecke erheblich erhöht ist, als Referenz für die Definition der Obergrenze der Streckenauslastung im Standard der Mischbetriebsbahnstrecke „M160“ angewendet. Durch Vergleiche der

betrieblichen Maßstäbe im Standard bzw. Bezugssystem kann die optimale Ausnutzung der Strecke sowie Infrastruktur in der Praxis verwirklicht werden. Da die Startzeit des „Wartungsfensters“ jeder Strecke in der Nacht zwischen 21:00 und 6:00 Uhr unterschiedlich ist, können die Ströme des Güterverkehrs in der Nacht entsprechend in die Tagesganglinie verschoben werden.

Streckenstandard M160	
Basisparameter	
Streckenauslastung [Z/d] je Richtung	Obergrenze
Summe/SPFV/SPNV/SGV	157/60/60/37
Leitgeschwindigkeit	121-160 km/h
Angebote Zugklasse	ZP <sub>3</sub> – ZP <sub>5</sub> , ZG <sub>1</sub> – ZG <sub>2</sub>
Optimierungskriterium	Mischverkehr, Personenverkehr als Kerngeschäft zwischen 6:00 Uhr und 20:00 Uhr
Standardparameter	
Anzahl der Gleise	2
Überholungsgleisabstand	6-13 km
Blockabschnittslänge	1,3 km
V <sub>Ein</sub> /V <sub>Aus</sub>	80-90 km/h
V <sub>Überleitstelle</sub>	80-90 km/h

**Tagesganglinie M160 Streckenauslastung je Richtung**

Zeit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Gz	7	3	2	2	0	0	0	1	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	10	37
P-Zug	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	15
S-Zug	1	3	3	2	2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	23
E-Zug	0	1	0	1	1	0	0	1	3	3	0	1	0	3	1	0	0	0	1	3	3	0	0	0	22
D-Zug	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	30
RE-Zug	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	30

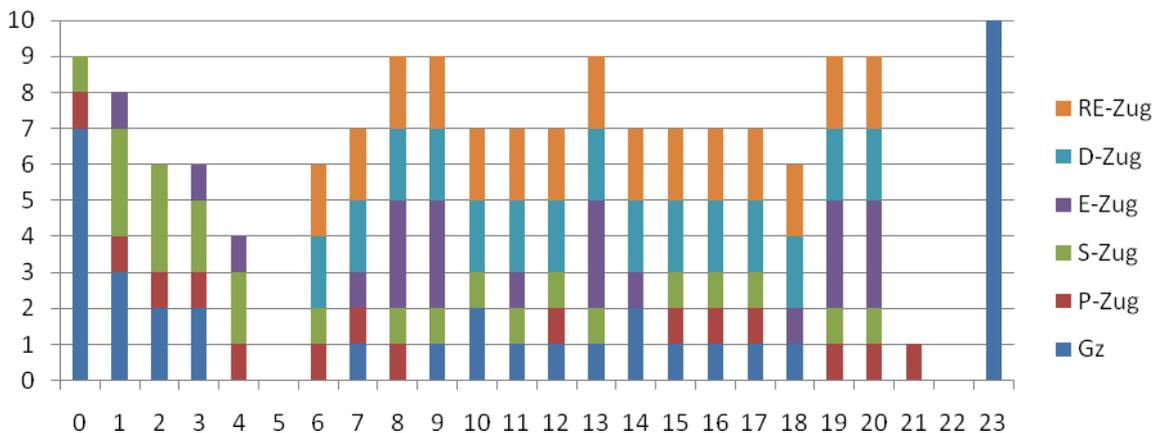


Tabelle 7-17 Vorschläge der Standardisierung des Streckenstandards M160

## 8 Zusammenfassung

Wegen der raschen wirtschaftlichen Entwicklungen in China haben die umfangreichen Nachfragen an die Verkehrsträger in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Schienenbahnen haben aufgrund des niedrigen Fahrpreises und des großen Transportraumes Systemvorteile gegenüber anderen Verkehrsträgern. Die Veränderungen der Wirtschaftsstruktur und der Siedlungsstruktur haben die Angebotsstrategien der chinesischen Eisenbahnbetreiber auch beeinflusst, das Kerngeschäft der chinesischen Eisenbahn hat sich wegen der begrenzten Leistungsfähigkeit des Eisenbahnnetzes vom Güterverkehr auf den Personenverkehr verlagert.

Ein modernes leistungsfähiges Bahnsystem ist Voraussetzung für die Befriedigung der steigenden Nachfrage, durch das der chinesische Eisenbahnbetreiber MOR seine Wettbewerbsfähigkeit auf dem Verkehrsmarkt verbessern kann. Darum ist die Infrastruktur des Bahnsystems in den letzten Jahren durch die Anwendung der Hochgeschwindigkeitszüge sowie den Neu- und Ausbau der Bahnstrecke modernisiert. Die baulichen Maßnahmen sind selbstverständlich die schnellsten und wirkungsvollsten Methoden zur Erhöhung des Leistungsvermögens der Bahn, allerdings sind sie mit hohen Kosten verbunden. Gleichzeitig kann die teure Infrastruktur nur durch die passenden betrieblichen Maßnahmen ihre max. Leistungen im Bahnsystem verwirklichen.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, die passenden betrieblichen Maßnahmen zu entwickeln und ihre Auswirkungen nachzuweisen, damit die Leistungsfähigkeit des chinesischen Bahnsystems und die Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs auf eine optimale Höhe verwirklicht werden können. Die Einsatzmöglichkeit der entwickelten Maßnahmen sollte in der Arbeit zuerst auf theoretischem Weg nachgewiesen und schließlich durch rechnergestützte Simulation im Modell RailSys<sup>®</sup> überprüft werden.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde zuallererst der Zustand der chinesischen Eisenbahn dargestellt. Durch die Darstellung der betrieblichen Zustände und die Vergleiche der Unterschiede zwischen China und Deutschland können die deutschsprachigen Know-how die generellen und konkreten Situationen sowie Merkmalen von dem chinesischen Bahnsystem informieren.

Anschließend wurden die Zugfolgezeiten im Bahnbetrieb, der Fahrtablauf des Reisezugs und die Reisegeschwindigkeit des Personenverkehrs analysiert, um die bestehenden Probleme im chinesischen Bahnsystem herauszufinden. Des Weiteren

wurden in der Forschungsarbeit durch Überprüfung der Auswirkungen der gegenwärtig angewendeten betrieblichen Maßnahmen die Ursachen der Probleme untersucht, die meistens abhängig von den altmodischen Theorien sind. In den letzten Jahren hat der Eisenbahnbetreiber MOR den Schwerpunkt auf die Modernisierung der Infrastruktur gelegt, sodass MOR die bahnbetrieblichen Theorien und die einschlägigen Vorschriften sowie Ordnungen nicht zeitgemäß aktualisiert hat bzw. keine ausreichende Beobachtung im Gebiet des Bahnbetriebs hatte. Obwohl die gegenwärtig angewendeten betrieblichen Maßnahmen die moderne Infrastruktur noch treiben können, wirken sich die technischen Vorteile bzw. Leistungen der modernen Infrastruktur in der Praxis nicht komplett aus, dadurch befindet sich die Leistungsfähigkeit des chinesischen Bahnsystems auf einem sehr niedrigen Niveau. Z. B., die Mindestzugfolgezeit 6 bis 10 min, die mit den gegenwärtigen Theorien berechnet wurde und in der Vorschrift als Maßstab vorgeschrieben ist, hat die Ausnutzung der Strecke sehr negativ beeinflusst. Trotz vieler Strecken aufgrund der sehr hohen Nachfrage in der Frühlingsfest-Reisesaison noch die Möglichkeit haben, ihre Auslastung teilweise zu erhöhen und die Routinearbeit des Bahnbetriebs noch reibungslos durchführen zu können, sind die Strecken allerdings mit der Vermessung durch das Abzugsverfahren theoretisch über hundertprozentig vollbelastet. Gleichzeitig ist die Sicherheit des Bahnbetriebs aufgrund der ermittelten „übermäßigen“ Ausnutzung der Bahnstrecke sehr fraglich, die daraus resultierende Folge ist, dass MOR weitere bauliche Maßnahmen als Lösung zur Erhöhung des Leistungsvermögens des Bahnsystems genommen hat.

In der Forschungsarbeit wurden daher einige betriebliche Maßnahmen unter Berücksichtigung der Sicherheit des Bahnbetriebs zur Lösung der Probleme und zur Verbesserung der Betriebsqualität entwickelt. Anschließend wurde eine bestehende Bahnstrecke im Simulationsmodell RailSys® abgebildet. Die Durchführbarkeit und die Auswirkungen der Anwendung der entwickelten betrieblichen Maßnahmen sind dann durch Betriebssimulationen sehr gut nachgewiesen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass man mit den Maßnahmen die Bahnstrecke optimal und wirtschaftlich ausnutzen und die Reisequalität des Personenverkehrs durch die Optimierung der Reisegeschwindigkeit erhöhen kann. Die größten Probleme im chinesischen Bahnbetrieb, z. B. große Zugfolgezeit, langsame Reisegeschwindigkeit und sehr hohe Nachfrage nach Bahnfahrten in der Reisesaison, können durch die Anwendung der entwickelten Maßnahmen wirksam gelöst werden. Es hat noch gut nachgewiesen, aus wirtschaftlicher Sicht sollen die betrieblichen

Maßnahmen zur Verbesserung der Bahnbetriebsqualität vorrangiger als die Entscheidung der Investitionen in Infrastruktur.

Die in der Arbeit mit betrieblichen Maßnahmen verbesserte Bahnstrecke kann als eine Referenz für die neue Standardisierung der Bahnstrecke in China angewendet werden. Die Standardisierung der Bahnstrecke bietet erstens ein Bezugssystem für die wirtschaftliche Nutzung der Bahninfrastruktur, zweitens ist Standardisierung die Voraussetzung für die Reform des chinesischen Bahnsystems. Damit kann Chinesische Bahn ihre Bahnnetze und Transportaufgabe in zwei Ebene (EIU und EVU) aufteilen, schließlich können die EIU und EVU ihre effizientere Leistungen in Bahnsystem ermöglichen.

## Literaturverzeichnis

**Bär, Matthias. 1998.** Planungs-und Dispositionssysteme für den Bahnbetrieb. *EI - Der Eisenbahningenieur*. 3 1998, S. 19 - 26.

**Breimeier, Rudolf. 2002.** *Transrapid oder Eisenbahn – ein technisch-wirtschaftlicher Vergleich*. Luzern : Minirex AG, 2002. ISBN 3-907014-14-6.

**China Academy of Railway Sciences.** EDV Programme zur Berechnung der Zugkraft von Lokomotiven . *China Academy of Railway Sciences*. [Online]  
[http://home.rails.com.cn/1file/techno/tochol\\_achievements/achievements/5/5\\_liecheqi.anyin.htm](http://home.rails.com.cn/1file/techno/tochol_achievements/achievements/5/5_liecheqi.anyin.htm).

**China Mingsheng Banking Corp., Ltd. . 2010.** *Annual Report on china's transportation development*. Peking : Social Science Academic Press (China), 2010. ISBN 7509715504.

**China Statistics Press. 2009.** China statistical yearbook 2009. [Online] National Bureau of Statistics of China, 2009. [Zitat vom: 29. 07 2010.]  
<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2009/html/C0201e.htm>.

**CNR China Northern Locomotive and Rolling Stock Industry (Group) Corporation.** Products. *China Northern Locomotive and Rolling Stock Industry (Group) Corporation*. [Online]  
[http://www.chinacnr.com/LISTS/product/\\_MAINPAGE/product1/default2.aspx?classid=40](http://www.chinacnr.com/LISTS/product/_MAINPAGE/product1/default2.aspx?classid=40).

**CSR Corporation Limited.** Products and Services. *CSR Corporation Limited*. [Online]  
<http://www.csrgc.com.cn/ens/cpyfw/jch/index.shtml>.

**Cui, FengXia. 2009.** *Masterarbeit "Research on the Speed Matching of Passenger/Freight Trains on Existing Lines with Max. Speed of 200km/h"*. Xi'an : Southwest JiaoTong University, 2009.

**DB AG. 2006.** *Eisenbahnbetriebstechnologie*. Heidelberg Mainz : Eisenbahn-Fachverlag, 2006.

**DB AG. 1999.** *Richtlinie 405:Fahweg Kapazität*. 1999.

**DB AG. 2000.** *Richtlinie 413: Betriebliche Infrastruktur DB Netz gestalten Betriebliche Infrastruktur bemessen Streckenstandards*. 2000.

**DB AG. 2005.** *Richtlinie 420.0101: Bahnbetrieb*. 2005.

**Deng, LianBo. 2007.** *Dissertation "Study on the Optimal Problems of Passenger Train Plan for Dedicated Passenger Traffic Line"*. Changsha : Central South University, 2007.

- Deutsche Bundesbahn. 1992.** Druckschrift 405/01 – Leistungsuntersuchungen für Bahnanlagen durchführen. 12. 2 1992.
- Development Research Center of the State Council (DRC). 2002.** China: Reform an Development of Railway Transport under the Policy of Reform an Opening Up to the Outside World. Beijing : China for an OECD/DRC Seminar 28-29 Jan. 2002, 2002.
- Gong, zengjin. 2004.** Grundlage und Methode für die Einstufe der Bahnstrecken. *Railway Engineering*. 2004, 02.
- Günter, Hertel. 1992.** Die maximale Verkehrsleistung und die minimale Fahrplanempfindlichkeit auf Eisenbahnstrecken. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 10 1992, S. 665–671.
- Guo, XiaoPei, Guo, WenLong und Zhang, JiangYu. 2006.** *Entwicklung und Planung des städtlichen und regionalen Schienenverkehrs in China*. Beijing : China Railway Publishing House, 2006. ISBN 7113074529.
- He, YuQiang. 2007.** *Dissertation "Some Issues on Transport Operational Theory of Passenger Railways"*. Beijing : Beijing JiaoTong University, 2007.
- Hu, SiJi. 2007.** *Theorie zur Konstruktion des Eisenbahnfahrplans*. Beijing : China Railway Publishing House, 2007.
- Lu, ZuoAn. 2005.** *Masterarbeit "Research on the Mode of Operation Organization and Relative Problems on Railway with the Top Speed of 200km/h"*. Xi'An : SouthWest JiaoTong University, 2005.
- Ma, Guozhong und Wang, Yun. 2006.** Reasonable Ranger Determination of Speed Difference Between Passenger and Freight Trains in Speed Rising Double Track Railway. *Journal of Transportation Engineering and Information*. 2006, 3.
- Pachl, Jörn. 2008.** *Systemtechnik des Schienenverkehrs: Bahnbetrieb planen, steuern und sichern*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, 2008.
- Peng, QiYuan. 2007.** *Transportation Organization of Passenger Special Line*. Beijing : Science Press, 2007. ISBN:9787030109866.
- Potthoff, Gerhart. 1980.** *Verkehrsströmungslehre: Die Zugfolge auf Strecken und in Bahnhöfen. Band 1, 3.bearbeitete und ergänzte Auflage*. Berlin : Verlag für Verkehrswesen, 1980.
- Sauer, W. 1999.** RUT – Rechnerunterstützte Trassenkonstruktion. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 1999, 11, S. S. 720–725 .

- Schaer, Thorsten. 2003.** Der Einfluss von Betriebsführungskonzepten in großen Bahnnetzen. *Signal und Draht*. 09 2003, S. 6-12.
- Siefer, Thomas. 2004.** Vorlesungsskript "Eisenbahn- und Verkehrswesen". 2004.
- Siefer, Thomas. 2004/2005.** Vorlesungsskript "Eisenbahnbetriebswissenschaft und Verkehrsinformatik". 2004/2005.
- Siefer, Thomas. 2004/2005.** Vorlesungsskript "Eisenbahnbetriebswissenschaft und Verkehrsinformatik". 2004/2005.
- Sohu.Com. 2008.** Neuer Rekord von der Bahn: 712 vorläufige Züge. *News Sohu*. [Online] 13. 2 2008. [Zitat vom: 16. 8 2010.]  
<http://news.sohu.com/20080213/n255129136.shtml>.
- Standardization Administration of the People's Republic of China; Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. 2006.** *National standard GB 50090: Cord for design of railway line*. Beijing : s.n., 2006.
- Sun, QuanXin. 2007.** *Dissertation "Train Organizational Theory with Application for Railway Passenger Lines"*. Beijing : Beijing JiaoTong University, 2007.
- Tao, Ran und Xiang, Jing. 2005.** Optimize the Resource Allocation of Railway Transportation and Implement the Centralized of Train Operation Diagram Establishment. *Chinese Railways*. 2005, 4.
- The Ministry of Railways. 2008.** Der Entwurf des mittel- und langfristigen Eisenbahnnetz (Stand 2008). *The Ministry of Railways, V.R.China*. [Online] 2008. [Zitat vom: 02. August 2010.] [http://www.china-mor.gov.cn/tllwjs/tlwgh\\_6.html](http://www.china-mor.gov.cn/tllwjs/tlwgh_6.html).
- The Ministry of Railways of the People's Republic of China . 2007.** *The Temporary Regulations for the Designs of the Newly Built Passenger Dedicated Railway with a Speed of 300 km/h to 350 km/h*. Beijing : s.n., 2007. [2007]47.
- The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 1990.** Mitteilung der Teil-Nachbesserung „das Berechnungsverfahren der Leistungsfähigkeit der Bahnstrecken“ . Beijing : s.n., 1990. [Z]286.
- The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 2004.** *Railway Main Technical Policy*. 2004. [2004]78.
- The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 2007.** *Regulations of Railway Technical Operation*. 2007.
- The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 2009.** *Statistical yearbook 2009*. Beijing : s.n., 2009.

**The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 2005.** *The Temporary Regulations for the Designs of the Newly Built Passenger and Freight Railway with a Speed of 200 km/h.* Beijing : s.n., 2005. [2005]285 .

**The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 2004.** *The Temporary Regulations for the Designs of the Newly Built Passenger Dedicated Railway with a Speed of 200 km/h to 250 km/h.* Beijing : s.n., 2004. [2005]140.

**The Ministry of Railways of the People's Republic of China. 1995.** *Verwaltungsregeln für den Eisenbahnpersonenverkehr.* Beijing : s.n., 1995. 1994[117].

**the Ministry of Railways. 2009.** Statistical yearbook 2009. Beijing : s.n., 2009.

**UIC (Internationaler Eisenbahnverband) . 2004.** UIC-Kodex 406 – Kapazität . Paris : Eisenbahntechnische Publikationen, 2004. 1. ISBN 2-7461-0801-1.

**Wang, SuNan. 2003.** *Personenverkehr.* Beijing : China Railway Publishing House, 2003. ISBN:7-113-04931-1.

**Weigand, Werner. 2008.** 7. Produktionsplanung. [Buchverf.] Dietmar Lübke. *Das System Bahn : Handbuch.* Hamburg : DVV Media Group (Eurailpress), 2008.

**Weigand, Werner, Mittmann, Walter und Fengler, Wolfgang. 2008.** 8. Die Infrastruktur. [Buchverf.] Gesamtkoordination Dipl.-Ing. Dietmar Lübke. *Das System Bahn : Handbuch.* Hamburg : DVV Media Group (Eurailpress), 2008.

**Xinhua News Agency. 2010.** 33.57 mln Chinese travel by ship during Spring Festival traffic rush. *Xinhua News.* [Online] 12. 3 2010. [Zitat vom: 23. 08 2010.]

**Xinhua News Agency. 2010.** Chinese railways brace for post-Spring Festival travel rush. *Xinhua News.* [Online] 16. 2 2010. [Zitat vom: 23. 08 2010.]  
[http://news.xinhuanet.com/english2010/special/springfestival2010/2010-02/16/c\\_13176989.htm](http://news.xinhuanet.com/english2010/special/springfestival2010/2010-02/16/c_13176989.htm).

**Xinhua News Agency. 2006.** Chunyun tests gov't ability to administer. *Xinhua News.* [Online] 18. 1 2006. [Zitat vom: 23. 8 2010.] [http://news.xinhuanet.com/english/2006-01/18/content\\_4066638.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2006-01/18/content_4066638.htm).

**Xinhua News Agency. 2010.** Inbound rail passenger numbers peak in south China. *Xinhua News.* [Online] 21. 2 2010. [Zitat vom: 23. 08 2010.]  
[http://news.xinhuanet.com/english2010/china/2010-02/21/c\\_13181784.htm](http://news.xinhuanet.com/english2010/china/2010-02/21/c_13181784.htm).

**Xinhua News Agency. 2007.** Minister von MoR sagt:"Durch die 6-mal Geschwindigkeitserhöhung zur Verwirklichung der vier Ziele". *The Central People's*

*Government of the People's Republic of China*. [Online] 24. 4 2007. [Zitat vom: 16. 08 2010.] [http://www.gov.cn/jrzg/2007-04/24/content\\_594524.htm](http://www.gov.cn/jrzg/2007-04/24/content_594524.htm).

**Zhang, Wei. 2010.** Correlational Research on the Solutions for Spring Festival Transportation Problem. *Sci-Tech Information Development & Economy*. 2010, 01.

**Zheng, YaJing. 2008.** *Masterarbeit " The Speed Match Plan of Passenger/Freight Trains with the Elevated Speed at 200km/h on the East Longhai Line"*. Beijing : Beijing JiaoTong University, 2008.

# Anhang

## A. Organisation des MOR und China Railway

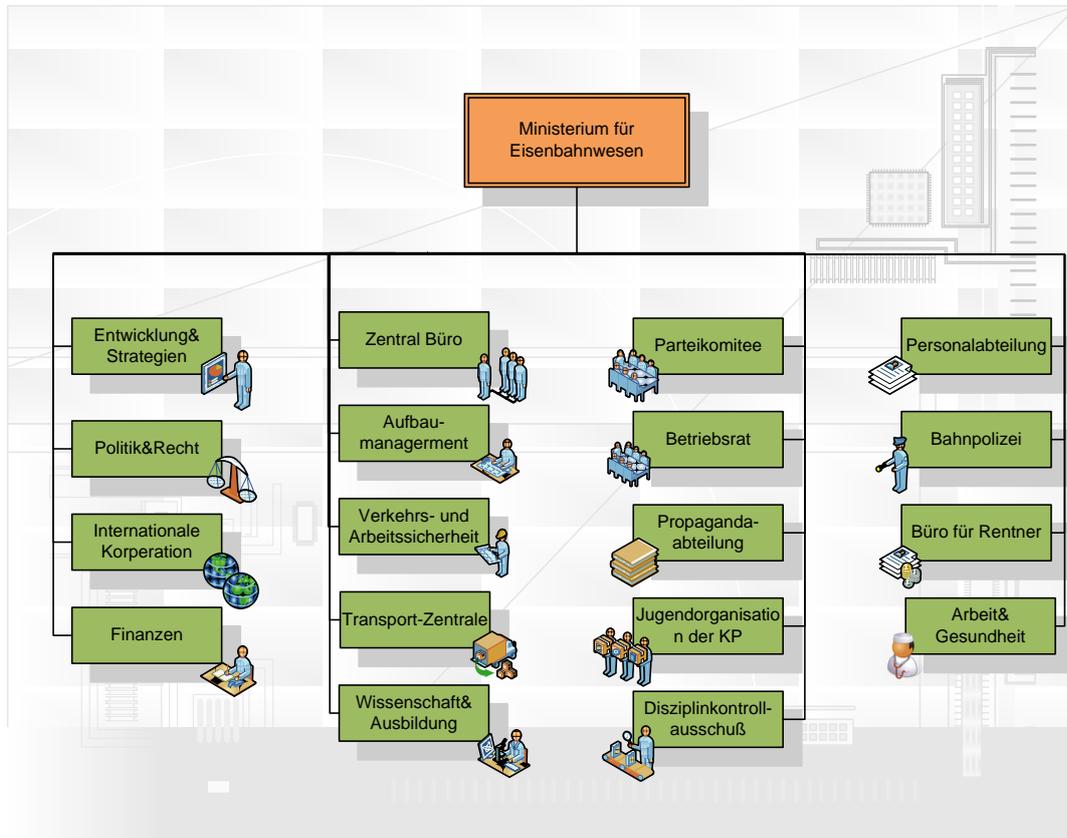


Abbildung A-1 18 Exekutivorgan und Behörde



Abbildung A-2 Verwaltungsbereich

Regionaldirektionen und Bahnunternehmen	Eisenbahnnetz in Provinzen
Beijing Eisenbahn Regionaldirektionen	Shijiazhuang, Tianjin, Taiyuan
Chengdu Eisenbahn Regionaldirektionen	Chengdu, Chongqing, Nanchong, Guiyang, Lupanshui
Guangzhou Eisenbahn Group GmbH	Guangzhou, Shenzhen, Meizhou, Hunan, Changsha
Harbin Eisenbahn Regionaldirektionen	Inner Mongolia, Xiang'an
Hohhot Eisenbahn Regionaldirektionen	Inner Mongolia
Jinan Eisenbahn Regionaldirektionen	Shandong
Kunming Eisenbahn Regionaldirektionen	Chengdu, Sichuan, Guizhou, Vietnam
Lanzhou Eisenbahn Regionaldirektionen	Gansu, Ningxia
Nanchang Eisenbahn Regionaldirektionen	Jiangxi, Zhejiang, Hubei, Henan, Anhui
Nanning Eisenbahn Regionaldirektionen	Nanning, Liuzhou, eastern Guangdong
Qinghai-Tibet Eisenbahn Group GmbH	Qinghai, Tibet, Sichuan
Shanghai Eisenbahn Regionaldirektionen	Shanghai, Jiangsu, Anhui, Zhejiang, Fujian, Henan
Shenyang Eisenbahn Regionaldirektionen	Liaoning, Jilin, Jianszhou
Taiyuan Eisenbahn Regionaldirektionen	Shanxi, Shandong, Henan
Wulumuqi Eisenbahn Regionaldirektionen	Xinjiang, Gansu
Wuhan Eisenbahn Regionaldirektionen	Hubei, Henan
Xi'an Eisenbahn Regionaldirektionen	Shaanxi, Gansu, Sichuan, Chongqing, Ningxia, Hubei
Zhengzhou Eisenbahn Regionaldirektionen	Hubei, Hebei, Shaanxi, Shandong

