

Untersuchung der Auswahl eines schnellen und mittelkapazitiven öffentlichen Verkehrssystems

Vergleich des Bus Rapid Transit und der Straßenbahn

vorgelegt von
Master-Ingenieur
Tingjing Wang
aus Shanxi (China)

von der Fakultät V- Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. M. Rötting

Berichter: Prof. Dr. T. Richter

Berichter: Prof. Dr. J. Siegmann

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 14.Mai.2013

Berlin 2013
D 83

Impressum:

D83

Copyright: © 2013 Tingjing Wang

ISBN: 978-3-8442-7061-7

Druck und Verlag: epubli GmbH, Berlin, www.epubli.de

**Study on the selection of fast and medium capacitive
transport systems
Comparison between BRT and Tram**

Kurzfassung

In der Gegenwart werden BRT und Straßenbahnen immer mehr in chinesischen Städten eingeführt. Die Beiden gehören zu den schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystemen und haben damit viele Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede. Wenn eine Stadt ein schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem einbauen möchte, müssen die Entscheidungsträger zwischen BRT und Straßenbahn erwägen und auswählen.

Mit dieser Frage nimmt diese Arbeit mittelstufige BRT und moderne Straßenbahnen als Untersuchungsobjekt. Zunächst werden die Definition, Geschichte, Zusammensetzungen, Spektrum und Stufe, Funktionen und Bedeutung der BRT- und Straßenbahnsysteme dargestellt. Dann werden die beiden schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme von fünf Aspekten- technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Anpassungsmöglichkeiten und Betrieb und Management aus mehreren Punkten wie Beförderungsfähigkeit in China detailliert und umfassend verglichen. Daraus ergeben sich die relativen Vor- und Nachteile von beiden.

Auf dieser Grundlage wird das Auswahlmodell mit Hilfe von dem Analytischen Hierarchieprozess (AHP) aufgebaut. Vergleich und Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme gehören zur Entscheidungsfragen mit mehreren Zielen und einer begrenzten Anzahl von Alternativen. AHP gemäß wird die hierarchische Struktur gebildet, die detaillierten und umfassenden Indikatoren zusammengestellt und das Indikatorsystem gebaut. Das Modell wird auf den konkreten Fall in der Stadt Changzhou angewendet. Zuletzt ergibt sich das Ergebnis, welches schnelle und mittel-kapazitive Verkehrssystem für den Verkehrskorridor in der Stadt Changzhou besser geeignet ist. Zuletzt werden Erfahrungen und Probleme bei der Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme in China zusammengefasst und in Bezug auf den Status quo und künftige Entwicklungsrichtungen Ideen und Empfehlungen gegeben.

Die Schwerpunkte der Arbeit liegen in dem detaillierten Vergleich des BRT und Straßenbahn aus verschiedenen Aspekten und Konstruktion und Anwendung des Auswahlmodells mit Hilfe von AHP.

Abstract

At present BRT and tram are introduced in more and more Chinese cities. The two are fast and medium-capacitive transit systems and therefore have common ground, but also differences. If a city wants to build a fast and medium-capacitive transport system, how policy makers consider and choose between BRT and tram.

With this question, this work takes BRT and modern tram as the objects. First, the definition, history, composition, spectrum and level, functions and importance of the BRT and tram systems are shown. Then the two fast and medium-capacitive transport systems are compared with detail and comprehensive from five aspects-technical function, investment costs, energy consumption and environmental protection, adaptability and operation and management of detailed points as transport capacity in China. This results the relative advantages and disadvantages of both.

On this basis, the selection model is constructed using the analytic hierarchy process (AHP). Comparison and selection of fast and medium capacitive transport systems belong to the ruling with multiple objectives and a limited number of alternatives. The hierarchical structure is formed, the detailed and comprehensive indicators are summarized and the indicators system is built according to AHP. The model is applied to the particular case in the city of Changzhou. Last gives the result, which fast and medium capacitive transport system is better for corridor in Changzhou city. At last experiences and problems of the development of fast and medium capacitive transport systems in China are summarized and ideas and recommendation are given in terms of status quo and future development directions.