Tabelle A-1 Regionaldirektionen und zugeordnete Eisenbahnnetze

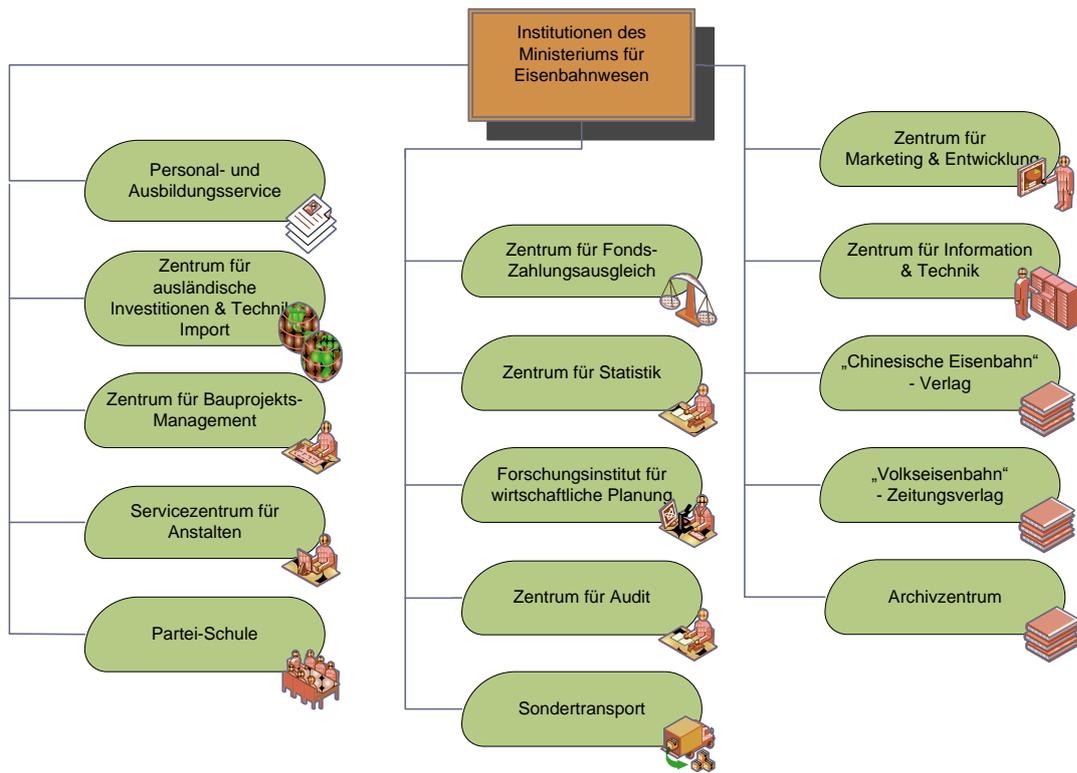


Abbildung A-3 Organisation der Institutionen des MOR

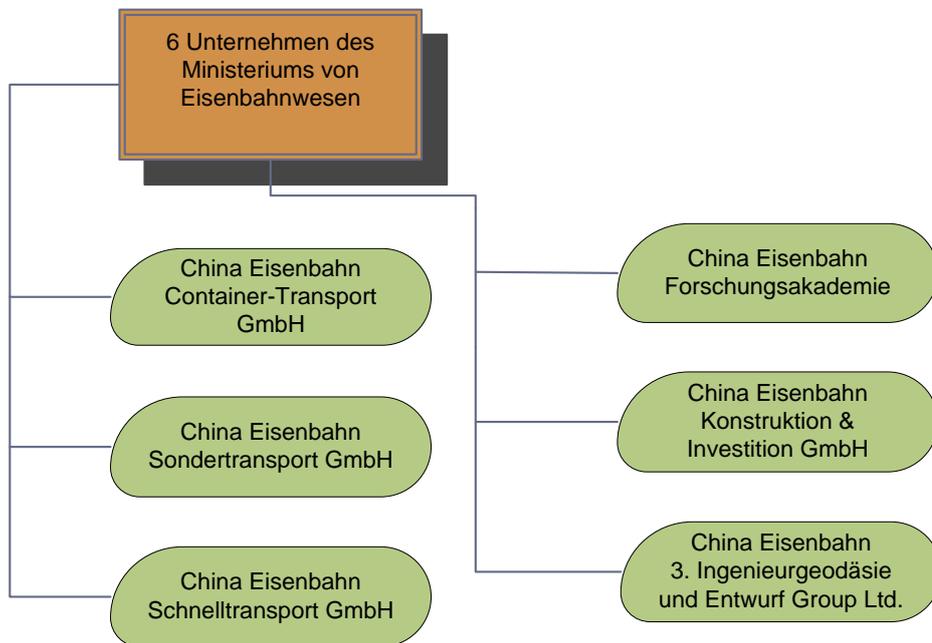


Abbildung A-4 Tochterunternehmen des MOR

**B. Detaillierte Klassifizierung der Züge in China**

Personenzug																			
	Überregional	Regional-Direktion																	
		Haerbin	Shenyang	Peking	Taiyuan	Huhehaote	Zhenzhou	Wuhan	Xian	Jinan	Shanghai	Nanchang	Guangzhou	Nanning	Chengdu	Kunming	Lanzhou	Wulumuqi	Qingzang
Hochgeschwindigkeitszug	D1-D398	D401-D998																	
Direkt-Expresszug	Z1-Z998																		
Express-Schnellzug	T1-T498	T501-T530	T531-T560	T561-T600	T601-T630	T641-T670	T671-T700	T701-T730	T731-T760	T761-T800	T801-T830	T831-T870	T871-T880	T831-T870	T881-T900	T831-T870	T901-T920	T921-T940	T941-T960
Schnellzug	K1-K998																		
		N1-N100	N101-N200	N201-N250	N251-N280	N281-N300	N301-N320	N321-N350	N351-N380	N381-N400	N401-N500	N501-N550	N551-N700	N701-N750	N751-N800	N801-N840	N841-N870	N871-N910	N911-N920
Normalzug	1001-1998 (Über drei Regional-direktionen)																		
	2001-3998 (Über zwei Regional-direktionen)	4001-4200	4201-4400	4401-4600	4601-4650	4651-4700	4701-4800	4801-4900	4901-5000	5001-5050	5051-5200	5201-5300	5301-5500	5501-5550	5551-5650	5651-5700	5701-5800	5801-5900	5901-5998
	6001-6198	6201-6300	6301-6400	6401-6500	6801-6850	6851-6900	6901-6950	6951-7000	7001-7050	7051-7100	7101-7200	7201-7250	7251-7300	7301-7350	7351-7450	7451-7500	7501-7550	7551-7580	7581-7598
Dienstzug		7601-7798	7801-7998	8001-8150	8151-8198	8201-8250	8251-8298	8301-8350	8351-8398	8401-8450	8451-8550	8551-8598	8601-8698	8701-8750	8751-8850	8851-8898	8901-8950	8951-8980	8981-8998
vorläufiger Zug	L1-L998																		
		A1-A100	A101-A200	A201-A250	A251-A280	A281-A300	A301-A320	A321-A350	A351-A380	A381-A400	A401-A500	A501-A550	A551-A700	A701-A750	A751-A800	A801-A840	A841-A870	A871-A910	A911-A920
Tourismus-zug	Y1-Y498	Y501-Y530	Y531-Y560	Y561-Y600	Y601-Y630	Y631-Y640	Y641-Y670	Y671-Y700	Y701-Y730	Y731-Y760	Y761-Y800	Y801-Y830	Y831-Y870	Y871-Y880	Y881-Y900	Y901-Y920	Y921-Y940	Y941-Y960	Y961-Y980

Tabelle B-1 Klassifizierung der Personenzüge

<b>Postzug</b>	
	<b>Überregional</b>
Post-Express	X1-X198
Paket-Schnell	X201-X998

Tabelle B-2 Klassifizierung der Postzüge

<b>Güterzug</b>		
	<b>Überregional</b>	<b>Regional-Direktion</b>
Fünf-geplant-Containerzug	80001-80498	80501-80998
Fünf-geplant-Güterzug	81001-81598	81501-81698
Schnell-Güterzug	81701-81998	
Kohle-Direktzug	82001-84998	
Erdöl-Direktzug	85001-85998	
Ganzzug (ohne Halt)	86001-86998	
Leer-Direktzug	87001-87998	
Direktzug (zwischen Rangierbahnhöfen)	10001-19998	
Direkter-Güterzug (zwischen Rangierbahnhof und Zielgüterbahnhof)	20001-29998	
Regional-Güterzug		30001-39998
Sammelgüterzüge	40001-44998	
Schwerlaste Güterzug	71001-72998	

Tabelle B-3 Klassifizierung der Güterzüge

### C. Hochgeschwindigkeitsstrecken in China



Abbildung C-1 Intercity Hochgeschwindigkeits-Bahnstrecken in Ballungsgebieten



Abbildung C-2 PDL Eisenbahnnetz (4+4 Gitter)

### D. Betriebliche Kennzahlen der chinesischen Bahn

Jahr	Summe [Mrd.CNY]	für Neubau[Mrd.CNY]	für Umbau[Mrd.CNY]
2003	69,226	52,862	16,364
2004	72,306	53,155	19,151
2005	109,852	88,018	21,834
2006	176,506	154,25	22,256
2007	201,078	178,999	22,079
2008	360,212	337,554	22,658

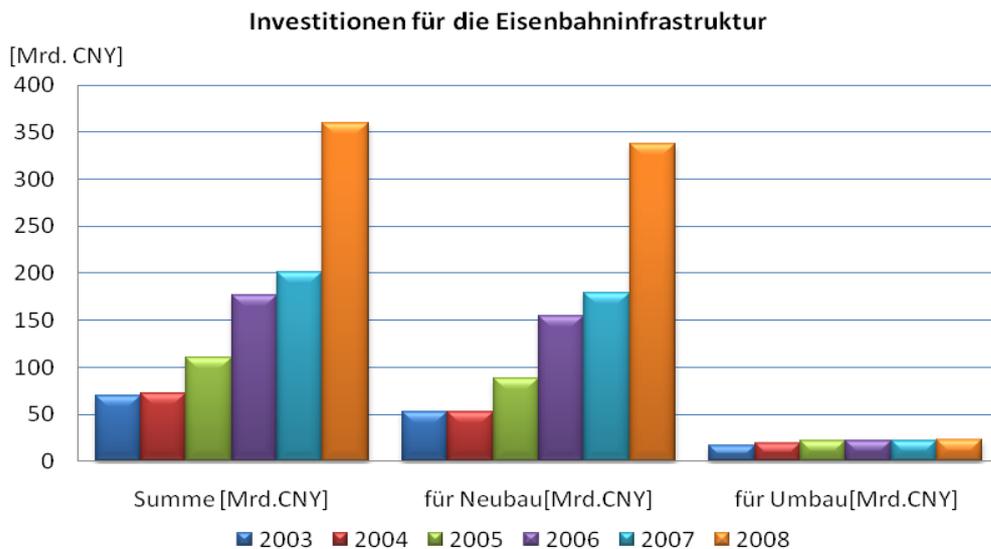


Abbildung D-1 Investitionen in die Eisenbahninfrastruktur (Quelle: [Min09])

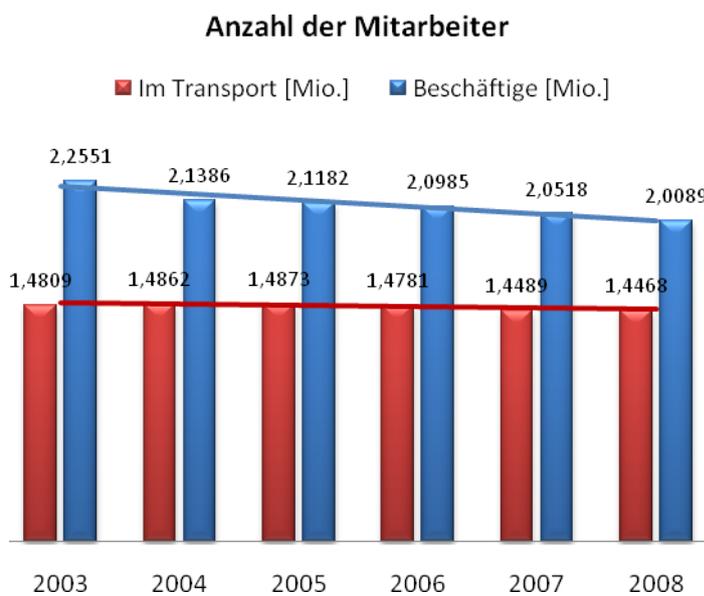


Abbildung D-2 Anzahl der Mitarbeiter (Quelle: [Min09])

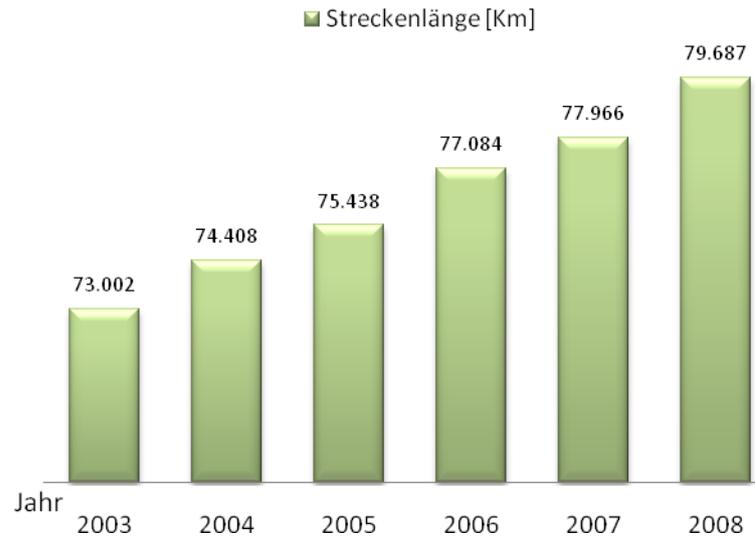


Abbildung D-3 Betriebene Strecken in China (Quelle: [Chi09])

### Beförderungsleistungen Eisenbahnverkehr (2003-2008)

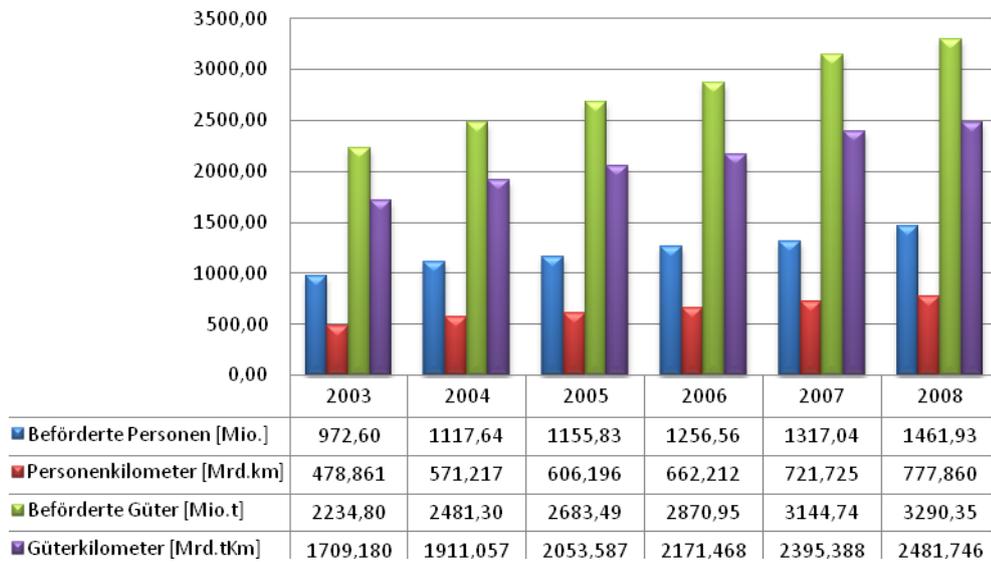


Abbildung D-4 Beförderungsleistungen der Eisenbahn in China (Quelle: [Chi09])

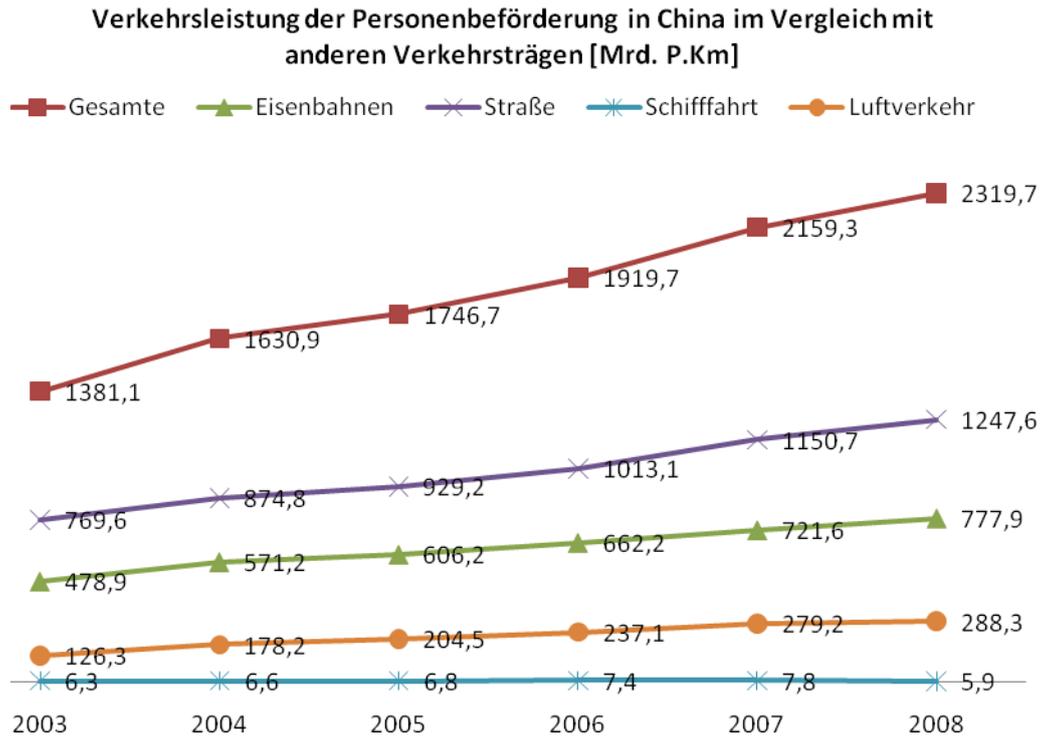


Abbildung D-5 Verkehrsleistung der Personenbeförderung in China im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern (Quelle: [Chi09])

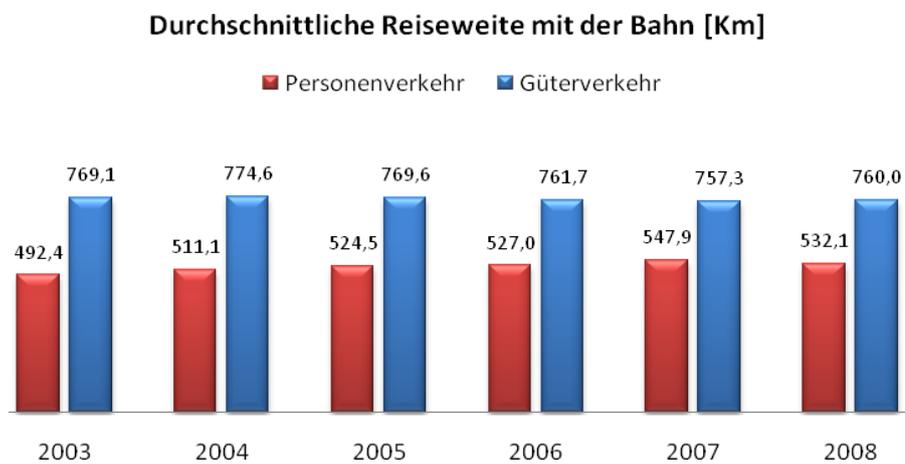


Abbildung D-6 Durchschnittliche Reiseweite mit der Bahn (Quelle: [Chi09])

Kennzahlen	Einheit	2004	2005	2006	2007	2008
Täglich gefahrene Strecken von Güterzuglokomotiven	[km]	455	458	465	480	483
Täglich gefahrene Strecken von Personenzuglokomotiven	[km]	612	650	671	758	812
Pünktlichkeit der Abfahrt von Güterzügen	[%]	96,5	97	97,4	97,2	96,9
Pünktlichkeit von Güterzügen unterwegs	[%]	96,2	96,9	97,3	97	96,8
Pünktlichkeit der Abfahrt von Personenzügen	[%]	99,8	99,5	99,8	99,8	99,7
Pünktlichkeit von Personenzügen unterwegs	[%]	95,9	98,4	99,4	99,1	98,9
Technische Geschwindigkeit von Personenzügen	[km/h]	73,7	74,2	74,7	78,8	80,1
Reisegeschwindigkeit von Personenzügen	[km/h]	64,4	65,2	65,4	68,9	69,6
Belastung der Passagierbeförderung	[10.000 P. km/km]	903	938	1002	1084	1210
Technische Geschwindigkeit von Güterzügen	[km/h]	46,7	46,3	46,2	47,6	47,2
Reisegeschwindigkeit von Güterzügen	[km/h]	32,2	32,1	32,1	33,2	32,8
Belastung der Güterbeförderung	[10.000 t. km/km]	2997	3140	3242	3475	3697
Umlaufzeit von Güterzügen	[Tag]	4,94	4,9	4,87	4,76	4,73
Be- für Entladezeit von Güterzügen	[h]	17,2	15,2	15,2	15,5	17,6

Tabelle D-1 Ausgewählte Kennzahlen der Chinesischen Staatseisenbahn (Quelle: [Chi09])

### E. Berechnungsbeispiel der Streckenauslastung mit Abzugsfaktor

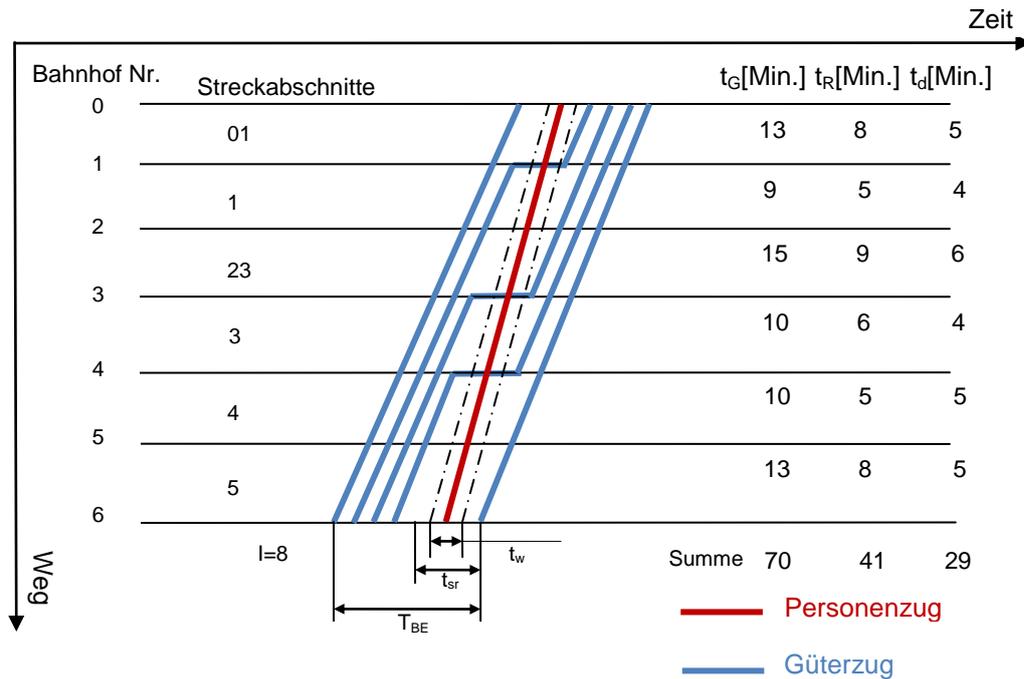


Abbildung E-1 Einlegen eines Schnellreisezugs im Fahrplan

Die Fahrzeiten des Rz und Gz zwischen Streckenabschnitten sind in Abb. E-1 dargestellt, die Zugfolgezeit der Gz ist 7 min und der Rz ist 6 min.

$l_{vor}=7, l_{fol} = 6$  und  $l = 7$

Mit Gleichung 4-14 ist

$$\varepsilon_w = \frac{t_w}{l} = \frac{l_{vor} + l_{fol}}{l} = \frac{7 + 6}{7} = 1,86$$

$t_z$  ist die Differenz zwischen der Zugfolgezeit der Güterzüge  $l$  und der Summe  $t_{d,i}$  der zwischen den Überholstellen. An der Untersuchungsgrenze kann die tatsächliche Zugfolgezeit zwischen dem vorausfahrenden Güterzug und dem folgenden Reisezug gleich oder größer als die maßgebende Zugfolgezeit sein, der Differenzwert  $t_{D,zug}$  soll zwischen 0 min und  $l-1 = 7-1 = 6$  min bleiben. Wegen des unterschiedlichen Differenzwerts können die Überholungen auf den unterschiedlichen Betriebsstellen auftreten, d. h., die Summen der  $t_{d,i}$  zwischen den Überholstellen sind unterschiedlich.

Die Berechnung der  $\varepsilon_z$  soll mittels einer Tabelle durchgeführt werden, der max. Wert der  $t_z$  bei jeder  $t_{D,zug}$  ist als maßgebende Größe ausgewählt, danach kann die  $t_z$  mit einem Mittelwert für den untersuchenden Reisezug grob geschätzt werden.

Nach der Festlegung der  $\epsilon_z$  kann der Abzugsfaktor des Reisezugs mit der Gleichung

$\epsilon_{sr} = \epsilon_w + \epsilon_z$  berechnet werden

Nr. Betriebsstelle	Nr. Streckenabschnitt	$t_d$	Differenzwert $t_{D,zug}$						
			0	1	2	3	4	5	6
0	1	5	0+5=5	1+5=6	2+5=7	3+5=8	4+5=9	5+5=10	6+5=11
			5-7<0	6-7<0	7-7=0	8-7=1	9-7=2	10-7=3	11-7=4
1	2	4	5+4=9	6+4=10	0+4=4	1+4=5	2+4=6	3+4=7	4+4=8
			9-7=2	10-7=3	4-7<0	5-7<0	6-7<0	7-7=0	8-7=1
2	3	6	2+6=8	3+6=9	4+6=10	5+6=11	6+6=12	0+6=6	1+6=7
			8-7=1	9-7=2	10-7=3	11-7=4	12-7=5	6-7<0	7-7=0
3	4	4	1+4=5	2+4=6	3+4=7	4+4=8	5+4=9	6+4=10	0+4=4
			5-7<0	6-7<0	7-7=0	8-7=1	9-7=2	10-7=3	4-7<0
4	5	5	5+5=10	6+5=11	0+5=5	1+5=6	2+5=7	3+5=8	4+5=9
			10-7=3	11-7=4	5-7<0	6-7<0	7-7=0	8-7=1	9-7=2
5	6	5	3+5=8	4+5=9	5+5=10	6+5=11	0+5=5	1+5=6	2+5=7
			8-7=1	9-7=2	10-7=3	11-7=4	5-7<0	6-7<0	7-7=0

Nr. Betriebsstelle	Nr. Streckenabschnitt	$t_d$	0	1	2	3	4	5	6
			0	1	5				
1	2	4			0	1	2	3	4
			2	3				0	1
2	3	6	1	2	3	4	5		0
					0	1	2	3	
3	4	5	3	4			0	1	2
			1	2	3	4			0
4	5	5							
			1	2	3	4	5	3	4
Max. $t_z$			3	4	3	4	5	3	4
$\bar{t}_z$			3,71						
$\epsilon_z$			3,71/7=0,53						
$\epsilon_{sr}$			1,86+0,53=2,39						

## F. Die Schritte der Leistungsfähigkeitsuntersuchung mit analytischen Verfahren in Deutschland

1. Beschaffung von Informationen bezüglich:
  - der vorhandenen Infrastruktur,
  - den fahrdynamischen Eigenschaften der eingesetzten Züge,
  - dem Betriebsprogramm,
  - dem Betrachtungszeitraum sowie
  - Daten zur Betriebsqualität wie z. B.
    - der Wert für die mittlere Einbruchsverspätung der Züge mit Einbruchsverspätungen ( $P_m$ ),
    - den Wert für die Summe der Folgeverspätungen je Tag ( $P_F$ ) oder
    - der Wert für die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Einbruchsverspätungen ( $W_e$ )
2. Berechnung der Fahrzeiten und Sperrzeiten für alle Fahrten
3. Ermittlung der Mindestzugfolgezeit

Die Mindestzugfolgezeiten  $\min t_{zij}$  aus der Differenz der Sperrzeitentreppen für jeden Zugfolgeabschnitt kann nach folgender Formel berechnet werden.

$$\min t_{zij} = t_{Fbi1} + t_{si} + t_{afi1} + \sum_{x=1}^k t_{fix} + t_{rik} + t_{Fai1} + t_{Fbjk} + t_{si} + t_{afik} - \sum_{x=1}^{k-1} t_{fjx} - t_{Fbj1} - t_{si} - t_{afj1}$$

(Ein-Richtungsbetrieb)

Gleichung F-1

$$\min t_{zij} = t_{Fbj1} + t_{si} + t_{afj1} + \sum_{x=1}^k t_{fjx} + t_{rjk} + t_{Fajk} + t_{ri1} + t_{Fai1} + t_{fi1} - \sum_{x=1}^k t_{fix} - t_{rik} - t_{Fai1}$$

(Zwei-Richtungsbetrieb)

Gleichung F-2

$\min t_{zij}$		Differenz der Sperrzeitentreppen zwischen dem vorausfahrenden Zug i und dem unmittelbar folgenden Zug j
$t_{Fbi1}$	$t_{Fbj1}$	Fahrstraßenbildezeit des ersten Zugfolgeabschnittes für den Zug i,j
$t_{afi1}$	$t_{afj1}$	Annäherungsfahrzeit des Zuges i,j, bezogen auf den ersten Zugfolgeabschnitt
$\sum_{x=1}^k t_{fix}$	$\sum_{x=1}^k t_{fjx}$	reine Fahrzeit des Zuges i,j vom Beginn des ersten Zugfolgeabschnittes bis zum Ende des k-ten Zugfolgeabschnittes
$t_{rik}$	$t_{rjk}$	Räumfahrzeit des Zuges i,j, bezogen auf den k-ten Zugfolgeabschnitt
$t_{Fai1}$	$t_{Fajk}$	Fahrstraßenauflösezeit des k-ten Zugfolgeabschnittes für den Zug i,j
$t_{Fbjk}$		Fahrstraßenbildezeit des k-ten Zugfolgeabschnittes für den Zug i
$t_{afjk}$		Annäherungsfahrzeit des Zuges j, bezogen auf den k-ten Zugfolgeabschnitt

$t_{ri1}$	$t_{rik}$	Räumfahrzeit des Zuges i, bezogen auf den ersten, k-ten Zugfolgeabschnitt
$t_{si}$		Sichtzeit
$t_{Fai1}$	$t_{Faik}$	Fahrstraßenauflösezeit des ersten, k-ten Zugfolgeabschnittes für den Zug i
$t_{fi1}$		reine Fahrzeit des Zuges i im ersten Zugfolgeabschnitt
$\sum_{x=1}^{k-1} t_{fjx}$	$\sum_{x=1}^{k-1} t_{fix}$	reine Fahrzeit des Zuges i, j vom Beginn des ersten Zugfolgeabschnittes bis zum Ende des (k-1)-ten Zugfolgeabschnittes
$t_{Fbj1}$		Fahrstraßenbildezeit des ersten Zugfolgeabschnittes für den Zug j
$t_{afj1}$		Annäherungsfahrzeit des Zuges j, bezogen auf den ersten Zugfolgeabschnitt

Der größte positive Wert  $\min t_{zij}$  ist die maßgebende Mindestzugfolgezeit  $\min t_{zij}$  für den Zugfolgefall i - j im untersuchten Streckenabschnitt

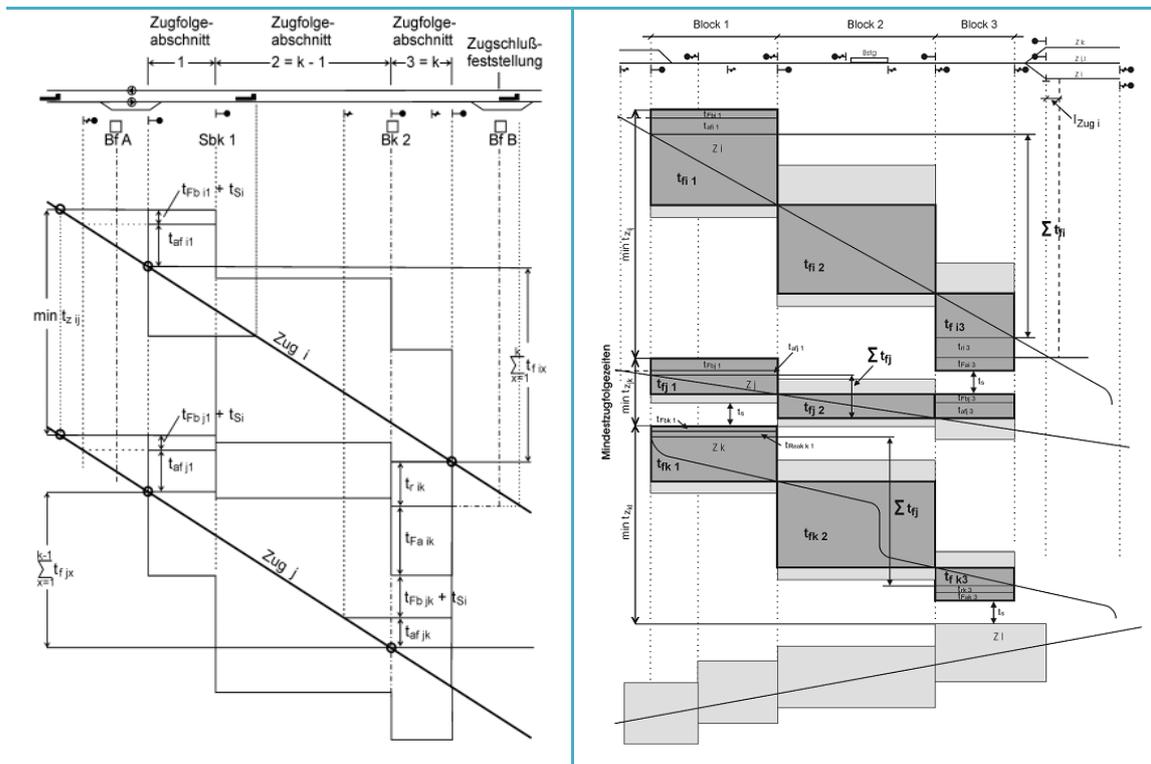


Abbildung F-1 grafische Ermittlung der Mindestzugfolgezeiten im Ein-Richtungsbetrieb und Zwei-Richtungsbetrieb [Sie05]

#### 4. Mittlere Mindestzugfolgezeit

Die mittlere Mindestzugfolgezeit kann nach einem fahrplanabhängigen oder einem fahrplanunabhängigen Verfahren ermittelt werden.

##### **Fahrplanabhängiges Verfahren (für Ein-Richtungsbetrieb)**

$$T_B = \sum_{i,j=1}^m n_{ij} * \text{mint}_{zij} \quad \text{Gleichung F-3}$$

Die Belegungszeit  $T_B$  des untersuchenden Streckenabschnittes wird nach der Gleichung F-3 berechnet.

Aus der Belegungszeit  $T_B$  und der Anzahl  $N$  aller Züge erhält man die mittlere Mindestzugfolgezeit  $\overline{\text{mint}}_z$

$$\overline{\text{mint}}_z = \frac{T_B}{N} \quad \text{Gleichung F-4}$$

- $i$  vorausfahrender Zug der Zuggattungsgruppe  $i$
- $j$  unmittelbar folgender Zug der Zuggattungsgruppe  $j$
- $n_{ij}$  Anzahl der Zugfolgefälle zwischen den Zuggattungsgruppen  $i$  und  $j$
- $\text{mint}_{zij}$  Mindestzugfolgezeiten zwischen den Zuggattungsgruppen  $i$  und  $j$
- $m$  Anzahl der Zuggattungsgruppen (Modellzuggruppen)
- $\overline{\text{mint}}_z$  mittlere Mindestzugfolgezeit

### Fahrplanunabhängiges Verfahren (für Ein- und zwei- Richtungsbetrieb)

Wenn kein Fahrplan vorhanden ist, treten die verschiedenen Zugfolgefälle zufällig auf. In diesem Fall muss die Anzahl der Züge je Modellzug bekannt sein.

$$\overline{\text{mint}}_z = \frac{\sum_{i,j=1}^m n_i * n_j * \overline{\text{mint}}_{zij}}{\sum_{i,j=1}^m n_i * n_j} \quad \text{Gleichung F-5}$$

- $n_i, n_j$  Anzahl der Züge je Modellzug  $i$  bzw.  $j$

#### 5. Berechnung der Pufferzeiten

Zur fließenden Durchführung des Bahnbetriebs müssen zwischen den Zugfolgen bestimmte Zeitlücken als Puffer vorbereitet werden. Diese Reserven zu Pufferzeiten sind ein Maß zur Bemessung der Leistungsfähigkeit. Der mittlere Wert der Zugpufferzeit wird wie folgt berechnet:

$$\bar{r} = \frac{T_{ges} - T_B}{N} \quad \text{Gleichung F-6}$$

- $T_{ges}$  tägliche Betriebszeit von 1440 Minuten
- $N$  Anzahl der Züge oder Zugfolgefälle pro Tag

$T_B$  Gesamtbelegungszeit [min/Tag]

Um eine bestimmte Betriebsqualität durch Begrenzung der Summe der Folgeverspätungen zu gewährleisten, muss die erforderliche mittlere Pufferzeit  $\overline{r_{eff}}$  kleiner als  $\overline{r}$  sein. Die Berechnung von  $\overline{r_{eff}}$  kann nach der Warteschlangentheorie und unter Berücksichtigung der Staukapazität im untersuchten Streckenabschnitt durch Begrenzung der Summe der Folgeverspätungen  $P_F$  mit Formel und Diagramm erfolgen.

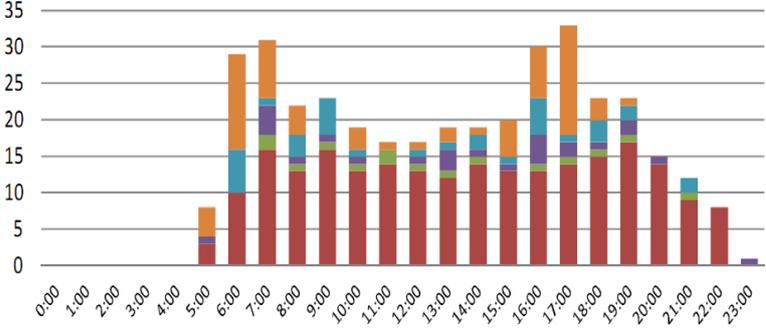
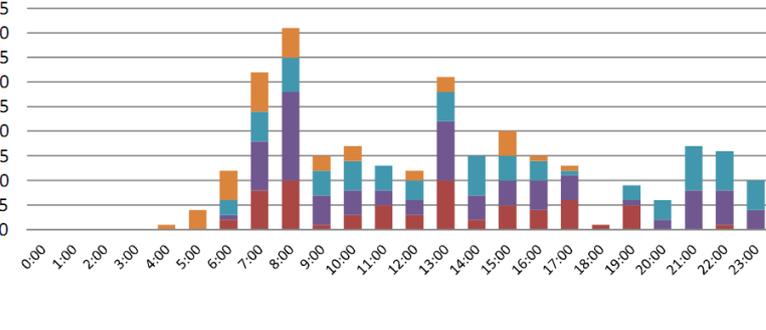
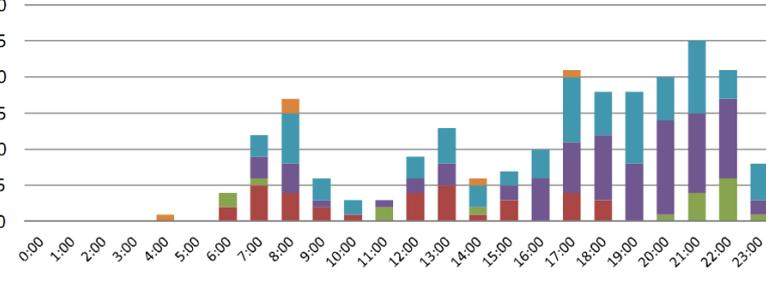
#### 6. Ermittlung der Leistungsfähigkeit

Mit der ermittelten erforderlichen mittleren Pufferzeit  $\overline{r_{eff}}$  ergibt sich die Leistungsfähigkeit  $L_{Str}$  eines Streckenabschnitts nach der Forme

$$L_{Str} = \frac{T_{ges}}{\text{mint}_z + r_{eff}} \quad [\text{Züge/Tag}]$$

*Gleichung F-7*

## G. Verteilungsdiagramm des Schienenpersonenverkehrs in China

Ganglinien	Bemerkungen
<p style="text-align: center;"><b>Reiseweite ≤ 200 Km</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Früh-HVZ</li> <li>▪ Nachmittags-HVZ</li> <li>▪ kein Nachtzug</li> <li>▪ Nahverkehr</li> <li>▪ D-Zug als Hauptträger in Ballungsgebiet</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>200 Km &lt; Reiseweite ≤ 600 Km</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Früh-HVZ</li> <li>▪ Mittags-HVZ</li> <li>▪ Nach 19:00 Uhr bietet sich der Nachtzug für die Reiseentfernung über 500 km an</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>600 Km &lt; Reiseweite ≤ 1500 Km</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abend-HVZ wegen Angebotsstrategien, die meisten Züge fahren über Nacht.</li> </ul>

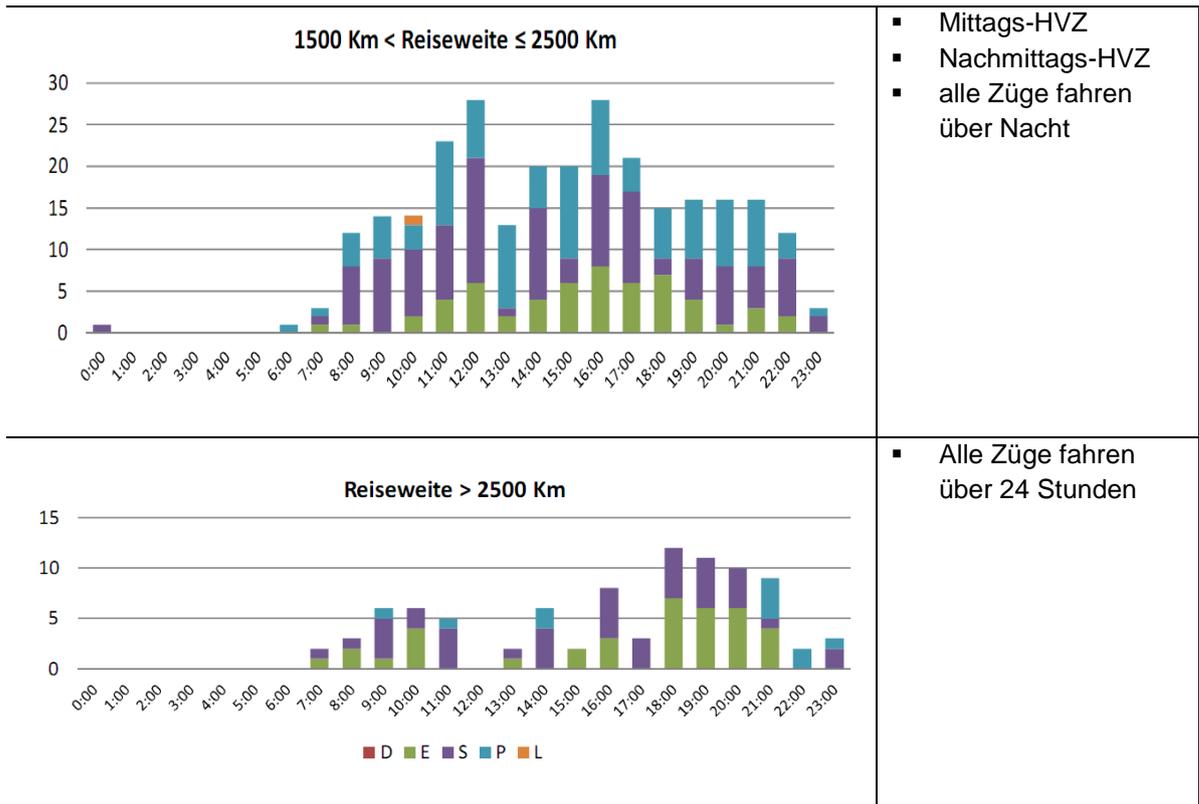


Tabelle G-1 Ganglinien von Abfahrtszeiten mit Sortierung nach Reiseweite und Modellzug

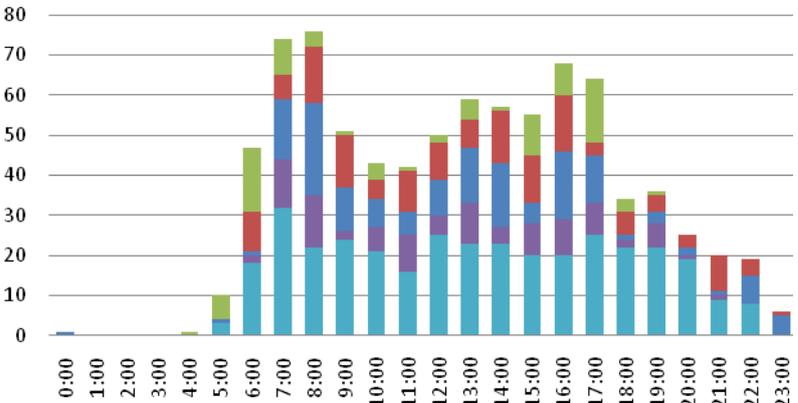
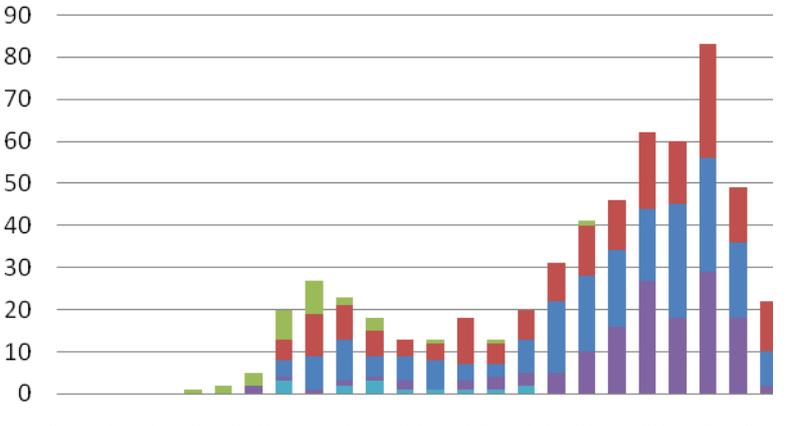
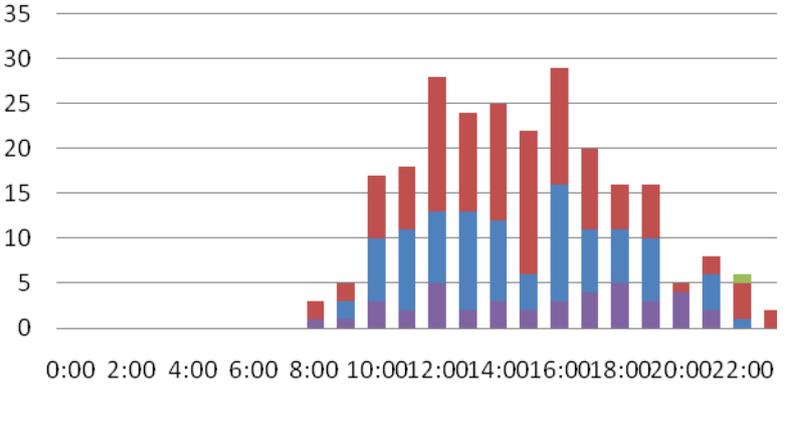
Ganglinien	Bemerkungen
<p style="text-align: center;"><b>0+24D ≤ t ≤ 7+24D</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Früh-HVZ</li> <li>▪ Nachmittags-HVZ</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>7+24D ≤ t ≤ 17+24D</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abend-HVZ</li> <li>▪ Ab 12:00 Uhr fahren die meisten Züge mindestens über eine Nacht.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>17+24D ≤ t ≤ 24+24D</b></p>  <p style="text-align: center;"> <span style="color: lightblue;">■</span> D               <span style="color: purple;">■</span> E               <span style="color: darkblue;">■</span> S               <span style="color: red;">■</span> P               <span style="color: green;">■</span> L         </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mittags-HVZ</li> <li>▪ Nachmittags-HVZ</li> <li>▪ Alle Züge fahren mindestens über eine Nacht.</li> </ul>

Tabelle G-2 Ganglinien von Abfahrtszeiten mit Sortierung nach Reisedauer und Modellzug