The main areas of work are the detailed comparison of the BRT and tram from different aspects and construction and application of the selection model by using AHP.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einführung	1
1.1 Einordnung des städtischen Nahverkehrs	1
1.2 Hintergrund	1
1.3 Fragestellung	4
1.4 Stand der Forschung in China und anderen Ländern außerhalb von China	5
1.4.1 Stand der Forschung in anderen Ländern außerhalb von China..	5
1.4.2 Forschungsstand des BRT-und Straßenbahnsystems in China...	6
1.5 Ziele und Inhalt.....	10
1.5.1 Ziele	10
1.5.2 Die Inhalte	11
1.5.3 Rahmen	13
2 Bus Rapid Transit (BRT) System	15
2.1 Überblick des BRT	15
2.1.1 Definition	15
2.1.2 Geschichte	15
2.2 Zusammensetzung, Spektrum und Stufen des BRT	22
2.2.1 Wichtige Zusammensetzung	22
2.2.2 Spektrum der Arten des BRT	24
2.2.3 Stufen des BRT	27
2.3 Funktionen und Bedeutung des BRT im ganzen ÖPNV-System.....	29
2.3.1 BRT als Hauptteil oder Rückgrat des ÖPNV.....	29
2.3.2 BRT als ein Übergang zum Schienenverkehr	31
2.3.3 BRT als eine Ergänzung zum Schienenverkehr	32
2.3.4 Sonstige Situation	33
2.3.5 Bedeutung des BRT im gesamten ÖPNV-System	33
2.4 Positive und negative Seiten des BRT.....	33
2.4.1 Positive Seiten des BRT	33
2.4.2 Negative Seiten des BRT	35
3 Straßenbahnsystem	36
3.1 Überblick über die Straßenbahn	36
3.1.1 Definition	36
3.1.2 Geschichte und Evolution der Straßenbahn	37
3.2 Zusammensetzung, Spektrum und Stufen eines Straßenbahn-systems	42
3.2.1 Wichtige Elemente eines Systems	42
3.2.2 Vielfältigkeit der Elemente des Straßenbahnsystems	44
3.2.3 Entwicklungsstufen des Straßenbahnsystems.....	45
3.3 Funktionen und Bedeutung der Straßenbahn im ganzen ÖPNV- System.....	47
3.3.1 Straßenbahn als Grundgerüst des ÖPNV.....	47
3.3.2 Straßenbahn als Rückgrat des ÖPNV	47
3.3.3 Straßenbahn als Ergänzung zum schnellen Schienenverkehr...	49
3.3.4 Einzelne Straßenbahn als Pilotlinie	51
3.3.5 Bedeutungen der Straßenbahn in dem gesamten ÖPNV-System	51
3.4 Positive und negative Seiten der Straßenbahn.....	52
3.4.1 Positive Seiten der Straßenbahn	53
3.4.2 Negative Seiten der Straßenbahn	54

4	Vergleichende Analyse des BRT- und Straßenbahnsystems.....	56
4.1	Gegenstände der Studie.....	56
4.2	Gedanken der vergleichenden Analyse	59
4.3	Vergleich der technischen Funktion.....	60
4.3.1	Vergleichende Analyse der Leistungsfähigkeit	61
4.3.2	Die vergleichende Analyse der Beförderungsgeschwindigkeit... ..	76
4.3.3	Bedienungsqualität.....	81
4.4	Vergleich der Investitionskosten	84
4.4.1	Theoretischer Kostenvergleich	85
4.4.2	Vergleich der Praxis	88
4.5	Vergleichende Analysen des Energieverbrauchs und der Umweltverschmutzung.....	92
4.5.1	Vergleich des Energieverbrauchs.....	92
4.5.2	Vergleich der Umweltverschmutzung	97
4.6	Vergleich von Betrieb und Verwaltung.....	100
4.6.1	Modus von Betrieb und Verwaltung	101
4.6.2	Betriebsweise der Linie im Vergleich	103
4.6.3	Intelligentes Steuerungssystem (IS) im Vergleich.....	106
4.7	Vergleich der Anpassungsmöglichkeit.....	107
4.7.1	Vergleich der Anpassungsmöglichkeit der Stadtgröße und des Wirtschaftslevels	108
4.7.2	Vergleich der Anpassungsmöglichkeit an den Fahrgaststrom ..	110
4.7.3	Die Anpassungsmöglichkeit an den vorhandenen Straßenzustand im Vergleich.....	111
4.7.4	Anpassungsmöglichkeit an das Stadtbild	113
4.8	Zusammenfassung.....	113
5	Vergleich und Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme 115	
5.1	Der Gedankengang des Vergleichs und der Auswahl.....	115
5.2	Einflussfaktoren.....	115
5.2.1	Analyse der externen Faktoren des Bedarfs.....	115
5.2.2	Die internen Faktoren auf der Angebotsseite.....	119
5.3	Der Ansatz des Vergleichs und der Auswahl	120
5.4	Die Konstruktion der hierarchischen Struktur.....	121
5.4.1	Bau der einzelnen Ebenen	121
5.4.2	Bildung der hierarchischen Struktur.....	125
5.5	Konstruktion der Urteilsmatrix.....	125
5.5.1	Konstruktionsprinzip der Urteilsmatrix	126
5.5.2	Festlegung der Werte der Urteilsmatrix	127
5.5.3	Prüfung der Konsistenz der Urteilsmatrix	131
5.6	Durchführung des hierarchischen Prozesses	132
5.6.1	Der einzelne hierarchische Prozess	132
5.6.2	Der gesamte hierarchische Prozess.....	133
5.7	Zusammenfassung.....	133
6	Erfahrungen und Fehler der Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme in China	135
6.1	Zusammenfassung der Entwicklung von BRT	135
6.1.1	Entwicklungserfahrungen des BRT	135
6.1.2	Die auftretende Probleme der BRT-Systeme Chinas.....	137
6.2	Die Zusammenfassung der Entwicklung der Straßenbahn	141
6.2.1	Die Entwicklungserfahrungen der Straßenbahn	141
6.2.2	Auftretende Probleme der Straßenbahnsysteme Chinas	143
6.3	Vorschläge zur Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme	145
6.4	Zusammenfassungen.....	148