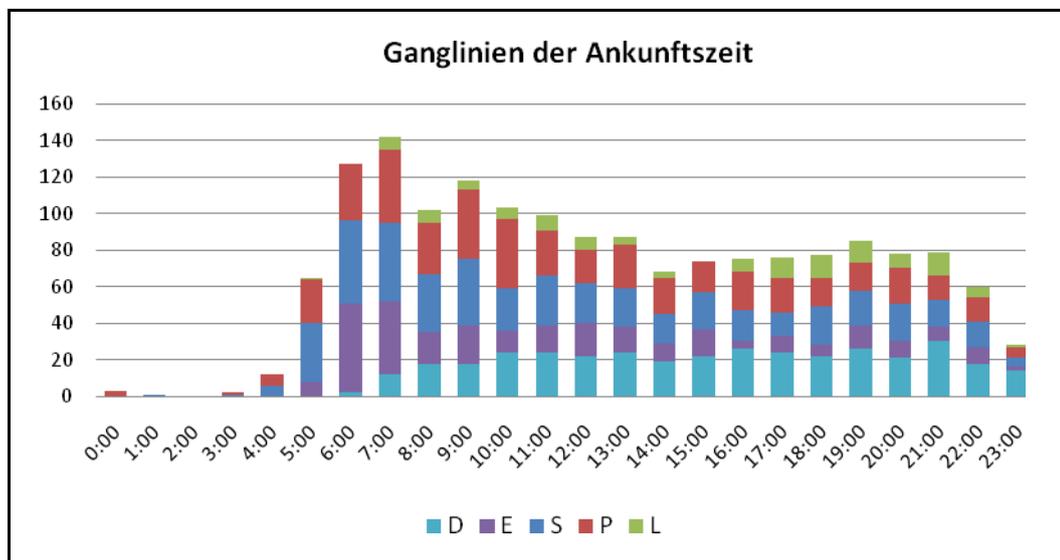
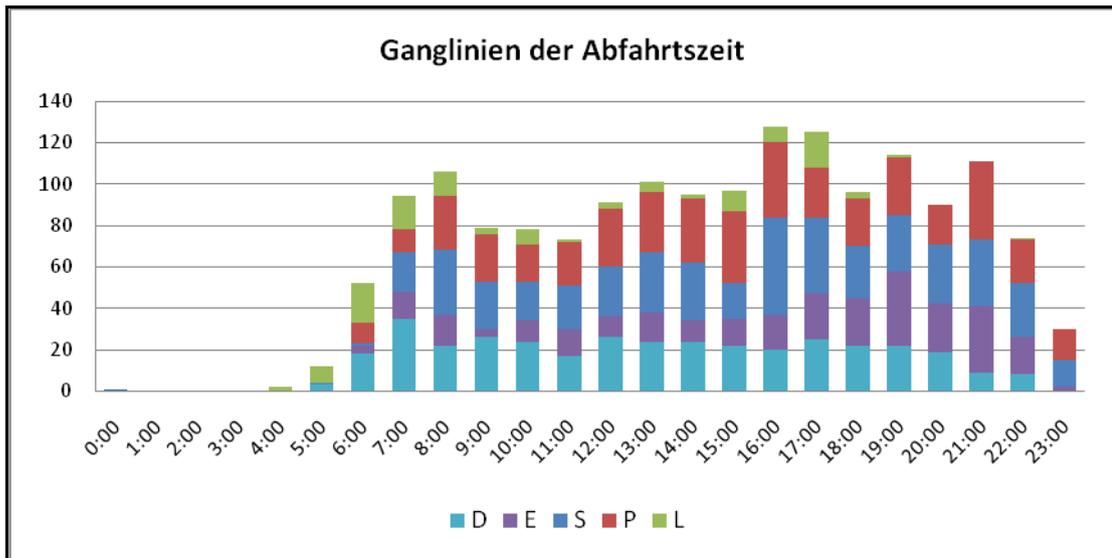
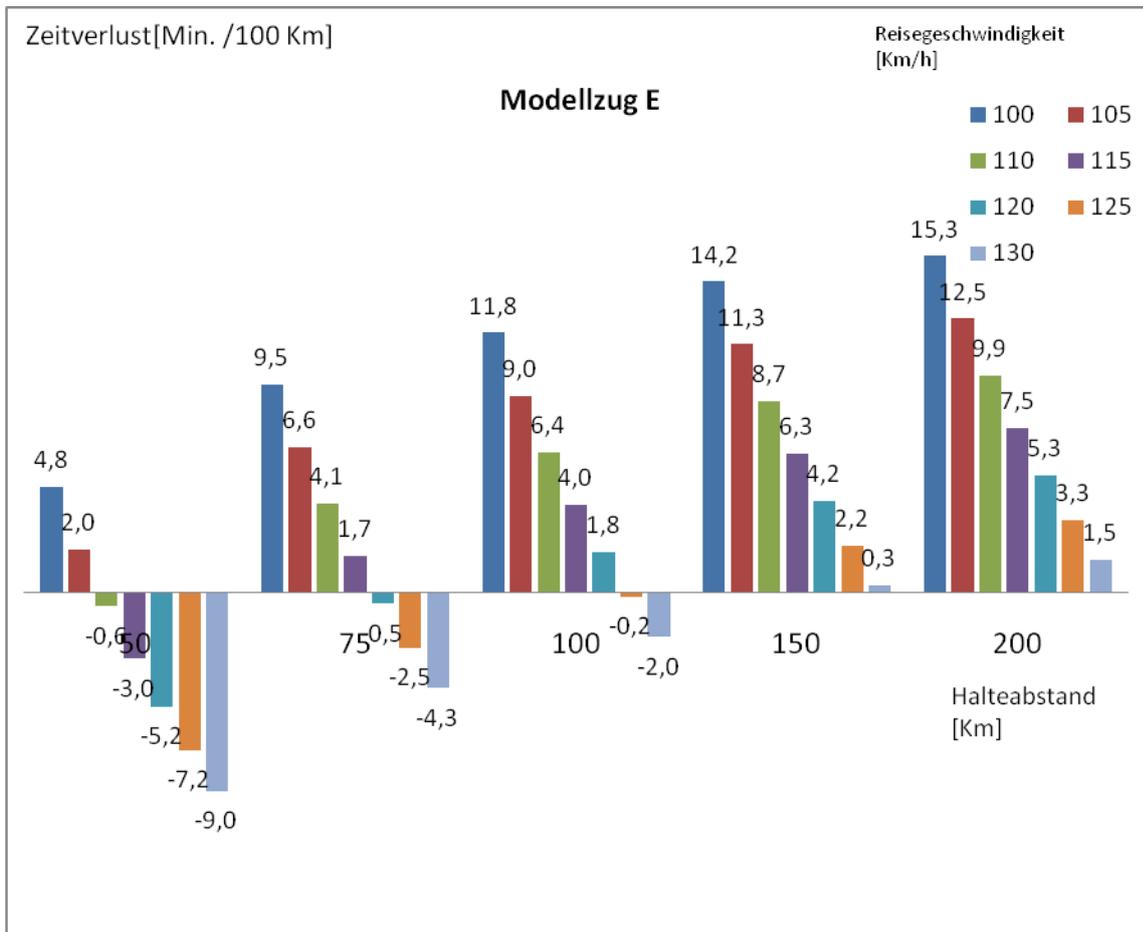
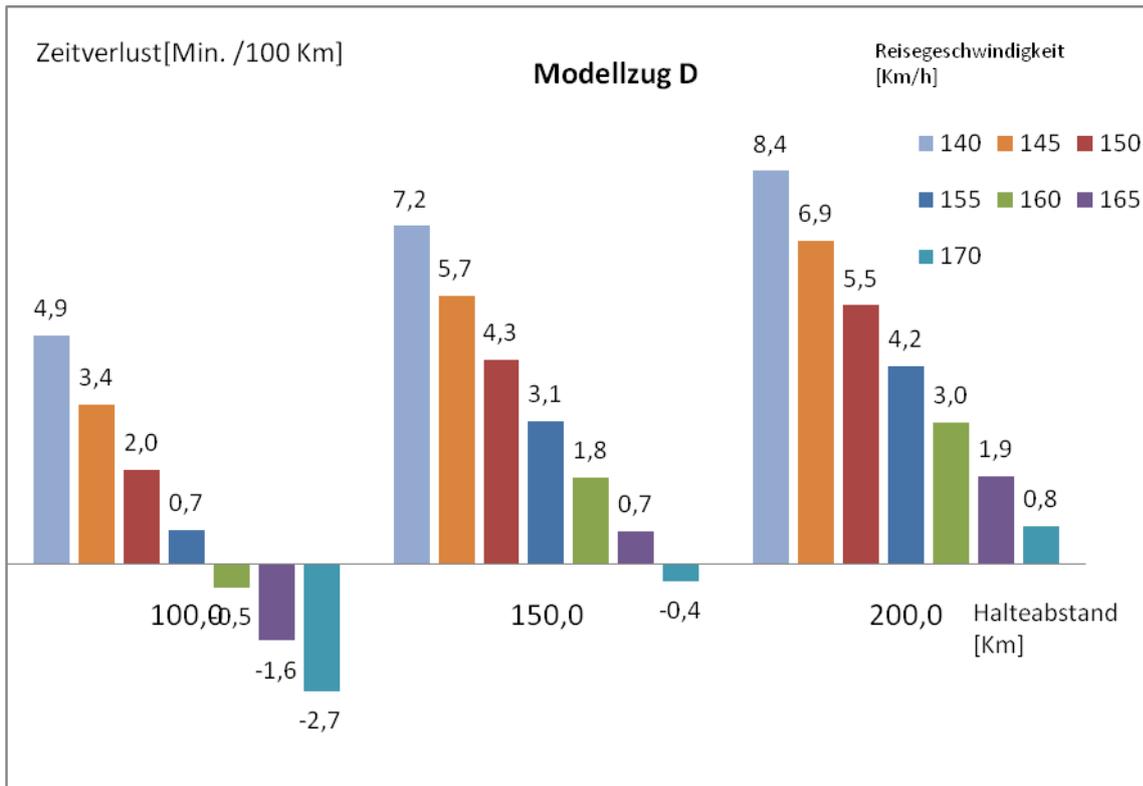
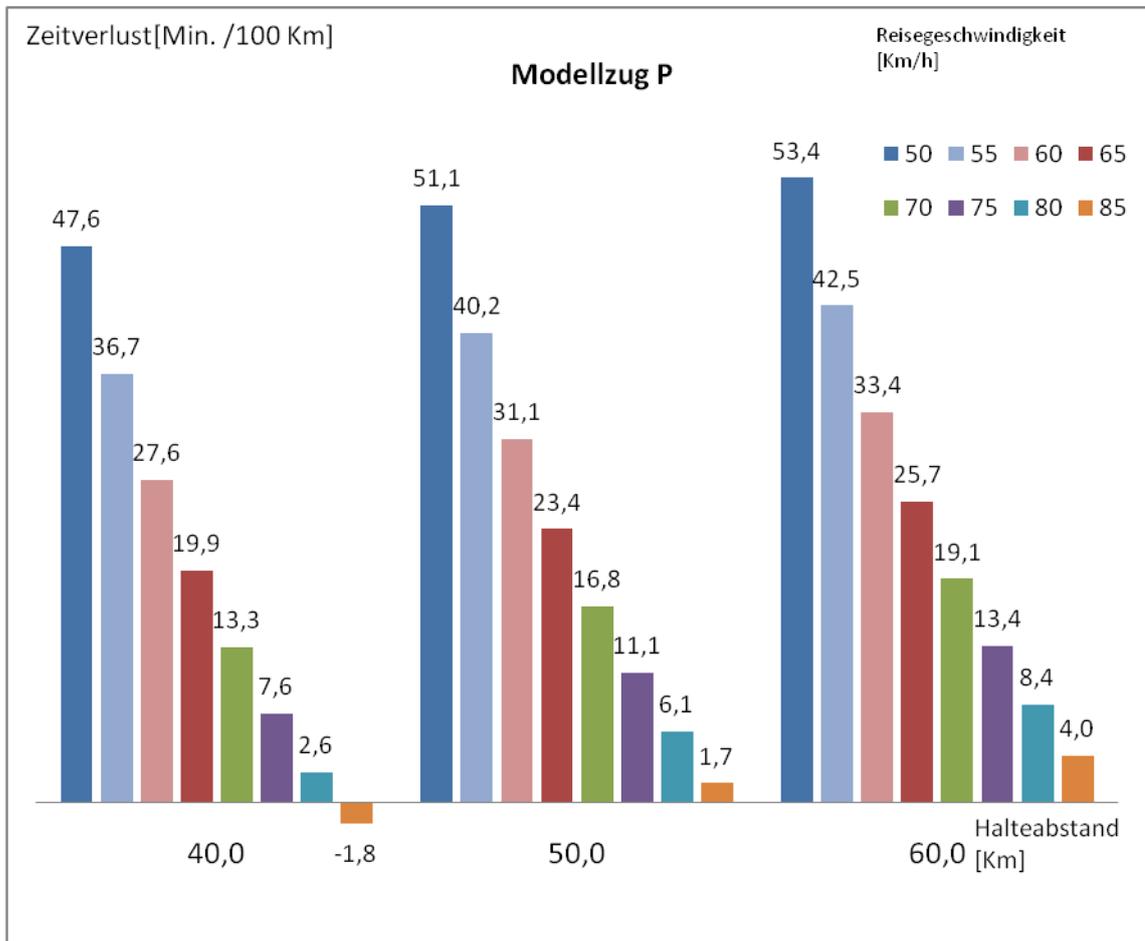
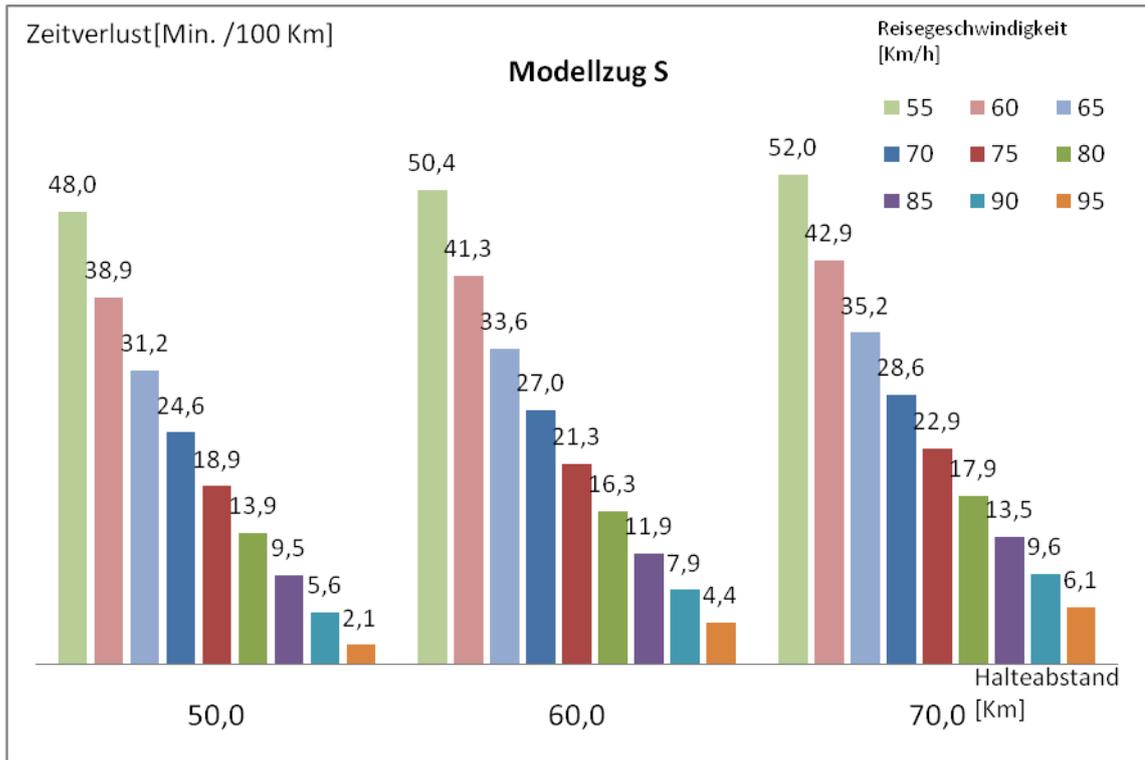


Abbildung G-3 Ganglinien der Abfahrtszeit und Ankunftszeit von 1.649 Zugfahrten

### H. Zeitverlust jedes Modellzuges je 100 km





## I. Berechnungsbeispiel der Signalisierung bzw. Aufteilung der Blocklänge

Für eine 20 km lange zweigleisige Strecke zwischen den zwei Signalen 1001 und 200A ist eine Neusignalisierung vorzunehmen. Auf der Strecke fahren die Personenzüge der Länge  $L_z = 400$  m mit der Geschwindigkeit  $V=160$  km/h,  $a=b=0,7$  m/s<sup>2</sup> und die Güterzüge der Länge  $L_z = 700$  m mit der Geschwindigkeit  $V=100$  km/h,  $a=b=0,5$  m/s<sup>2</sup>. Auf der Untersuchungsstrecke ist ein 4 km langer Streckenabschnitt wegen der Topografie und der Leistungsdaten des Zuges in seiner Geschwindigkeit für Güterzüge auf 60 km/h und für Personenzüge auf 120 km/h beschränkt. Die max. Länge der Gleisstromkreise beträgt 2600 m, die Sichtzeit  $t_{Sicht} = 12$  s, die Fahrstraßenbildezeit  $t_{Fa} = 12$  s und der Fahrstraßenauflösezeit  $t_{Fa} = 6$  s.

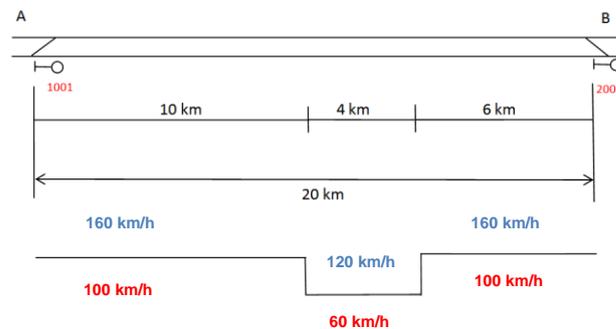


Abbildung I-1 Beispielinfrastruktur und die zulässige Geschwindigkeit

	Modellzug 1 Personenzug	Modellzug 2 Güterzug
Streckenfaktoren	$t_{fb} = 12 \text{ s}, t_{fa} = 6 \text{ s}, t_{\text{sicht}} = 12 \text{ s}, C = t_{fb} + t_{fa} + t_{\text{sicht}} = 30 \text{ s}$	
Zugsbremsweg	$l_{160-120} = l_{160-120} = \frac{\left(\frac{160}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{120}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,7} = 617,3 \text{ m}$	$l_{100-60} = l_{60-100} = \frac{\left(\frac{100}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{60}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,5} = 493,8 \text{ m}$
$t_{AN}$	493 s	850 s
$t_{raum}$	$\frac{0,4}{160} \cdot 3600 = 9 \text{ s}$	$\frac{0,7}{100} \cdot 3600 \approx 26 \text{ s}$
$t_{zf, \text{min}} = 2 \text{ min.}$	$4 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{Räum} \leq 120 \rightarrow N \geq 18$	$4 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{Räum} \leq 120 \rightarrow N \geq 37$
	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{18} \approx 913 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{18} \approx 1218 < 2600$	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{37} \approx 383 < 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{37} \approx 639 < 2600$ <b>Verkleinern N</b>
	<b>Var.11 N=18 m=17</b>	<b>Var.21 Vergrößerung der min. Zugfolgezeit</b>
$t_{zf, \text{min}} = 4 \text{ min.}$	$4 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{Räum} \leq 240 \rightarrow N \geq 9$	$4 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{Räum} \leq 240 \rightarrow N \geq 16$
	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 1826 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 2435 < 2600$	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{16} \approx 885 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{16} \approx 1476 < 2600$ <b>Verkleinern N</b>
	<b>Var.12 N=9 m=8</b>	<b>Var.22 N=16 m=15</b>
$t_{zf, \text{min}} = 6 \text{ min.}$	$4 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{Räum} \leq 360 \rightarrow N \geq 6$	$4 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{Räum} \leq 360 \rightarrow N \geq 11$
	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{6} \approx 2739 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{6} \approx 3652 > 2600 \rightarrow N \geq 9$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 1826 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 2435 < 2600$	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{11} \approx 1288 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{11} \approx 2147 < 2600$
	<b>Var.13 N=9 m=8</b>	<b>Var.23 N=11 m=10</b>

Tabelle I-1 Berechnungsbeispiel zur Ermittlung der Anzahl der Blöcke mit der Gleichung 6-11

	Modellzug 1 Personenzug	Modellzug 2 Güterzug
Streckenfaktoren	$t_{f0} = 12 \text{ s}, t_{f3} = 6 \text{ s}, t_{\text{sicht}} = 12 \text{ s}, C = t_{f0} + t_{f3} + t_{\text{sicht}} = 30 \text{ s}$	
Zugsbremsweg	$l_{160-120} = l_{160-120} = \frac{\left(\frac{160}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{120}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,7} = 617,3 \text{ m}$	$l_{100-40} = l_{40-100} = \frac{\left(\frac{100}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{40}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 0,5} = 648,1 \text{ m}$
$t_{AN}$	493 s	850 s
$t_{\text{raum}}$	$\frac{0,4}{160} \cdot 3600 = 9 \text{ s}$	$\frac{0,7}{100} \cdot 3600 \approx 26 \text{ s}$
$t_{zf, \text{min}} = 2 \text{ min.}$	$C + 2 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{R\text{äum}} \leq 120 \rightarrow N \geq 13$	$C + 2 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{R\text{äum}} \leq 120 \rightarrow N \geq 27$
	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{13} \approx 1264 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{13} \approx 1686 < 2600$	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{27} \approx 525 < 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{27} \approx 875 < 2600$ <b>Verkleinern N</b>
	<b>Var.11 N=13 m=12</b>	<b>Var.21 Vergrößerung der min. Zugfolgezeit</b>
$t_{zf, \text{min}} = 4 \text{ min.}$	$C + 2 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{R\text{äum}} \leq 240 \rightarrow N \geq 5$	$C + 2 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{R\text{äum}} \leq 240 \rightarrow N \geq 10$
	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{5} \approx 3287 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{5} \approx 4382 < 2600 \rightarrow N \geq 9$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 1826 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 2435 < 2600$	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{10} \approx 1417 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{10} \approx 2362 < 2600$
	<b>Var.12 N=9 m=8</b>	<b>Var.22 N=10 m=9</b>
$t_{zf, \text{min}} = 6 \text{ min.}$	$C + 2 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{R\text{äum}} \leq 360 \rightarrow N \geq 4$	$C + 2 \cdot \frac{T_{AN}}{N} + t_{R\text{äum}} \leq 360 \rightarrow N \geq 6$
	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{4} \approx 4108 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{4} \approx 5478 > 2600 \rightarrow N \geq 9$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{120}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 1826 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{160}{3,6} \cdot \frac{493}{9} \approx 2435 < 2600$	$l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{6} \approx 2361 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{6} \approx 3935 > 2600 \rightarrow N \geq 10$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{60}{3,6} \cdot \frac{850}{10} \approx 1417 > 800$ $l_B = v \cdot \frac{T_{AN}}{N} = \frac{100}{3,6} \cdot \frac{850}{10} \approx 2362 < 2600$
	<b>Var.13 N=9 m=8</b>	<b>Var.23 N=10 m=9</b>

Tabelle I-2 Berechnungsbeispiel zur Ermittlung der Anzahl der Blöcke mit der Gleichung 6-12

Die im Beispiel mit der Gleichung 6-11 und 6-12 ermittelten Entwurfsvarianten können in folgender Tabelle verglichen werden.

Mit Gleichung 6-11	Mit Gleichung 6-12
Var.11 N=18	Var.11 N=13
leistungsfähige Variante für Personenzüge.	
Personenzug $t_{zf,Pz}=2$ min Güterzug $t_{zf,Gz}=8$ min	Personenzug $t_{zf,Pz}=2$ min Güterzug $t_{zf,Gz}=6$ min
Var.12 und Var.13 N=9	Var.12 und Var.13 N=9
Kostengünstige Variante für die Infrastruktur. Wegen der Beschränkung der zulässigen Länge des Blockabschnitts kann die Anzahl der Signale nicht mehr reduziert werden.	
Personenzug $t_{zf,Pz}=4$ min Güterzug $t_{zf,Gz}=13$ min	Personenzug $t_{zf,Pz}=4$ min Güterzug $t_{zf,Gz}=8$ min
Var.23 N=11	Var.22 und Var.23 N=11
Leistungsfähige Variante für Güterzüge, die Zugfolgezeit von Güterzüge kann mit Kürzung der Länge des Blockabschnitts in beschränkten Streckenabschnitten reduziert werden.	
Personenzug $t_{zf,Pz}=4$ min Güterzug $t_{zf,Gz}=6$ min	Personenzug $t_{zf,Pz}=3$ min Güterzug $t_{zf,Gz}=4$ min

Tabelle I-3 Vergleiche der mit Gleichungen 6-15 und 6-16 ermittelten Entwurfsvarianten

Aus Tabelle I-1 kann man ersehen, dass die Zugfolgezeit von Güterzügen wegen der Beschränkung der streckenzulässigen Geschwindigkeit und der Länge des Blockabschnitts nicht geringer als 6 min sein kann, mit der Gleichung 6-12 kann jedoch die Zugfolgezeit von Güterzügen in Tabelle I-2 auf 4 min reduziert werden. Für die erwünschte Zugfolgezeit von 2 min beträgt die erforderliche Mindestanzahl der Signale mit der Ermittlung durch die Gleichung 6-11 5 Signale mehr als die mit der Ermittlung durch Gleichung 6-12. Durch Vergleiche der Varianten und Zugfolgezeiten in Tab. I-3 kann man nachweisen, dass die Behandlung der Vorbereitungszeit als Konstante vorteilhaft für die optimale Nutzung der Bahnstrecke ist und zu einem wirtschaftlichen Entwurf der Infrastruktur führt.

Die endgültige Festlegung der Signalisierung soll anhand der gewünschten Betriebsprogramme bzw. Betriebsleistungen entschieden werden. Schließlich können

die Standorte der Signale und die Länge des Blockabschnitts nach ausgewählter Variante in dem Zeit-Weg-Diagramm mit konstruktiven Verfahren ermittelt werden.

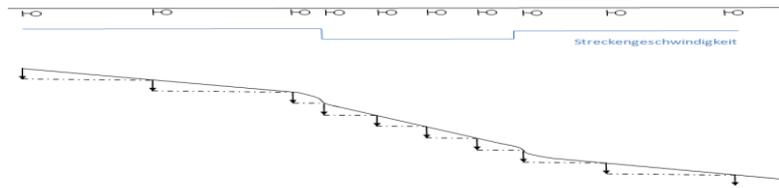


Abbildung I-2 Konstruktion der Signalstandorte

## J. Untersuchungsstrecke im Railsys<sup>®</sup>-Modell

Kürzel	Betriebsstelle	Kürzel	Betriebsstelle	Kürzel	Betriebsstelle
<b>nd</b>	ningdong	6bd	liu bai du	xzz	xin zha zhen
<b>nxsx</b>	nanxing shangxing	Weit	weiting	zjx	zhou jing xiang
<b>xxs1</b>	xxs1	bn	beng niu	zy	Zheng Yi
<b>shx</b>	Shanghai Xi	gz	gao zi	NXX	Nan Xiang Xi
<b>sx</b>	shangxing	hl	Heng lin	wt	Wang Ting
<b>XWC</b>	Xinweicun	hsg	Hu Shu Guan	cz	chang zhou
<b>xx</b>	xiaxing	jq	Jiang Qiao	lt	long tan
<b>lc</b>	lv cheng	ljb	Lu Jia Bang	zj	zhen jiang
<b>ls</b>	luo she	lk	Ling Kou	zjn	zhen jiang nan
<b>sf</b>	shuo fang	ss	san shan	HD	Huang Du
<b>czd</b>	chang zhou dong	szx	Su Zhou Xi	wx	wu xi
<b>AT</b>	An Ting	wc	wan cheng	sz	Su Zhou
<b>dy</b>	dan yang	wkt	Wai Kua Tang	NJ	Nanjing
<b>ks</b>	Kun Shan	wxb	wu xi bei	sh	Shanghai
<b>qsy</b>	qi shu yan	wxn	Wu Xi Nan		
<b>xs</b>	xia shu	xxs	Xi xia shan		

Tabelle J-1 Betriebsstellen und ihre Kürzel im Railsys<sup>®</sup>-Modell

Signalsystem: automatische Auflösung.

Fahrstraßenbildezeit=12 s

Fahrstraßenauflösezeit=6 s

Mehrabschnittsignalisierung: 4-Abschnitt

Abschnitt	V <sub>max</sub> [km/h]
1	200
2	160
3	120

Wartungs- fenster	Strecken- abschnitt	Zeitraum	Start	Ende	Startbahnhof	Zielbahnhof
0001	nj-zj	jeweils tgl. von 21:50 Uhr bis 22:50 Uhr	21:50	22:50	Nanjing	zhen jiang
0002	zj-dy	jeweils tgl. von 22:10 Uhr bis 23:30 Uhr	22:10	23:30	zhen jiang	dan yang
0003	dy-cz	jeweils tgl. von 22:35 Uhr bis 23:50 Uhr	22:35	23:50	dan yang	chang zhou
0004	cz-wx	jeweils tgl. von 23:00 Uhr bis 0:20 Uhr	23:00	24:20	chang zhou	wu xi
0005	wx-sz	jeweils tgl. von 23:35 Uhr bis 0:45 Uhr	23:35	24:45	wu xi	Su Zhou
0006	sz-ks	jeweils tgl. von 23:50 Uhr bis 1:15 Uhr	23:50	25:15	Su Zhou	Kun Shan
0007	ks-sh	jeweils tgl. von 0:25 Uhr bis 1:40 Uhr	00:25	01:40	Kun Shan	Shanghai
0008	nj-zj	jeweils tgl. von 4:55 Uhr bis 5:15 Uhr	04:55	05:15	Nanjing	zhen jiang
0009	zj-dy	jeweils tgl. von 5:10 Uhr bis 5:40 Uhr	05:10	05:40	zhen jiang	dan yang
0010	dy-cz	jeweils tgl. von 5:45 Uhr bis 5:50 Uhr	05:45	05:50	dan yang	chang zhou
0011	cz-wx	jeweils tgl. von 5:40 Uhr bis 6:15 Uhr	05:40	06:15	chang zhou	wu xi
0012	wx-sz	jeweils tgl. von 5:55 Uhr bis 6:30 Uhr	05:55	06:30	wu xi	Su Zhou
0013	sz-ks	jeweils tgl. von 6:10 Uhr bis 6:30 Uhr	06:10	06:30	Su Zhou	Kun Shan
0014	ks-sh	jeweils tgl. von 6:40 Uhr bis 6:50 Uhr	06:40	06:50	Kun Shan	Shanghai

Tabelle J-2 Sperrzeiten aufgrund von Instandhaltungsarbeiten

IST-Fahrplan					
Zug Nr.	Zug gattung	Ab. Bf	An. Bf	Abf. Zeit	Ank. Zeit
26223	Gz	xx	wkt	0:03:00	6:00:00
K 527	FRz	NJ	sh	0:13:00	3:41:00
36341	Gz	xx	czd	0:29:00	8:43:30
N 457-460	FRz	NJ	sh	0:33:00	3:53:00
N 405-408	FRz	NJ	sh	0:39:00	4:43:00
2525-28	FRz	NJ	sh	0:49:00	5:00:00
T 177	FRz	NJ	sh	1:08:00	4:11:00
5071	FRz	NJ	sh	1:22:00	5:17:00
K 289-292	FRz	NJ	sh	1:28:00	5:07:00
26225	Gz	xx	NXX	1:46:00	15:41:00
K 375-378	FRz	NJ	sh	1:50:00	5:42:00
1341-44	FRz	NJ	sh	1:58:00	5:50:00
K 359-362	FRz	NJ	sh	2:23:00	5:57:00
K 151-154	FRz	NJ	sh	2:40:00	6:34:00
T 33	FRz	NJ	sh	2:54:00	6:22:00
36301	Gz	xx	szx	3:10:00	15:57:00
K 233-236	FRz	NJ	sh	3:15:00	8:05:00
2581-84	FRz	NJ	sh	3:34:00	8:46:00
1351-54	FRz	NJ	sh	3:45:00	9:05:00
K 462-463	FRz	NJ	sh	3:52:00	10:52:00
K 281-284	FRz	NJ	sh	4:00:00	9:53:00
36313	Gz	xx	wxn	4:17:00	15:38:00
Z 5	FRz	NJ	sh	5:17:00	7:36:00
N 417-420	FRz	NJ	sh	5:23:00	10:47:00
2181-84	FRz	NJ	sh	5:29:00	11:08:00
K 293-296	FRz	NJ	sh	5:53:00	11:14:00
36343	Gz	xx	czd	6:10:00	16:07:30
D 401	NRz	NJ	sh	6:19:00	8:33:00
D 459	NRz	sz	sh	6:37:00	7:19:00
43003	Gz	xx	zjn	6:48:00	10:56:00
T 769	FRz	NJ	sh	6:54:00	10:39:00
D 403	NRz	NJ	sh	7:10:00	9:27:00
D 455	NRz	wx	sh	7:25:00	8:26:00
1657-60	FRz	NJ	sh	7:25:00	12:51:00
D 451	NRz	cz	sh	7:36:00	8:54:00
D 405	NRz	NJ	sh	7:52:00	10:06:00
D 407	NRz	NJ	sh	7:57:00	10:11:00
D 409	NRz	NJ	sh	8:02:00	10:19:00
T 765	FRz	NJ	sh	8:11:00	11:27:00
T 137-140	FRz	NJ	sh	8:17:00	11:34:00
K 558-559	FRz	NJ	sh	8:23:00	13:33:00
T 163-166	FRz	NJ	sh	8:33:00	10:58:00
1461	FRz	NJ	sh	8:39:00	14:33:00
T 131-134	FRz	NJ	sh	9:00:00	12:30:00
43013	Gz	xx	szx	9:19:00	21:07:00
D 411	NRz	NJ	sh	9:30:00	11:47:00
D 413	NRz	NJ	sh	9:35:00	11:53:00
T 115-118	FRz	NJ	sh	9:47:00	12:37:00
T 781-784	FRz	NJ	sh	9:59:00	13:21:00

43023	Gz	xx	szx	10:16:00	22:13:00
N 437-440	FRz	zj	sh	10:31:00	14:42:00
D 415	NRz	NJ	sh	10:40:00	12:57:00
K 371-374	FRz	NJ	sh	10:46:00	16:31:00
K 187-190	FRz	NJ	sh	11:16:00	16:43:00
D 417	NRz	NJ	sh	11:35:00	13:43:00
D 419	NRz	NJ	sh	11:40:00	13:59:00
T 51-54	FRz	NJ	sh	11:45:00	14:51:00
D 421	NRz	NJ	sh	12:00:00	14:04:00
D 423	NRz	NJ	sh	12:05:00	14:14:00
2001	FRz	NJ	sh	12:10:00	17:18:00
84571-2	Gz	xx	wt	12:35:00	22:04:00
D 425	NRz	NJ	sh	12:52:00	15:06:00
D 427	NRz	NJ	sh	13:02:00	15:14:00
D 429	NRz	NJ	sh	13:07:00	15:20:00
T 771-774	FRz	NJ	sh	13:13:00	16:00:00
T 763	FRz	NJ	sh	13:19:00	16:06:00
T 761	FRz	NJ	sh	13:25:00	16:12:00
K 55-58	FRz	NJ	sh	13:35:00	17:45:00
T 785-788	FRz	NJ	sh	13:48:00	17:29:00
K 515-518	FRz	NJ	sh	13:54:00	17:49:00
84681-2	Gz	xx	NXX	14:11:00	19:59:00
43083	Gz	xx	czd	14:20:00	19:48:00
K 255-258	FRz	NJ	sh	14:26:00	18:15:00
D 431	NRz	NJ	sh	14:40:00	16:53:00
D 433	NRz	NJ	sh	14:45:00	16:58:00
1227-30	FRz	NJ	sh	14:56:00	18:27:00
36315	Gz	xx	wxn	15:22:00	22:07:00
43085	Gz	xx	czd	15:30:00	22:07:00
K 469	FRz	sz	sh	15:35:00	16:38:00
5077	FRz	NJ	sh	15:40:00	20:12:00
N 433-436	FRz	NJ	sh	15:49:00	20:22:00
N 431	FRz	NJ	sh	15:58:00	20:43:00
D 435	NRz	NJ	sh	16:27:00	18:36:00
D 437	NRz	NJ	sh	16:32:00	18:41:00
D 439	NRz	NJ	sh	16:42:00	18:46:00
D 441	NRz	NJ	sh	16:47:00	18:52:00
5065-68	FRz	NJ	sh	16:52:00	21:57:00
D 443	NRz	NJ	sh	17:30:00	19:52:00
N 401-404	FRz	NJ	sh	17:47:00	23:08:00
D 445	NRz	NJ	sh	18:09:00	20:29:00
26203	Gz	xx	NXX	18:18:00	1 0:04:00
26201	Gz	xx	NXX	18:28:00	23:50:00
T 775-778	FRz	NJ	sh	18:36:00	22:08:00
D 447	NRz	NJ	sh	19:07:00	21:21:00
T 767	FRz	NJ	sh	19:17:00	22:45:00
26205	Gz	xx	NXX	19:47:00	1 2:11:00
43011	Gz	xx	NXX	19:54:00	1 11:12:00
43001	Gz	xx	wxn	20:01:00	1 4:42:00
D 449	NRz	NJ	sh	20:09:00	22:32:00
D 457	NRz	wx	sh	20:15:00	21:14:00
26207	Gz	xx	NXX	20:26:00	1 2:59:00

26209	Gz	xx	NXX	20:33:00	1 3:10:00
36321	Gz	xx	wt	20:40:00	1 3:18:00
D 453	NRz	cz	sh	20:42:00	22:13:00
36311	Gz	xx	wxn	20:47:00	1 4:39:30
K 75-78	FRz	NJ	sh	20:56:00	1 0:18:00
80317	Gz	xx	NXX	22:59:00	1 3:24:00
86721	Gz	xx	NXX	23:06:00	1 3:38:00
43021	Gz	xx	szx	23:13:00	1 12:59:00
26215	Gz	xx	NXX	23:21:00	1 3:54:00
26217	Gz	xx	NXX	23:28:00	1 4:18:00
26219	Gz	xx	NXX	23:35:00	1 5:26:00
26221	Gz	xx	NXX	23:42:00	1 6:07:00
43081	Gz	xx	czd	23:49:00	1 6:57:00
46901	Gz	xx	zjn	23:56:00	1 0:49:00

Tabelle J-3 IST-Züge im Fahrplan

Entwurf-Fahrplan					
Zug Nr.	Zug gattung	Ab. Bf	An. Bf	Abf. Zeit	Ank. Zeit
K 527	FRz	NJ	sh	0:48:00	3:26:00
N 457-460	FRz	NJ	sh	0:53:00	3:33:00
N 405-408	FRz	NJ	sh	0:58:00	3:39:00
T 177	FRz	NJ	sh	1:14:00	3:45:00
5071	FRz	NJ	sh	1:38:00	5:05:00
K 375-378	FRz	NJ	sh	1:48:00	4:33:00
K 289-292	FRz	NJ	sh	1:53:00	4:38:00
K 359-362	FRz	NJ	sh	1:58:00	4:43:00
1341-44	FRz	NJ	sh	2:02:00	5:09:00
K 151-154	FRz	NJ	sh	2:48:00	5:27:00
K 233-236	FRz	NJ	sh	2:53:00	5:32:00
T 33	FRz	NJ	sh	3:14:00	5:39:00
2581-84	FRz	NJ	sh	3:18:00	8:24:00
K 463-462	FRz	NJ	sh	3:29:00	7:57:00
K 281-284	FRz	NJ	sh	3:34:00	8:03:00
1351-54	FRz	NJ	sh	4:00:00	8:33:00
Z 5	FRz	NJ	sh	5:17:00	7:36:00
N 417-420	FRz	NJ	sh	5:23:00	8:08:00
K 293-296	FRz	NJ	sh	5:55:00	9:19:00
2181-84	FRz	NJ	sh	6:00:00	9:56:00
D 80001	NRz	NJ	sh	6:12:00	8:39:00
D 81001	NRz	NJ	sh	6:17:00	8:43:00
RE 20001	NRz	NJ	sh	6:40:00	9:28:00
RE 21001	NRz	NJ	sh	6:45:00	9:33:00
1657-60	FRz	NJ	sh	7:00:00	10:56:00
D 80003	NRz	NJ	sh	7:12:00	9:39:00
D 81003	NRz	NJ	sh	7:17:00	9:43:00
T 769	FRz	NJ	sh	7:22:00	10:03:00
RE 30003	NRz	wx	sh	7:33:00	9:06:00
RE 20003	NRz	NJ	sh	7:40:00	10:28:00
RE 21003	NRz	NJ	sh	7:45:00	10:33:00
43001	Gz	xx	NXX	7:53:00	14:53:00
1461	FRz	NJ	sh	8:00:00	11:56:00
D 80005	NRz	NJ	sh	8:12:00	10:39:00
D 81005	NRz	NJ	sh	8:17:00	10:43:00
T 765	FRz	NJ	sh	8:22:00	11:03:00
T 137-140	FRz	NJ	sh	8:27:00	11:08:00
T 163-166	FRz	NJ	sh	8:32:00	11:13:00
RE 30001	NRz	wx	sh	8:33:00	10:07:00
RE 20005	NRz	NJ	sh	8:40:00	11:28:00
RE 21005	NRz	NJ	sh	8:45:00	11:33:00
43003	Gz	xx	NXX	8:53:00	15:03:00
K 559-558	FRz	NJ	sh	8:55:00	12:19:00
D 80007	NRz	NJ	sh	9:12:00	11:39:00
D 81007	NRz	NJ	sh	9:17:00	11:43:00
T 131-134	FRz	NJ	sh	9:22:00	12:03:00
T 115-118	FRz	NJ	sh	9:27:00	12:08:00
T 781-784	FRz	NJ	sh	9:32:00	12:13:00
RE 20007	NRz	NJ	sh	9:40:00	12:28:00
RE 21007	NRz	NJ	sh	9:45:00	12:33:00
43005	Gz	xx	NXX	9:53:00	15:07:00
K 371-374	FRz	NJ	sh	9:55:00	13:19:00
D 80009	NRz	NJ	sh	10:12:00	12:39:00

D 81009	NRz	NJ	sh	10:17:00	12:43:00
RE 20009	NRz	NJ	sh	10:40:00	13:28:00
RE 21009	NRz	NJ	sh	10:45:00	13:33:00
43007	Gz	xx	NXX	10:53:00	17:05:00
K 187-190	FRz	NJ	sh	10:55:00	14:21:00
D 80011	NRz	NJ	sh	11:12:00	13:39:00
D 81011	NRz	NJ	sh	11:17:00	13:43:00
T 51-54	FRz	NJ	sh	11:22:00	14:04:00
RE 20011	NRz	NJ	sh	11:40:00	14:28:00
RE 21011	NRz	NJ	sh	11:45:00	14:33:00
43009	Gz	xx	NXX	11:53:00	18:04:00
K 55-58	FRz	NJ	sh	11:55:00	15:19:00
2001	FRz	NJ	sh	12:00:00	15:56:00
D 80013	NRz	NJ	sh	12:12:00	14:39:00
D 81013	NRz	NJ	sh	12:17:00	14:43:00
RE 20013	NRz	NJ	sh	12:40:00	15:28:00
RE 21013	NRz	NJ	sh	12:45:00	15:33:00
43011	Gz	xx	NXX	12:53:00	18:12:00
K 515-518	FRz	NJ	sh	12:55:00	16:19:00
D 80015	NRz	NJ	sh	13:12:00	15:39:00
D 81015	NRz	NJ	sh	13:17:00	15:43:00
T 771-774	FRz	NJ	sh	13:22:00	16:03:00
T 763	FRz	NJ	sh	13:27:00	16:08:00
T 761	FRz	NJ	sh	13:32:00	16:13:00
RE 20015	NRz	NJ	sh	13:40:00	16:28:00
RE 21015	NRz	NJ	sh	13:45:00	16:33:00
43013	Gz	xx	NXX	13:53:00	18:16:00
K 225-258	FRz	NJ	sh	13:55:00	17:19:00
D 80017	NRz	NJ	sh	14:12:00	16:39:00
D 81017	NRz	NJ	sh	14:17:00	16:43:00
T 785-788	FRz	NJ	sh	14:22:00	17:03:00
RE 20017	NRz	NJ	sh	14:40:00	17:28:00
RE 21017	NRz	NJ	sh	14:45:00	17:33:00
84681-2	Gz	xx	NXX	14:53:00	19:04:00
1227-30	FRz	NJ	sh	15:00:00	18:56:00
D 80019	NRz	NJ	sh	15:12:00	17:39:00
D 81019	NRz	NJ	sh	15:17:00	17:43:00
31009	Gz	xx	czd	15:26:00	17:33:00
RE 20019	NRz	NJ	sh	15:40:00	18:28:00
RE 21019	NRz	NJ	sh	15:45:00	18:33:00
43017	Gz	xx	NXX	15:53:00	21:07:00
N 433-436	FRz	NJ	sh	15:55:00	19:19:00
5077	FRz	NJ	sh	16:00:00	19:56:00
D 80021	NRz	NJ	sh	16:12:00	18:39:00
D 81021	NRz	NJ	sh	16:17:00	18:43:00
31007	Gz	xx	czd	16:29:00	18:36:00
RE 20021	NRz	NJ	sh	16:40:00	19:28:00
RE 21021	NRz	NJ	sh	16:45:00	19:33:00
N 431	FRz	NJ	sh	16:55:00	20:19:00
5065-68	FRz	NJ	sh	17:00:00	20:56:00
D 80023	NRz	NJ	sh	17:12:00	19:39:00
D 81023	NRz	NJ	sh	17:17:00	19:43:00
31003	Gz	xx	czd	17:26:00	19:44:00
RE 20023	NRz	NJ	sh	17:40:00	20:28:00
RE 21023	NRz	NJ	sh	17:45:00	20:33:00

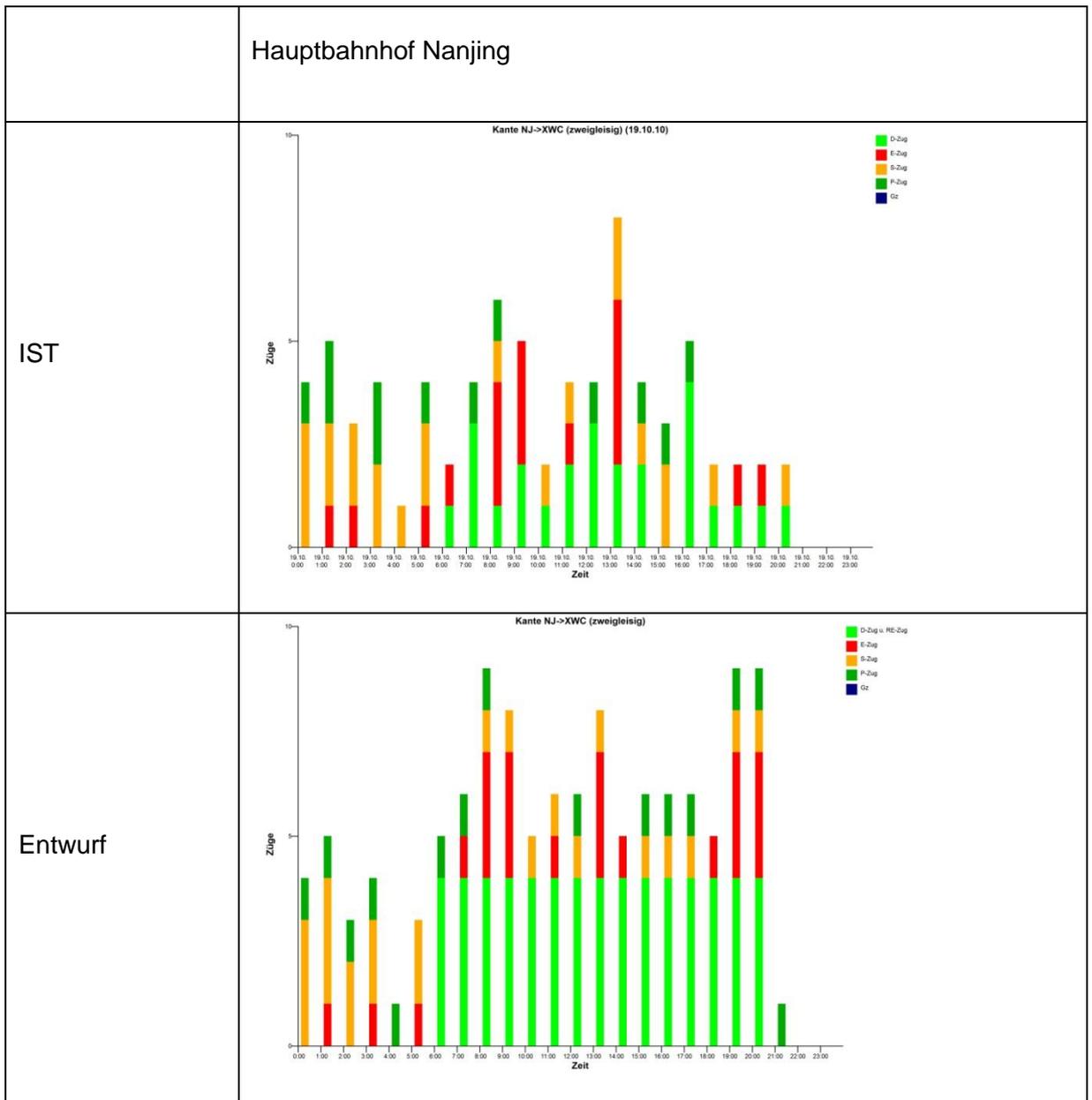
N 401-404	FRz	NJ	sh	17:55:00	21:19:00
31001	Gz	xx	czd	18:05:00	20:11:00
D 80025	NRz	NJ	sh	18:12:00	20:39:00
D 81025	NRz	NJ	sh	18:17:00	20:43:00
T 775	FRz	NJ	sh	18:22:00	21:03:00
RE 30005	NRz	wx	sh	18:33:00	20:07:00
RE 20025	NRz	NJ	sh	18:40:00	21:28:00
RE 21025	NRz	NJ	sh	18:45:00	21:33:00
16037	FRz	NJ	sh	19:00:00	22:56:00
D 80027	NRz	NJ	sh	19:12:00	21:39:00
D 81027	NRz	NJ	sh	19:17:00	21:43:00
T 767	FRz	NJ	sh	19:22:00	22:03:00
T 337	FRz	NJ	sh	19:27:00	22:08:00
T 237	FRz	NJ	sh	19:32:00	22:13:00
RE 30007	NRz	wx	sh	19:33:00	21:07:00
RE 20027	NRz	NJ	sh	19:40:00	22:28:00
RE 21027	NRz	NJ	sh	19:45:00	22:33:00
K 577	FRz	NJ	sh	19:55:00	23:19:00
16039	FRz	NJ	sh	20:00:00	23:56:00
D 80029	NRz	NJ	sh	20:12:00	22:39:00
D 81029	NRz	NJ	sh	20:17:00	22:43:00
T 139	FRz	NJ	sh	20:22:00	23:03:00
T 339	FRz	NJ	sh	20:27:00	23:08:00
T 239	FRz	NJ	sh	20:32:00	23:13:00
RE 20029	NRz	NJ	sh	20:40:00	23:28:00
RE 21029	NRz	NJ	sh	20:45:00	23:33:00
K 75-78	FRz	NJ	sh	20:55:00	23:49:00
16041	FRz	NJ	sh	21:00:00	1 0:04:00
80317	Gz	xx	NXX	22:59:00	1 2:06:00
86721	Gz	xx	NXX	23:05:00	1 2:12:00
26215	Gz	xx	NXX	23:11:00	1 2:18:00
26217	Gz	xx	NXX	23:17:00	1 2:24:00
26219	Gz	xx	NXX	23:23:00	1 2:30:00
26221	Gz	xx	NXX	23:29:00	1 2:36:00
26223	Gz	xx	NXX	23:35:00	1 2:42:00
26225	Gz	xx	NXX	23:41:00	1 2:48:00
26227	Gz	xx	NXX	23:47:00	1 2:54:00
26229	Gz	xx	NXX	23:53:00	1 3:00:00
26231	Gz	xx	NXX	23:59:00	1 3:06:00
26233	Gz	xx	NXX	1 0:05:00	1 3:12:00
26237	Gz	xx	NXX	1 0:10:00	1 3:51:00
26239	Gz	xx	NXX	1 0:15:00	1 3:56:00
26241	Gz	xx	NXX	1 0:20:00	1 4:13:00
26243	Gz	xx	NXX	1 0:25:00	1 4:20:00
26245	Gz	xx	NXX	1 0:30:00	1 4:50:00
26247	Gz	xx	NXX	1 1:23:00	1 5:15:00
26249	Gz	xx	NXX	1 1:28:00	1 5:50:00
26251	Gz	xx	NXX	1 1:33:00	1 6:06:00
26253	Gz	xx	NXX	1 2:30:00	1 6:13:00
26255	Gz	xx	NXX	1 2:35:00	1 6:19:00
26257	Gz	xx	NXX	1 3:50:00	1 9:06:00