7	Fallstudie in Changzhou	149
7.1	Stadtzustand und Verkehrsnachfrage von Changzhou	149
7.1.1	Stadtentwicklung und Wirtschaft.....	149
7.1.2	Verkehrszustand	150
7.1.3	Fahrverhalten der Bevölkerung	156
7.2	Die Notwendigkeit und Durchführbarkeit eines schnellen und mittelkapazitiven öffentlichen Verkehrssystems in Changzhou	158
7.2.1	Die Notwendigkeit	158
7.2.2	Machbarkeit.....	164
7.3	Vergleich und Auswahl der schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssysteme	166
7.3.1	Auswahl der Indikatoren	166
7.3.2	Konstruktion der Urteilsmatrix	168
7.3.3	Durchführung des hierarchischen Prozesses	170
7.4	Zusammenfassung.....	172
8	Fazit und Ausblick	173
8.1	Fazit	173
8.2	Innovationen.....	174
8.3	Ausblick.....	174
	Literaturverzeichnis	177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Klassifizierung der ÖPNV-Systeme	1
Abbildung 1-2 Rahmen der Dissertation.....	14
Abbildung 2-1 Formen der BRT-Spuren.....	26
Abbildung 2-2 Trennungsformen der BRT-Spur	26
Abbildung 2-3 angewendete Busarten	27
Abbildung 2-4 verschiedene Bauarten der BRT-Haltestelle.....	27
Abbildung 2-5 Die vier Stufen des BRT	29
Abbildung 2-6 das geplante BRT-Netz in Bogotá	30
Abbildung 2-7 die zwei gebauten Linien in Bogotá	30
Abbildung 2-8 die BRT-Linie 1 in Xiamen.....	32
Abbildung 2-9 U-Bahn-Netz und BRT- Linien in Beijing.....	33
Abbildung 3-1 Entwicklung der Straßenbahn in Europa und Deutschland zwischen 1862 und 2007.	40
Abbildung 3-2 erste Straßenbahn 1908 in Shanghai	42
Abbildung 3-3 Entwicklungsphasen der Straßenbahn	45
Abbildung 3-4 das Leipziger Straßenbahnnetz 2010.....	47
Abbildung 3-5 Die Straßenbahnnetz als Rückgrat der Stadt Gera.....	49
Abbildung 3-6 Querschnittsbelastung des einzelnen ÖV-Systems im Werktagverkehr 2009 in Berlin	50
Abbildung 3-7 moderne Straßenbahnlinie 8 in Rom	50
Abbildung 3-8 geplante Straßenbahnlinien in Tianjin	51
Abbildung 3-9 Oberleitung der Leipziger Straßenbahn am Hauptbahnhof.....	55
Abbildung 3-10 Oberleitung von eine Nürnberger Straßenbahnlinie.....	55
Abbildung 4-1 Entwicklungsprozess des BRT	57
Abbildung 4-2 Evolutionsprozess der Straßenbahn.....	58
Abbildung 4-3 Einordnung der Untersuchungsgegenstände.....	59
Abbildung 4-4 wesentliche Vergleichsbereiche von BRT und Straßenbahn	60
Abbildung 4-5 Auslastungsgrade der chinesischen Städte in der Spitzzeit.....	63
Abbildung 4-6 Spitzfrequenz der BRT-Systeme der chinesischen Städte.....	64
Abbildung 4-7 Verhältnisse zwischen den echten und effektiven Haltestelleanzahl einer Station.....	66
Abbildung 4-8 Darstellung des Fahrtprozesses vom ÖV im Weg-Diagramm.....	76
Abbildung 4-9 Diagramm von Aufenthaltsverhalten des Fahrzeugs an der Haltestelle	77
Abbildung 4-10 Einheitsenergieverbrauch von verschiedenen Modells bei Vollast	96
Abbildung 5-1 Das Auswahlverfahren der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme	116
Abbildung 5-2 hierarchische Struktur zur Auswahl des BRT und der Straßenbahn	125
Abbildung 7-1 Erwartungslinie der Fahrten 2006 aller Art der Bevölkerung.....	153
Abbildung 7-2Karte der Überlagerungen der Buslinien der Kernstadt 2006 von Changzhou	154
Abbildung 7-3 Schema der Einzugsbereiche in der Kernstadt bei 300m Fußwegentfernung zu den nächsten Bushaltstellen	155

Abbildung 7-4 Sammlungs- und Verteilungspunkte der Fahrgäste innerhalb der Stadt	156
Abbildung 7-5 Das Verhältnis des Modal Split 2004 und 2006	157
Abbildung 7-6 der Gefüge Changzhous	161
Abbildung 7-7 Hierarchie der Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems für Changzhou	168