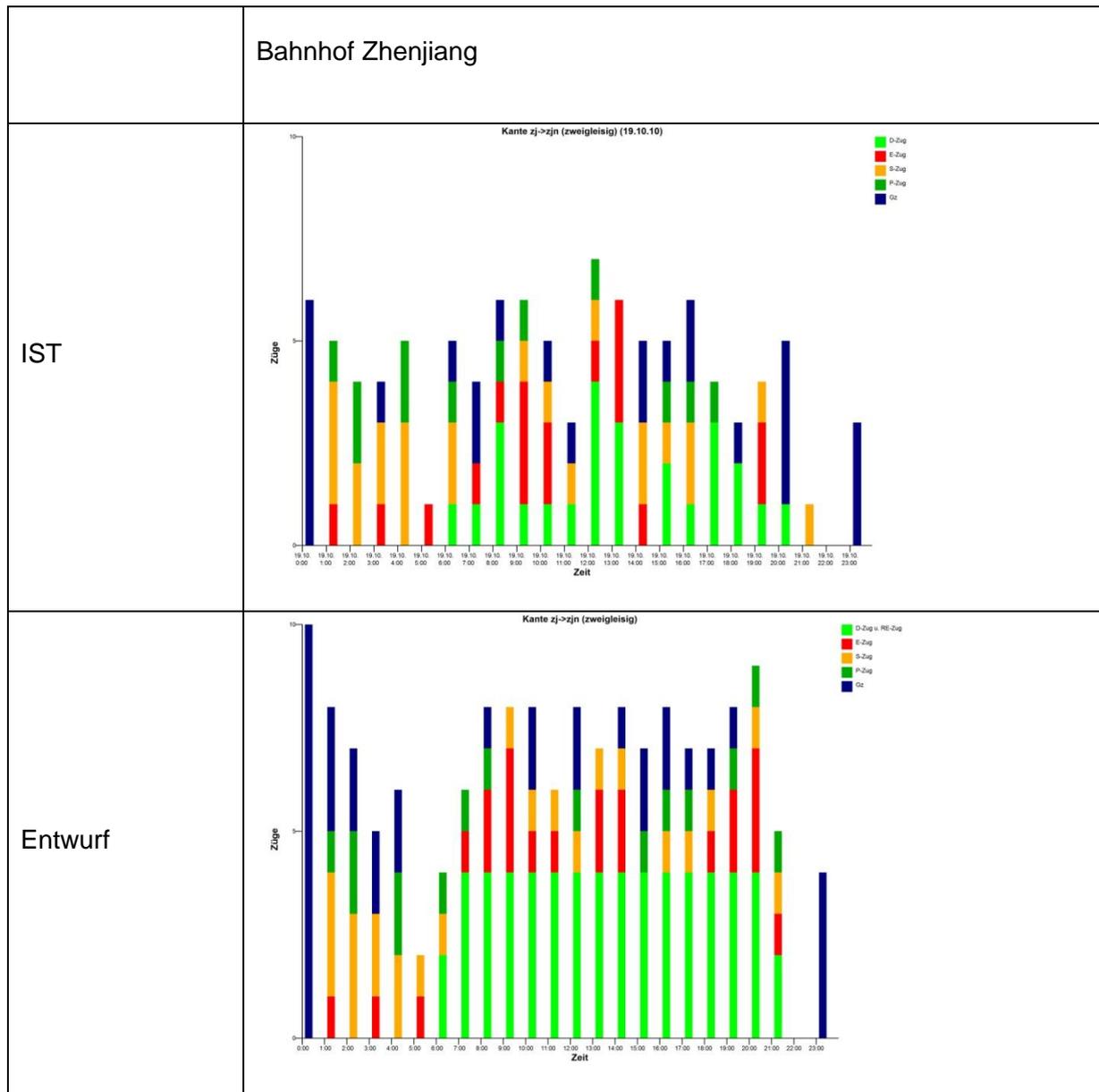
Tabelle J-4 Züge im Entwurfsfahrplan

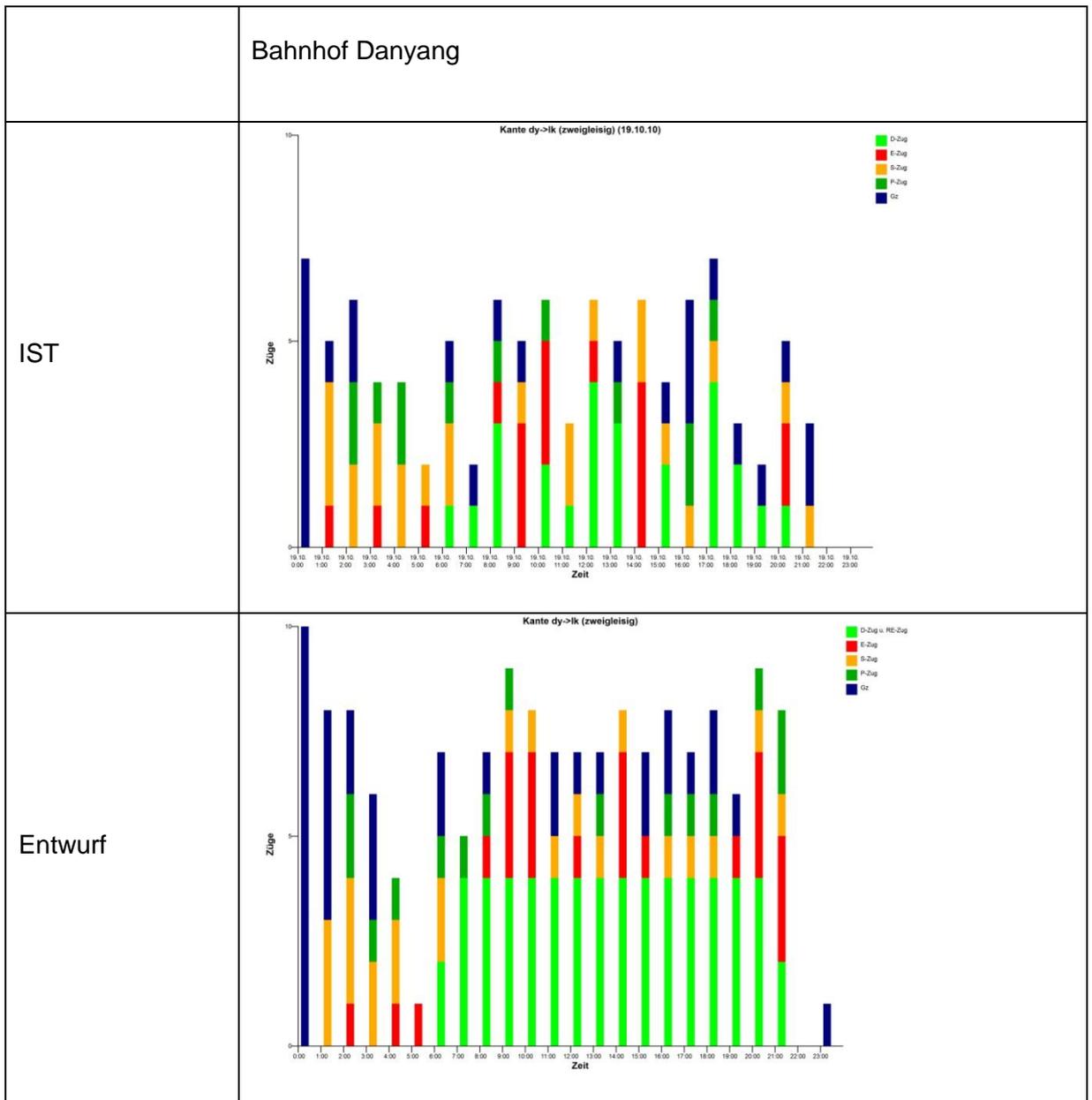
Reservierte FRz					
Zug Nr.	Zuggattung	Ab. Bf	An. Bf	Abfahrtszeit	Ankunftszeit
T 111	FRz	NJ	sh	06:22:00	09:03:00
T 311	FRz	NJ	sh	06:27:00	09:08:00
T 211	FRz	NJ	sh	06:32:00	09:13:00
K 551	FRz	NJ	sh	06:55:00	10:19:00
T 313	FRz	NJ	sh	07:27:00	10:08:00
T 213	FRz	NJ	sh	07:32:00	10:13:00
K 553	FRz	NJ	sh	07:55:00	11:19:00
P 16017	FRz	NJ	sh	09:00:00	12:56:00
P 16019	FRz	NJ	sh	10:00:00	13:56:00
T 119	FRz	NJ	sh	10:22:00	13:03:00
T 319	FRz	NJ	sh	10:27:00	13:08:00
T 219	FRz	NJ	sh	10:32:00	13:13:00
P 16021	FRz	NJ	sh	11:00:00	14:56:00
T 321	FRz	NJ	sh	11:27:00	14:08:00
T 221	FRz	NJ	sh	11:32:00	14:13:00
T 123	FRz	NJ	sh	12:22:00	15:03:00
T 323	FRz	NJ	sh	12:27:00	15:08:00
T 223	FRz	NJ	sh	12:32:00	15:13:00
P 16025	FRz	NJ	sh	13:00:00	16:56:00
P 16027	FRz	NJ	sh	14:00:00	17:56:00
T 327	FRz	NJ	sh	14:27:00	17:08:00
T 227	FRz	NJ	sh	14:32:00	17:13:00
N 567	FRz	NJ	sh	14:55:00	18:19:00
T 129	FRz	NJ	sh	15:22:00	18:03:00
T 329	FRz	NJ	sh	15:27:00	18:08:00
T 229	FRz	NJ	sh	15:32:00	18:13:00
T 131	FRz	NJ	sh	16:22:00	19:03:00
T 331	FRz	NJ	sh	16:27:00	19:08:00
T 231	FRz	NJ	sh	16:32:00	19:13:00
T 133	FRz	NJ	sh	17:22:00	20:03:00
T 333	FRz	NJ	sh	17:27:00	20:08:00
T 233	FRz	NJ	sh	17:32:00	20:13:00
P 16035	FRz	NJ	sh	18:00:00	21:56:00
T 335	FRz	NJ	sh	18:27:00	21:08:00
T 235	FRz	NJ	sh	18:32:00	21:13:00
K 575	FRz	NJ	sh	18:55:00	22:19:00

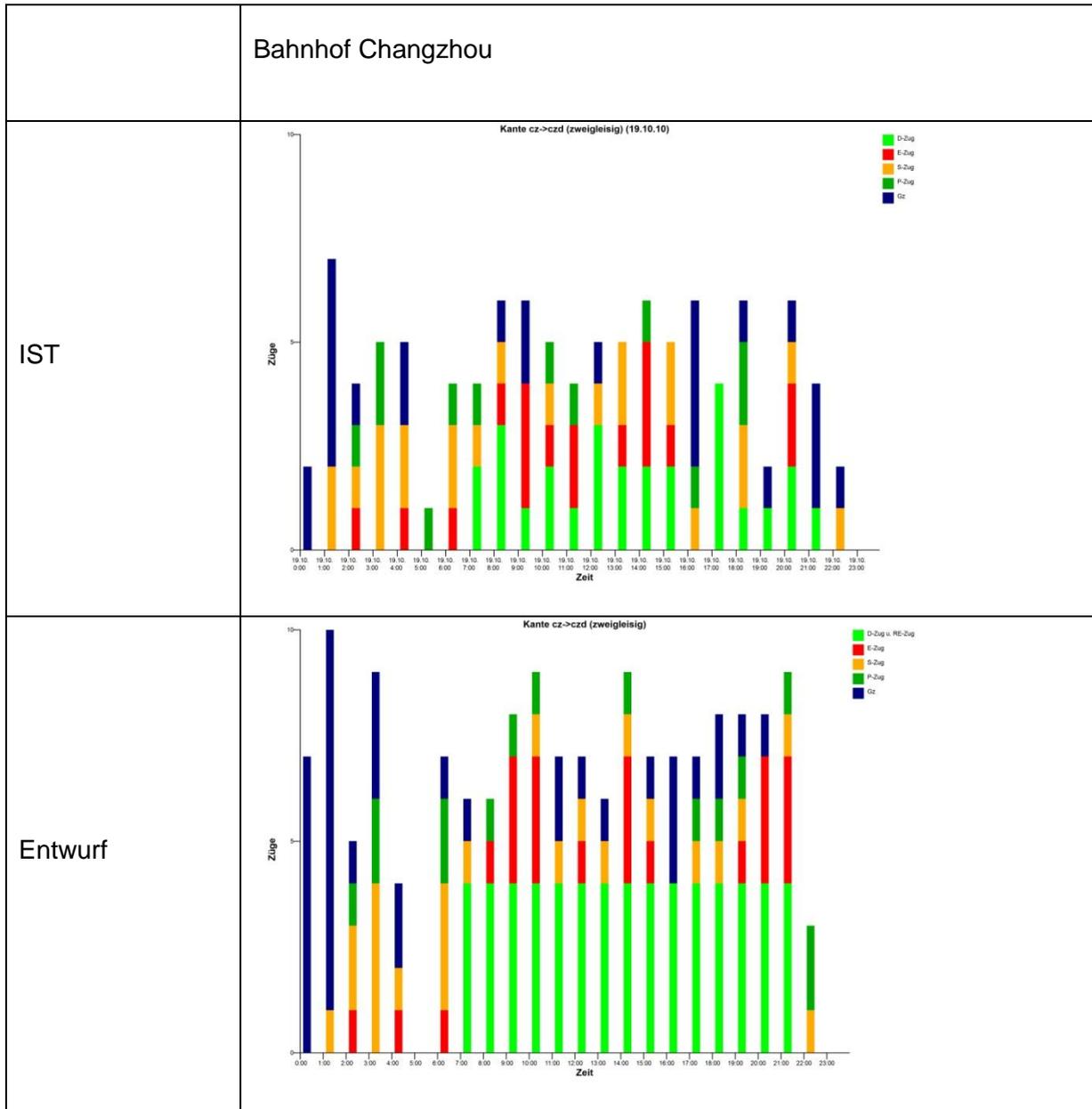
Tabelle J-5 Reservierte FRz im Entwurfshfahrplan

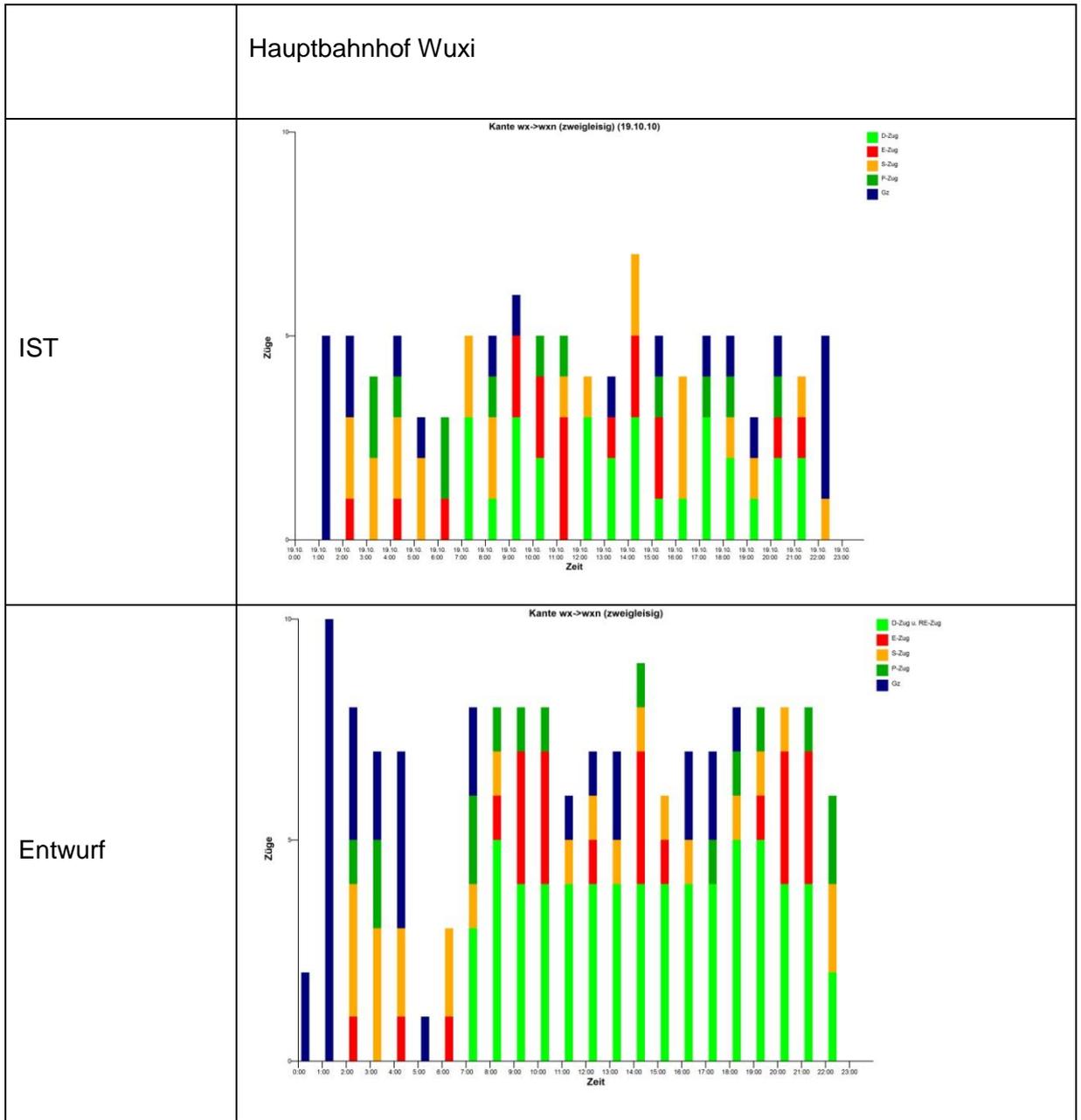
Grafische Fahrplanstatistik

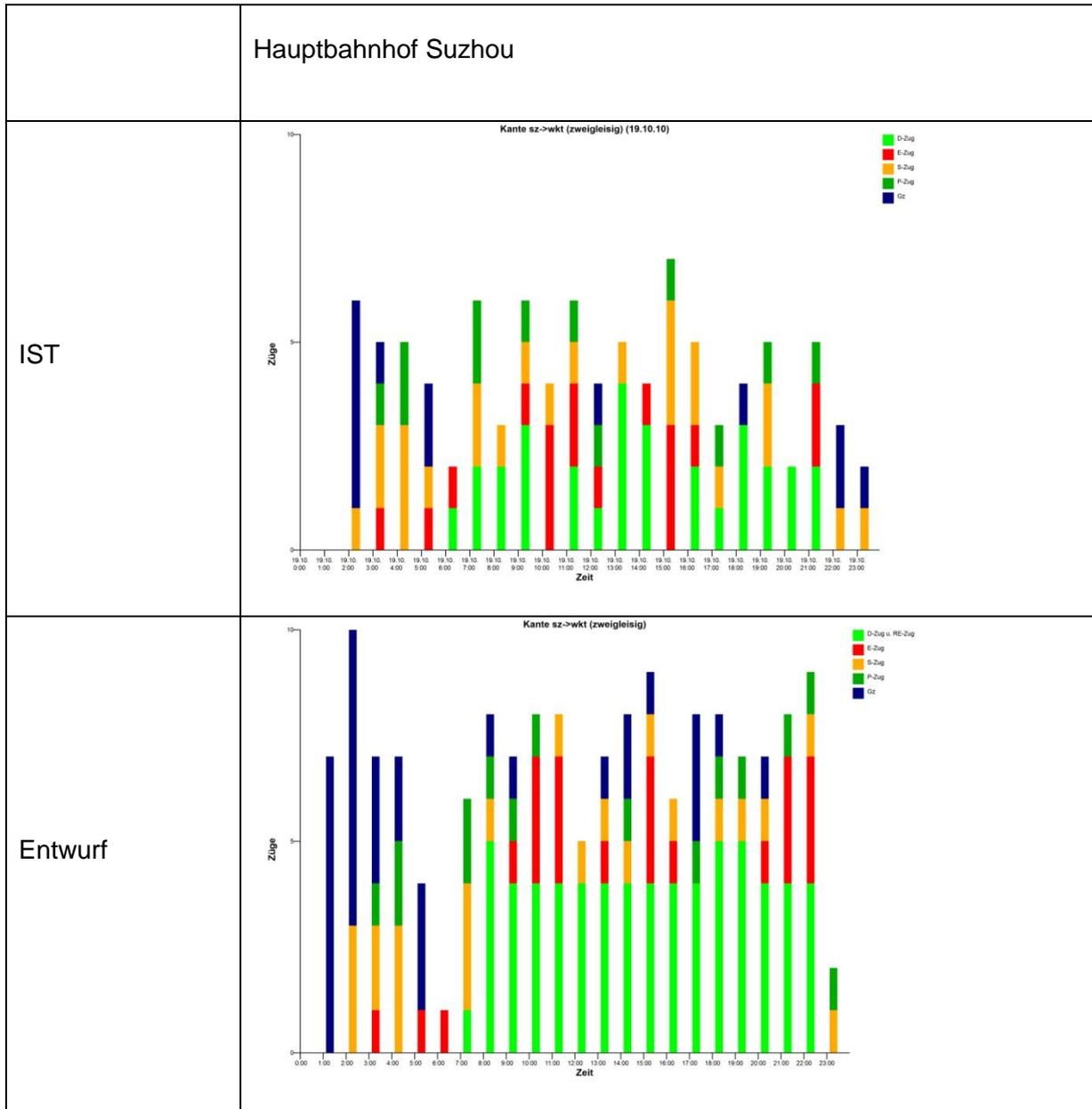


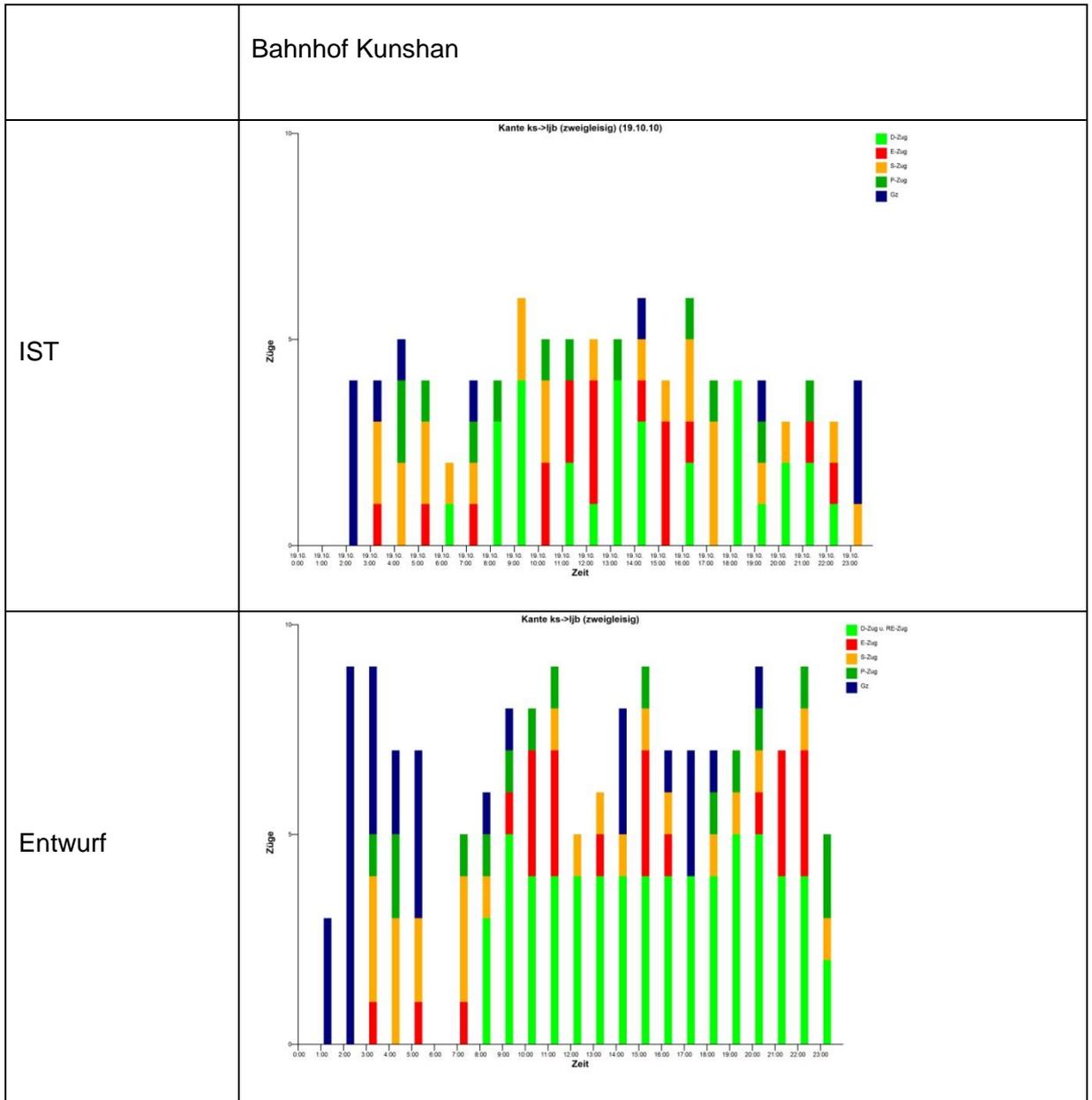


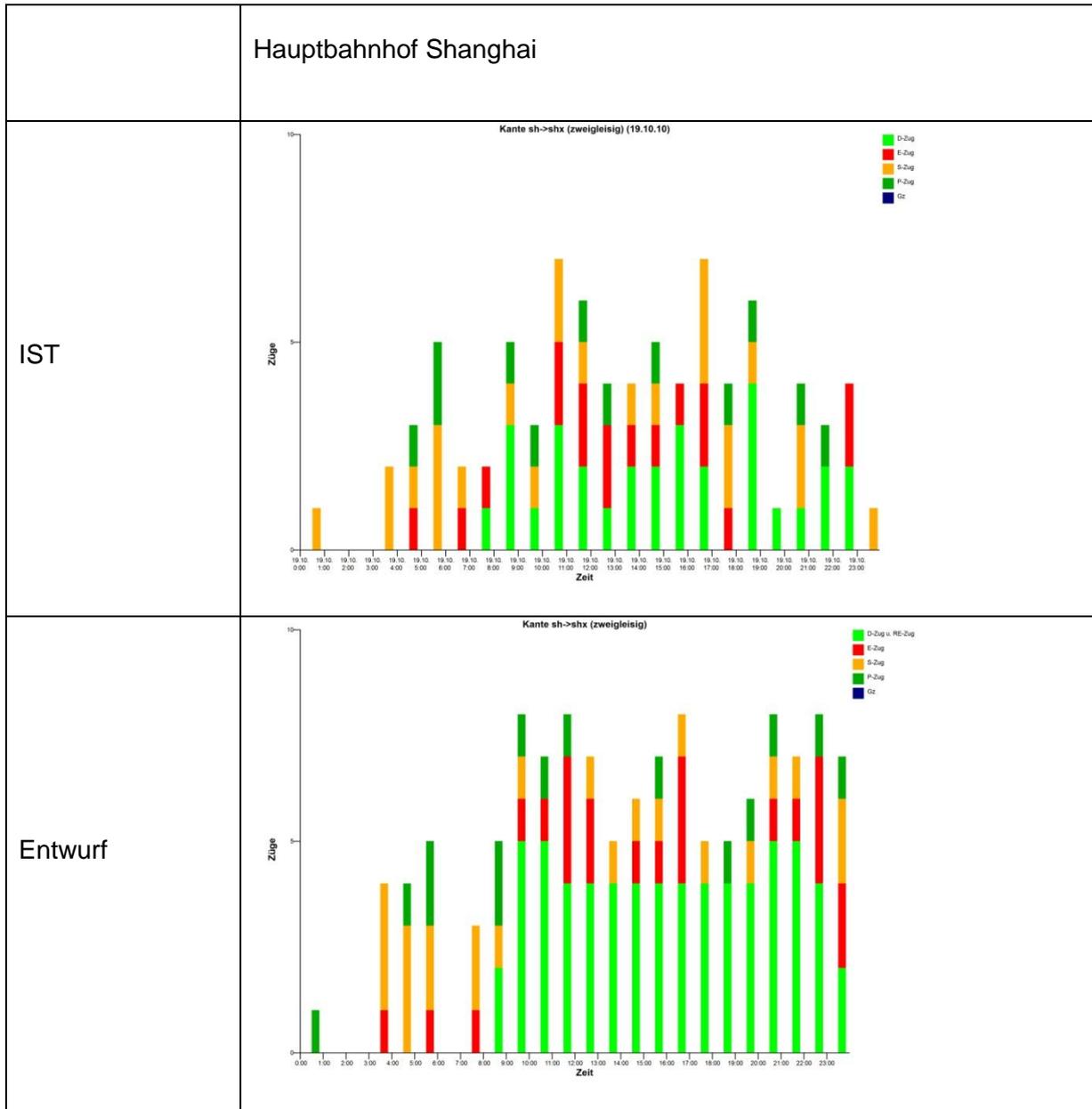






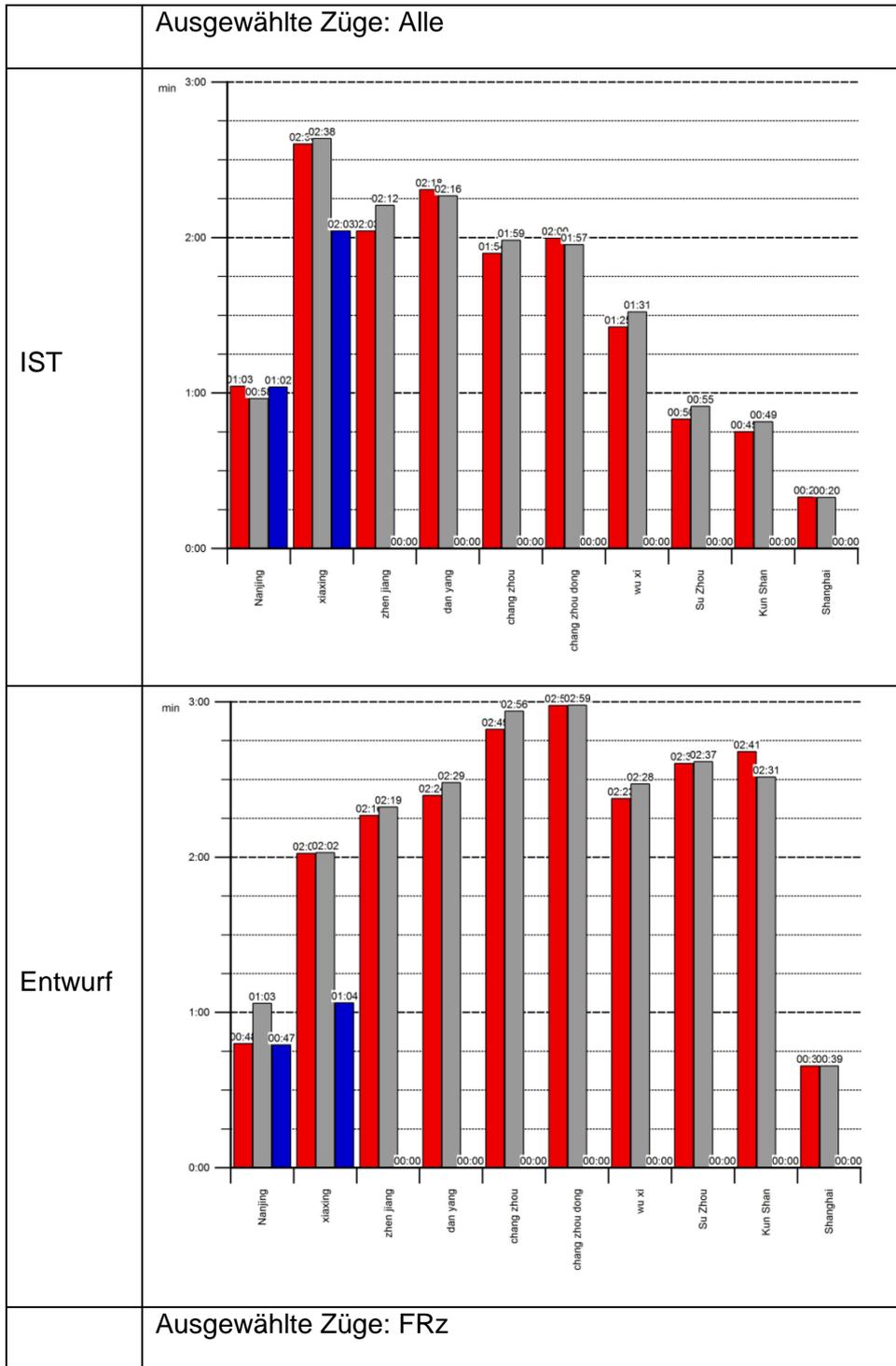
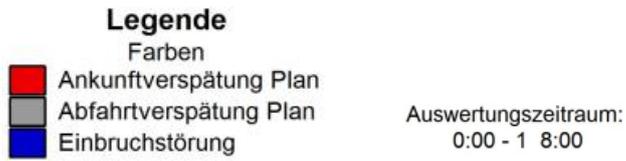


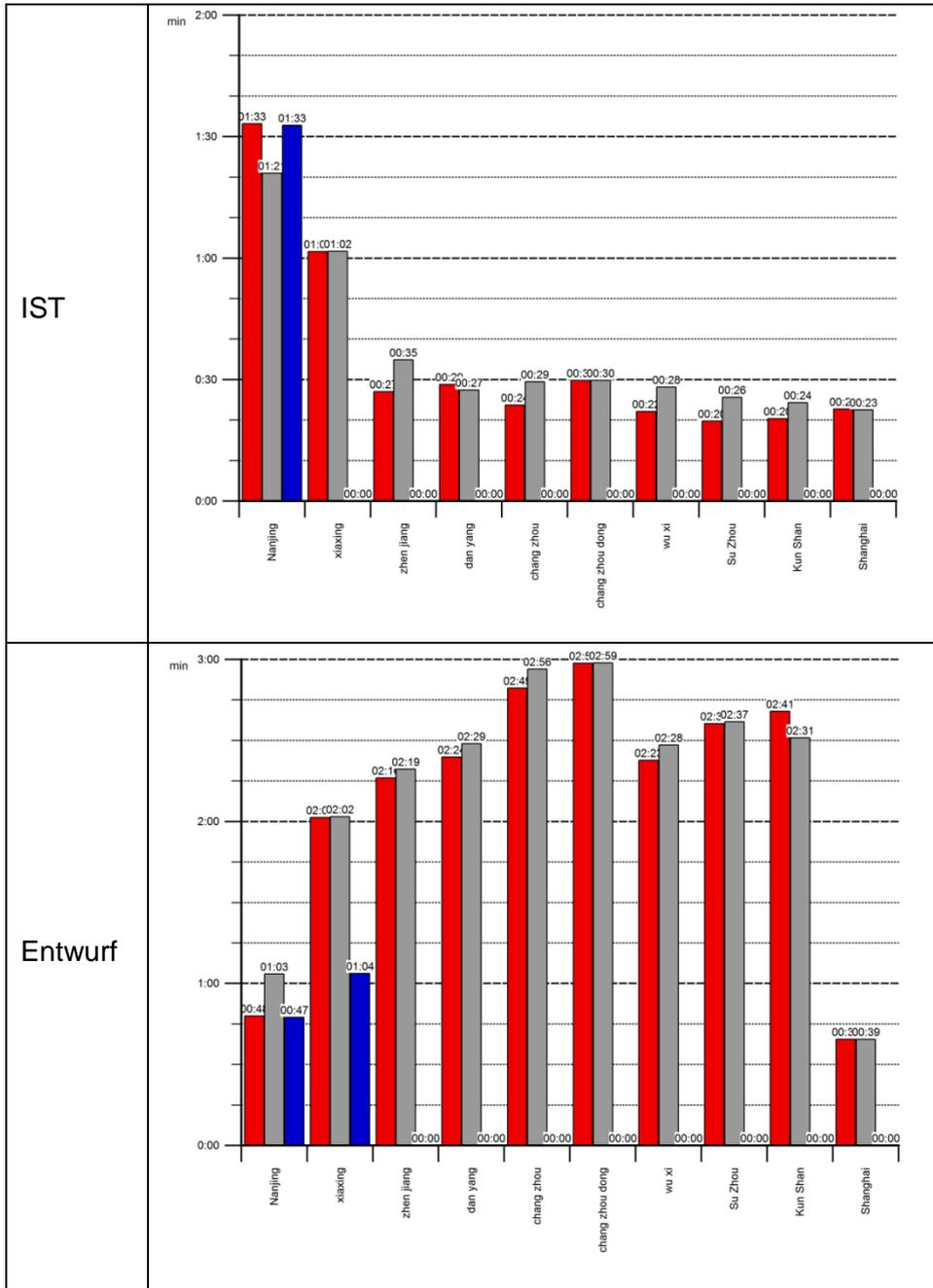


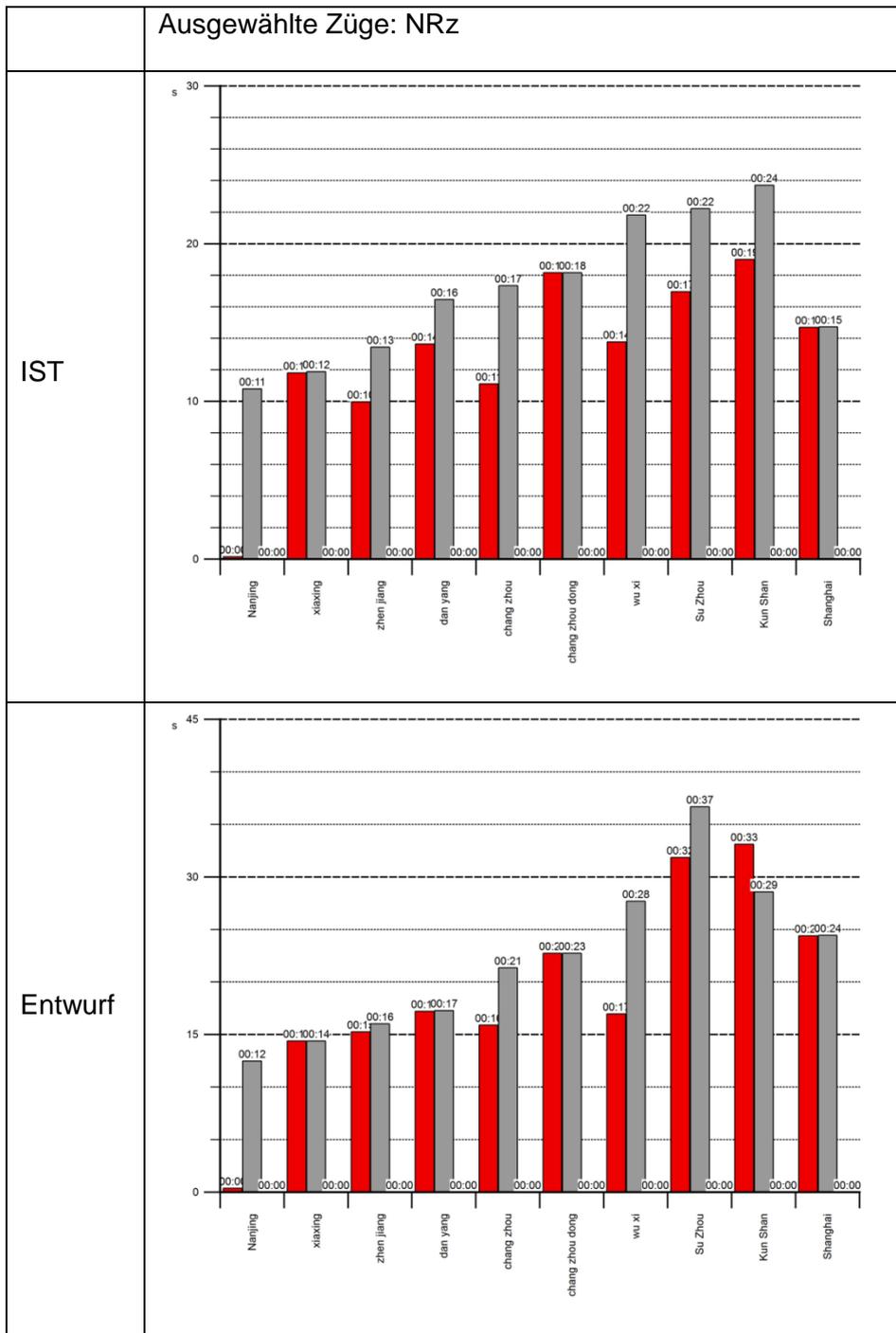


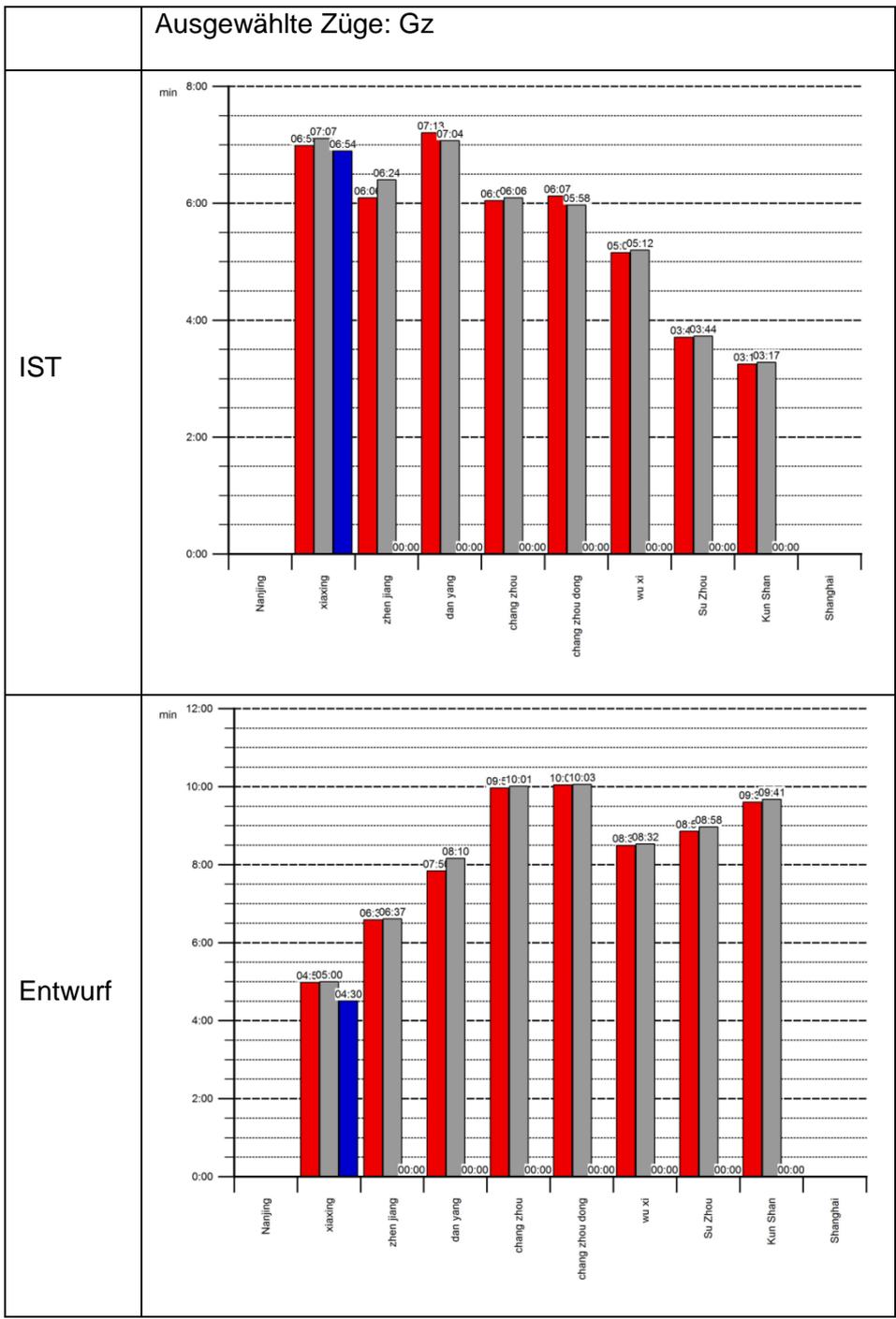
Auswertungsergebnisse

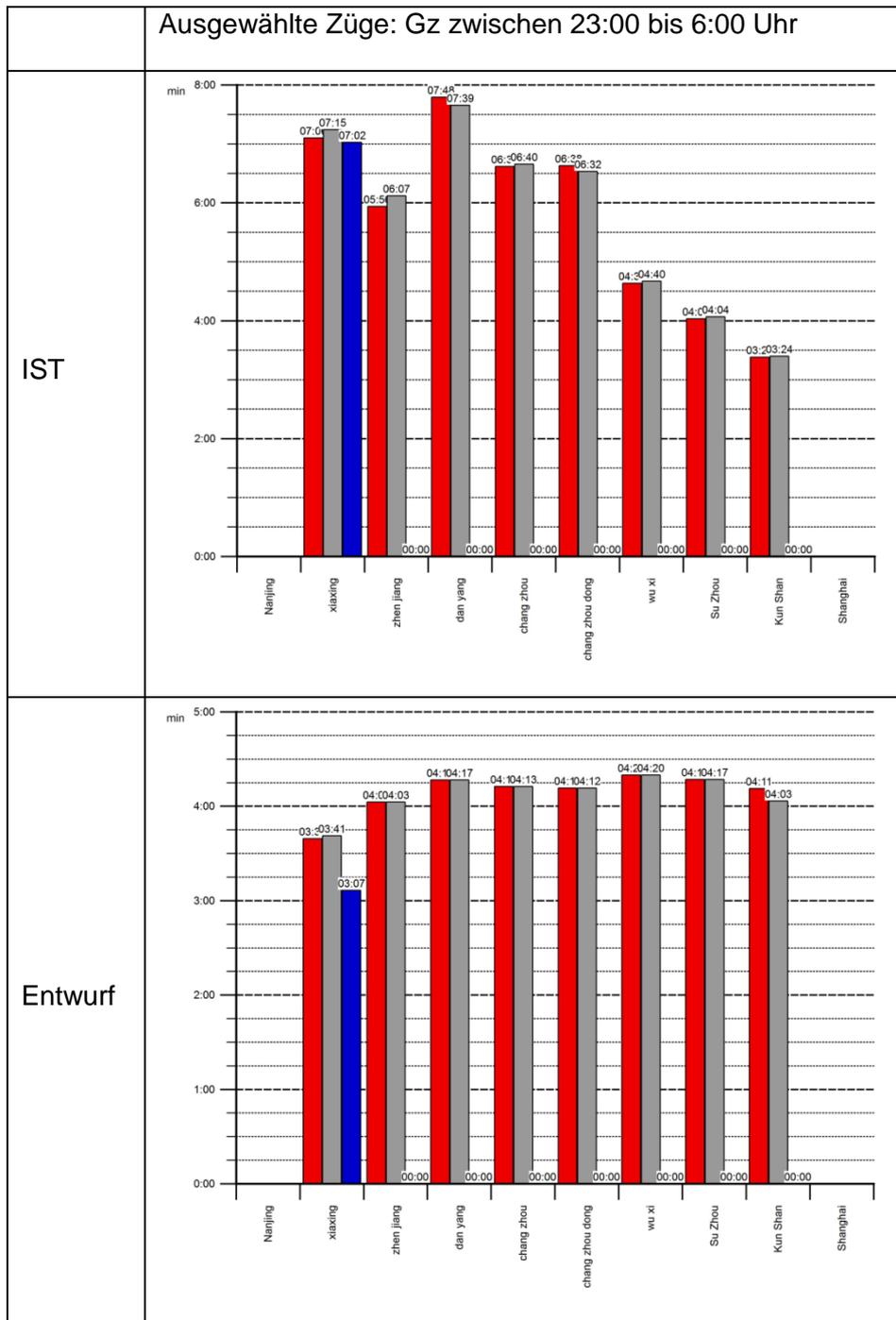
Mittelwert der Verspätungen und Einbruchstörungen (Abfahrt/Ankunft)

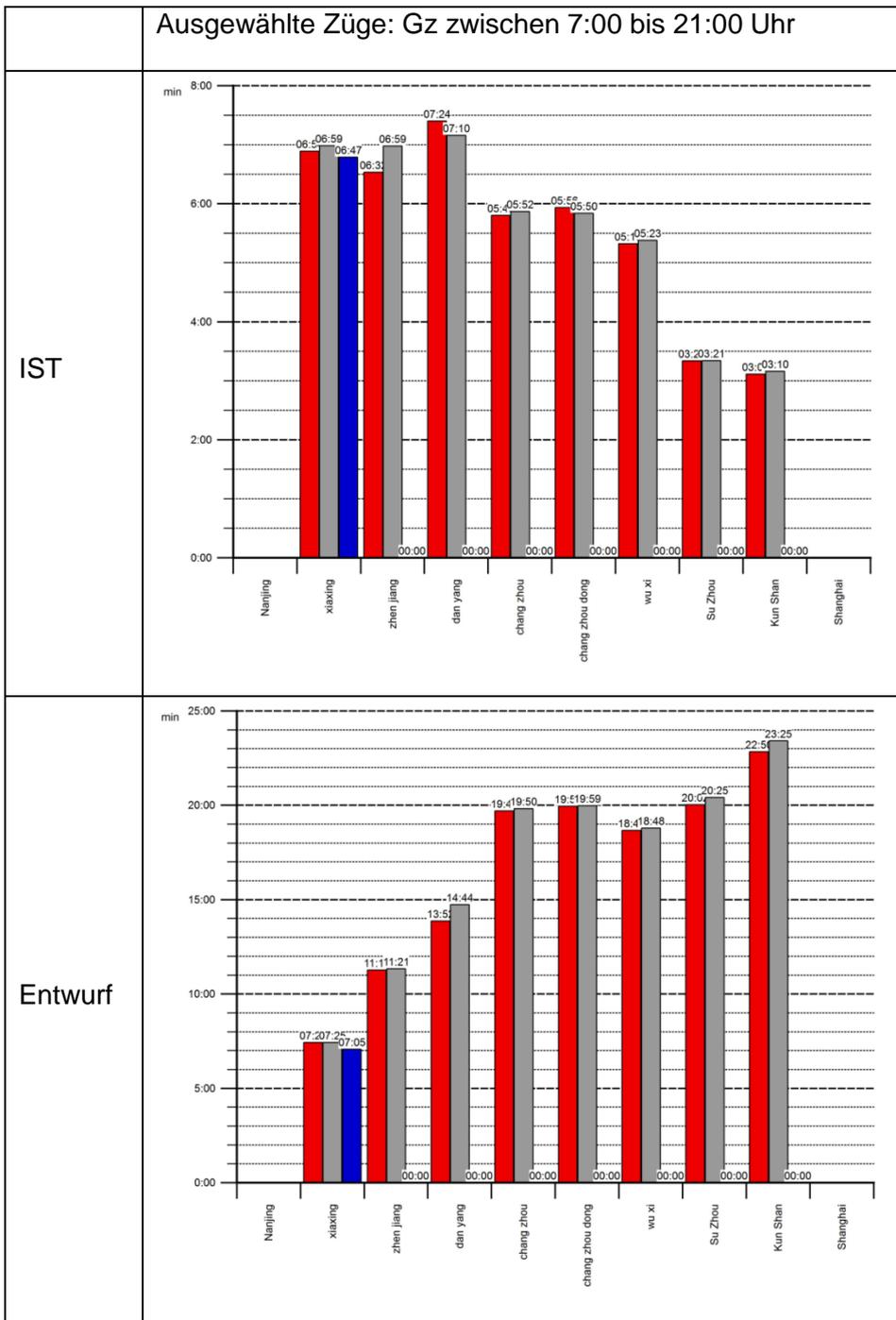


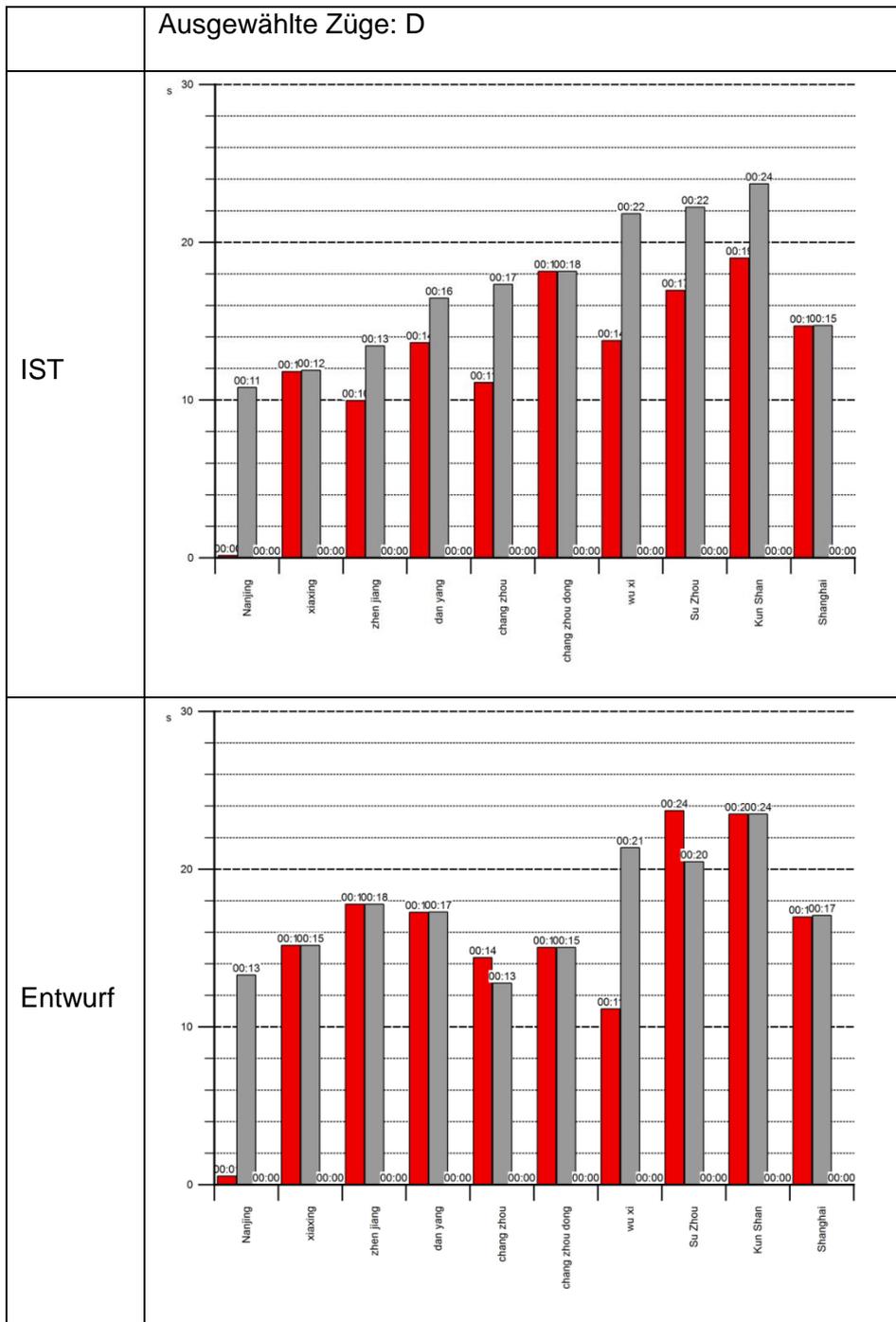


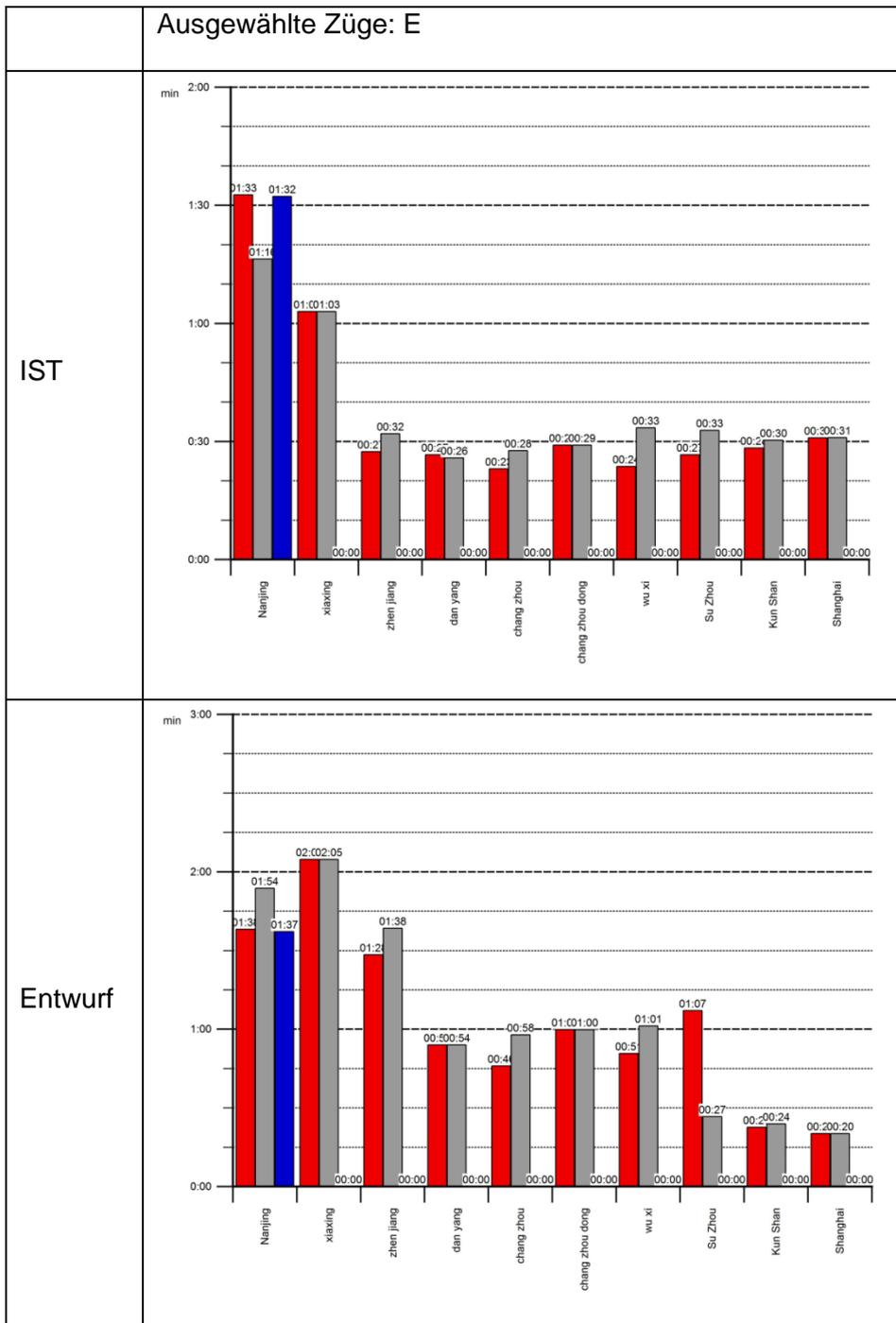


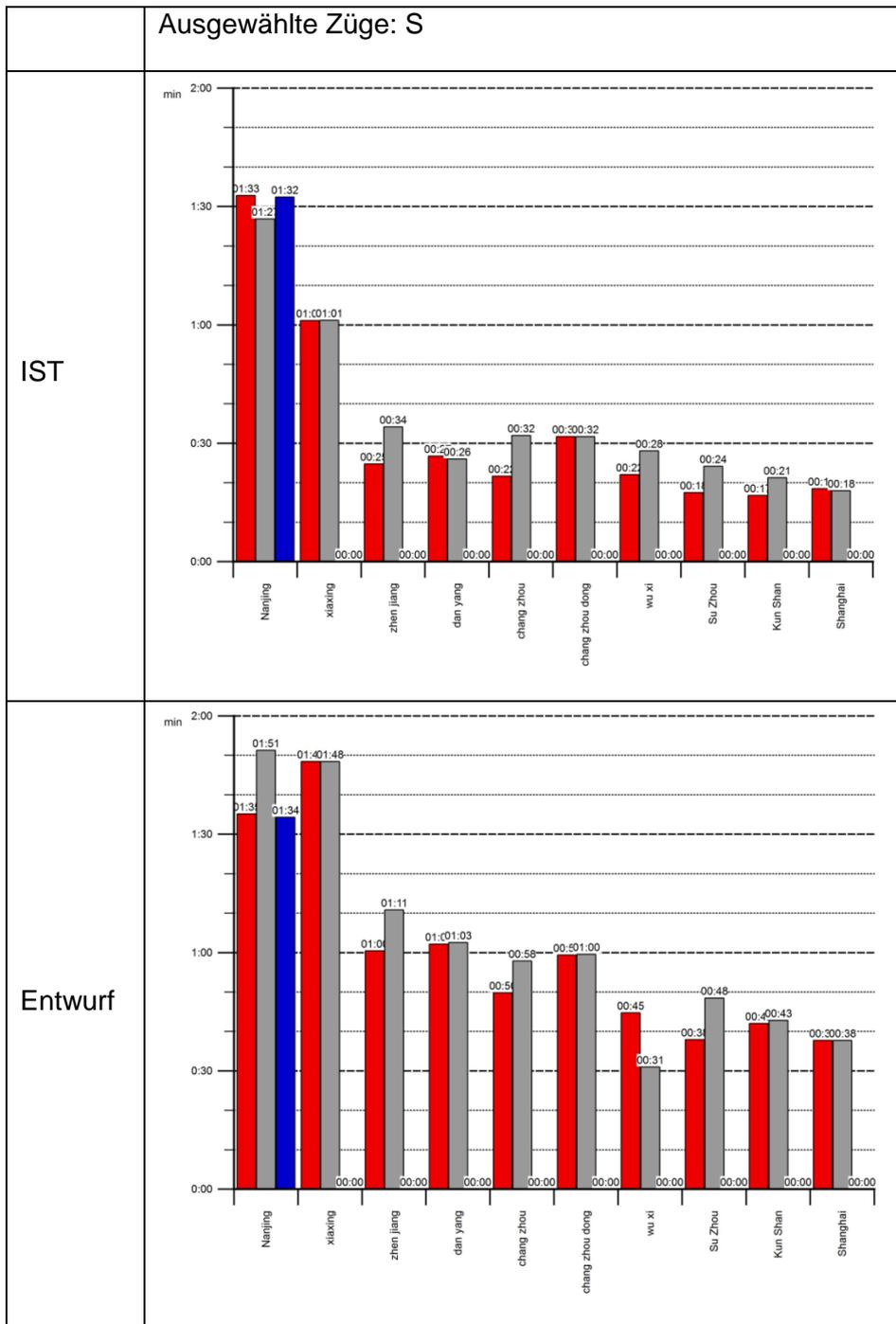


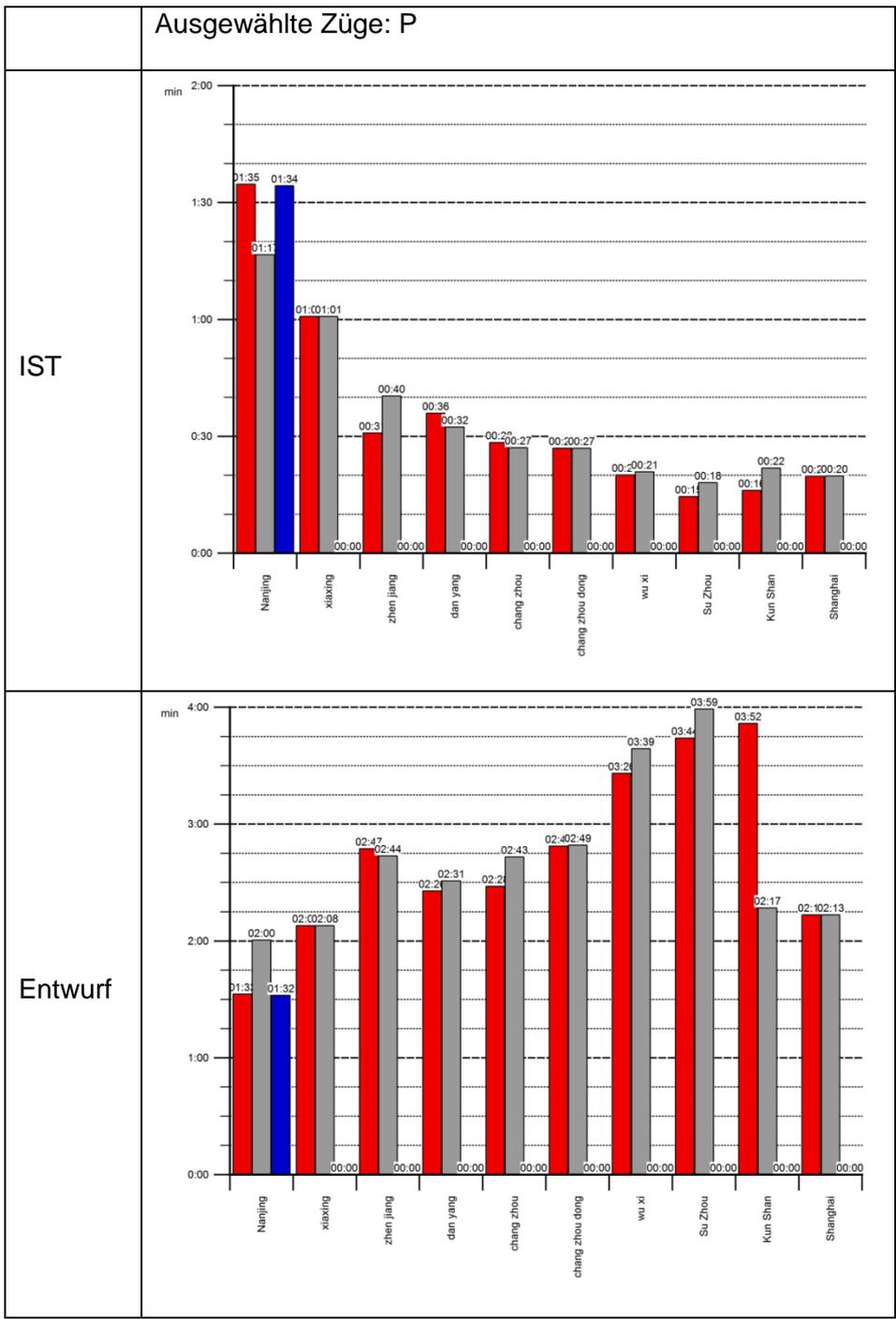












	Ausgewählte Züge: RE																																	
IST	-																																	
Entwurf	<p>min</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Station</th> <th>Red Bar (min)</th> <th>Grey Bar (min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nanjing</td> <td>00:00</td> <td>00:12</td> </tr> <tr> <td>xiaoxing</td> <td>00:14</td> <td>00:14</td> </tr> <tr> <td>zhenjiang</td> <td>00:14</td> <td>00:14</td> </tr> <tr> <td>danyang</td> <td>00:17</td> <td>00:17</td> </tr> <tr> <td>changzhou</td> <td>00:30</td> <td>00:30</td> </tr> <tr> <td>changzhou dong</td> <td>00:30</td> <td>00:30</td> </tr> <tr> <td>wuxi</td> <td>00:22</td> <td>00:33</td> </tr> <tr> <td>Su Zhou</td> <td>00:38</td> <td>00:51</td> </tr> <tr> <td>Kun Shan</td> <td>00:42</td> <td>00:33</td> </tr> <tr> <td>Shanghai</td> <td>00:30</td> <td>00:31</td> </tr> </tbody> </table>	Station	Red Bar (min)	Grey Bar (min)	Nanjing	00:00	00:12	xiaoxing	00:14	00:14	zhenjiang	00:14	00:14	danyang	00:17	00:17	changzhou	00:30	00:30	changzhou dong	00:30	00:30	wuxi	00:22	00:33	Su Zhou	00:38	00:51	Kun Shan	00:42	00:33	Shanghai	00:30	00:31
Station	Red Bar (min)	Grey Bar (min)																																
Nanjing	00:00	00:12																																
xiaoxing	00:14	00:14																																
zhenjiang	00:14	00:14																																
danyang	00:17	00:17																																
changzhou	00:30	00:30																																
changzhou dong	00:30	00:30																																
wuxi	00:22	00:33																																
Su Zhou	00:38	00:51																																
Kun Shan	00:42	00:33																																
Shanghai	00:30	00:31																																

Anteil pünktlicher Züge bei Verspätungen und Einbruchstörungen (Abfahrt/Ankunft)

Pünktlichkeitsgrenze:  
15,0 min

Auswertungszeitraum:  
0:00 - 1 8:00

**Legende**  
Farben

- Ankunftsverspätung Plan
- Abfahrtsverspätung Plan
- Einbruchstörung

Ausgewählte Züge	Ist	Entwurf																																												
FRz	<table border="1"> <caption>FRz (Ist) Punctuality Data</caption> <thead> <tr><th>Station</th><th>Value (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nanjing</td><td>90.74</td></tr> <tr><td>Xiaolang</td><td>97.97</td></tr> <tr><td>Zhenjiang</td><td>99.79</td></tr> <tr><td>Dan yang</td><td>99.89</td></tr> <tr><td>Changzhou</td><td>99.79</td></tr> <tr><td>Changzhou Dong</td><td>99.79</td></tr> <tr><td>Wu xi</td><td>99.99</td></tr> <tr><td>Suzhou</td><td>99.99</td></tr> <tr><td>Kun Shan</td><td>99.99</td></tr> <tr><td>Shanghai</td><td>99.99</td></tr> </tbody> </table>	Station	Value (%)	Nanjing	90.74	Xiaolang	97.97	Zhenjiang	99.79	Dan yang	99.89	Changzhou	99.79	Changzhou Dong	99.79	Wu xi	99.99	Suzhou	99.99	Kun Shan	99.99	Shanghai	99.99	<table border="1"> <caption>FRz (Entwurf) Punctuality Data</caption> <thead> <tr><th>Station</th><th>Value (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nanjing</td><td>84.52</td></tr> <tr><td>Xiaolang</td><td>84.00</td></tr> <tr><td>Zhenjiang</td><td>95.45</td></tr> <tr><td>Dan yang</td><td>95.85</td></tr> <tr><td>Changzhou</td><td>96.53</td></tr> <tr><td>Changzhou Dong</td><td>95.25</td></tr> <tr><td>Wu xi</td><td>95.75</td></tr> <tr><td>Suzhou</td><td>96.13</td></tr> <tr><td>Kun Shan</td><td>96.81</td></tr> <tr><td>Shanghai</td><td>97.97</td></tr> </tbody> </table>	Station	Value (%)	Nanjing	84.52	Xiaolang	84.00	Zhenjiang	95.45	Dan yang	95.85	Changzhou	96.53	Changzhou Dong	95.25	Wu xi	95.75	Suzhou	96.13	Kun Shan	96.81	Shanghai	97.97
Station	Value (%)																																													
Nanjing	90.74																																													
Xiaolang	97.97																																													
Zhenjiang	99.79																																													
Dan yang	99.89																																													
Changzhou	99.79																																													
Changzhou Dong	99.79																																													
Wu xi	99.99																																													
Suzhou	99.99																																													
Kun Shan	99.99																																													
Shanghai	99.99																																													
Station	Value (%)																																													
Nanjing	84.52																																													
Xiaolang	84.00																																													
Zhenjiang	95.45																																													
Dan yang	95.85																																													
Changzhou	96.53																																													
Changzhou Dong	95.25																																													
Wu xi	95.75																																													
Suzhou	96.13																																													
Kun Shan	96.81																																													
Shanghai	97.97																																													
NRz	<table border="1"> <caption>NRz (Ist) Punctuality Data</caption> <thead> <tr><th>Station</th><th>Value (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nanjing</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>Xiaolang</td><td>99.99</td></tr> <tr><td>Zhenjiang</td><td>99.87</td></tr> <tr><td>Dan yang</td><td>99.84</td></tr> <tr><td>Changzhou</td><td>99.51</td></tr> <tr><td>Changzhou Dong</td><td>99.34</td></tr> <tr><td>Wu xi</td><td>99.45</td></tr> <tr><td>Suzhou</td><td>99.44</td></tr> <tr><td>Kun Shan</td><td>99.56</td></tr> <tr><td>Shanghai</td><td>99.93</td></tr> </tbody> </table>	Station	Value (%)	Nanjing	100.00	Xiaolang	99.99	Zhenjiang	99.87	Dan yang	99.84	Changzhou	99.51	Changzhou Dong	99.34	Wu xi	99.45	Suzhou	99.44	Kun Shan	99.56	Shanghai	99.93	<table border="1"> <caption>NRz (Entwurf) Punctuality Data</caption> <thead> <tr><th>Station</th><th>Value (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nanjing</td><td>100.00</td></tr> <tr><td>Xiaolang</td><td>99.96</td></tr> <tr><td>Zhenjiang</td><td>99.74</td></tr> <tr><td>Dan yang</td><td>99.50</td></tr> <tr><td>Changzhou</td><td>99.41</td></tr> <tr><td>Changzhou Dong</td><td>99.41</td></tr> <tr><td>Wu xi</td><td>99.18</td></tr> <tr><td>Suzhou</td><td>99.92</td></tr> <tr><td>Kun Shan</td><td>99.29</td></tr> <tr><td>Shanghai</td><td>99.25</td></tr> </tbody> </table>	Station	Value (%)	Nanjing	100.00	Xiaolang	99.96	Zhenjiang	99.74	Dan yang	99.50	Changzhou	99.41	Changzhou Dong	99.41	Wu xi	99.18	Suzhou	99.92	Kun Shan	99.29	Shanghai	99.25
Station	Value (%)																																													
Nanjing	100.00																																													
Xiaolang	99.99																																													
Zhenjiang	99.87																																													
Dan yang	99.84																																													
Changzhou	99.51																																													
Changzhou Dong	99.34																																													
Wu xi	99.45																																													
Suzhou	99.44																																													
Kun Shan	99.56																																													
Shanghai	99.93																																													
Station	Value (%)																																													
Nanjing	100.00																																													
Xiaolang	99.96																																													
Zhenjiang	99.74																																													
Dan yang	99.50																																													
Changzhou	99.41																																													
Changzhou Dong	99.41																																													
Wu xi	99.18																																													
Suzhou	99.92																																													
Kun Shan	99.29																																													
Shanghai	99.25																																													
Güterzug Zwischen 23:00 bis 6:00 Uhr	<table border="1"> <caption>Güterzug (Ist) Punctuality Data</caption> <thead> <tr><th>Station</th><th>Value (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nanjing</td><td>80.79</td></tr> <tr><td>Xiaolang</td><td>84.11</td></tr> <tr><td>Zhenjiang</td><td>83.25</td></tr> <tr><td>Dan yang</td><td>84.87</td></tr> <tr><td>Changzhou</td><td>84.62</td></tr> <tr><td>Changzhou Dong</td><td>88.80</td></tr> <tr><td>Wu xi</td><td>92.32</td></tr> <tr><td>Suzhou</td><td>92.32</td></tr> <tr><td>Kun Shan</td><td>84.13</td></tr> <tr><td>Shanghai</td><td>90.35</td></tr> </tbody> </table>	Station	Value (%)	Nanjing	80.79	Xiaolang	84.11	Zhenjiang	83.25	Dan yang	84.87	Changzhou	84.62	Changzhou Dong	88.80	Wu xi	92.32	Suzhou	92.32	Kun Shan	84.13	Shanghai	90.35	<table border="1"> <caption>Güterzug (Entwurf) Punctuality Data</caption> <thead> <tr><th>Station</th><th>Value (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nanjing</td><td>91.30</td></tr> <tr><td>Xiaolang</td><td>91.34</td></tr> <tr><td>Zhenjiang</td><td>90.96</td></tr> <tr><td>Dan yang</td><td>90.61</td></tr> <tr><td>Changzhou</td><td>90.66</td></tr> <tr><td>Changzhou Dong</td><td>90.30</td></tr> <tr><td>Wu xi</td><td>90.15</td></tr> <tr><td>Suzhou</td><td>90.15</td></tr> <tr><td>Kun Shan</td><td>90.35</td></tr> <tr><td>Shanghai</td><td>90.35</td></tr> </tbody> </table>	Station	Value (%)	Nanjing	91.30	Xiaolang	91.34	Zhenjiang	90.96	Dan yang	90.61	Changzhou	90.66	Changzhou Dong	90.30	Wu xi	90.15	Suzhou	90.15	Kun Shan	90.35	Shanghai	90.35
Station	Value (%)																																													
Nanjing	80.79																																													
Xiaolang	84.11																																													
Zhenjiang	83.25																																													
Dan yang	84.87																																													
Changzhou	84.62																																													
Changzhou Dong	88.80																																													
Wu xi	92.32																																													
Suzhou	92.32																																													
Kun Shan	84.13																																													
Shanghai	90.35																																													
Station	Value (%)																																													
Nanjing	91.30																																													
Xiaolang	91.34																																													
Zhenjiang	90.96																																													
Dan yang	90.61																																													
Changzhou	90.66																																													
Changzhou Dong	90.30																																													
Wu xi	90.15																																													
Suzhou	90.15																																													
Kun Shan	90.35																																													
Shanghai	90.35																																													

Güterzug  
Zwischen  
7:00 bis  
21:00 Uhr