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Städte mit BRT und Busspuren weltweit bis 2012	17
Tabelle 2-2 Charakter der BRT-Systeme in China	20
Tabelle 2-3 Statistik der Anzahl der Merkmale der 29 BRT-Systeme	22
Tabelle 2-4 Einsatz des IS im BRT.....	24
Tabelle 2-5 die Beförderungsfähigkeit des BRT, der U und S-Bahnen	34
Tabelle 3-1 neue Straßenbahnstrecken in Deutschland zwischen 2006 und 2008	41
Tabelle 4-1 Kapazität von BRT-Fahrzeug	62
Tabelle 4-2 Theoretische Leistungsfähigkeit der BRT-Systeme	66
Tabelle 4-3 Die BRT-Verkehrsstärke der chinesischen Städte in der Hauptverkehrszeit	68
Tabelle 4-4 Kapazität eines Translohr-Zugs.....	71
Tabelle 4-5 Kapazität eines Alstom-Zugs.....	71
Tabelle 4-6 verschiedene Z-Werte in den erwarteten Ausfallrateniveaus	74
Tabelle 4-7theoretische maximale Leistungsfähigkeit von der modernen Straßenbahn	74
Tabelle 4-8 Leistungsfähigkeit der Straßenbahn in der Hauptverkehrszeit in chinesischen Städten	75
Tabelle 4-9 Die durchschnittliche Ein- und Aussteigzeit der Fahrgäste in BRT... 78	78
Tabelle 4-10 Die empirische mittlere Beförderungsgeschwindigkeit von BRT und Straßenbahn in einigen Städten weltweit (Einheit: km/h).....	80
Tabelle 4-11 Kosteneinschätzung der modernen Straßenbahn in Shanghai und des zwischenstufigen BRT in Guangzhou (Einheit: 10 ⁴ CNY).....	90
Tabelle 4-12 Grundlegende Parameter der Fahrzeuge	95
Tabelle 4-13 Rechnungsergebnis von Einheitsenergieverbrauch der Verkehrsarten [Einheit: W/Pers.]	95
Tabelle 4-14 Vergleich des Einheitsenergieverbrauchs von BRT und Straßenbahn	97
Tabelle 4-15 einzelnen Schadstoffen der Emission von der herkömmlichen Bus- und BRT-Diesel-Fahrzeuge in der Spitzenzeit in Peking	99
Tabelle 4-16 Betriebsarten der schnellen Nahverkehrslinien.....	103
Tabelle 4-17 Betriebsweisen der schnellen und mittel kapazitiven Linie im Vergleich.....	105
Tabelle 4-18 Größe und Wirtschaftsniveau der chinesischen Städte während der Bauzeit des BRT	108
Tabelle 4-19 Größe und Wirtschaftsniveau von Städten mit Straßenbahnen in Betrieb und in Bau in China.....	109
Tabelle 5-1 die Urteilmatrix der Zielebene A.....	126
Tabelle 5-2 Die Skalen der Urteilmatrix und ihre Sinne	127
Tabelle 5-3 durchschnittlichen zufälligen Konsistenzindizes aus 500 Matrixen mit „m“ Zeilen und Spalten (0<m<10).....	132
Tabelle 6-1 Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem BRT	135
Tabelle 6-2 Anzahl der BRT-Linie der chinesischen Städte.....	138
Tabelle 6-3 Signal Priorität und Betriebstempo der BRT in China	140
Tabelle 7-1 technische Index der Straßen in Changzhou	151
Tabelle 7-2 ÖV-Netzdichte der Teilverkehrszellen 2006 in Changzhou.....	152

Tabelle 7-3 Zeitaufwand pro Fahrt oder Weg jeder Art 2006 in Changzhou	156
Tabelle 7-4 Urteilsmatrix der Zielebene A	169
Tabelle 7-5 die Matrix in Indikatorebene C1	169
Tabelle 7-6 die Matrix in Indikatorebene C2	169
Tabelle 7-7 die Matrix in Indikatorebene C3	169
Tabelle 7-8 die Matrix in Indikatorebene C4	169
Tabelle 7-9 die Matrix in Indikatorebene C5	170
Tabelle 7-10 die Matrix in Indikatorebene C6	170
Tabelle 7-11 die Matrix in Indikatorebene C7	170
Tabelle 7-12 die Matrix in Indikatorebene C8	170
Tabelle 7-13 Tabelle der Gewichte von BRT und Straßenbahn.....	172

Abkürzungsverzeichnis

ÖPNV: öffentlicher Personen Nahverkehr

BRT: Bus Rapid Transit

O-Bus: Oberleitungsbus

ÖV: öffentlicher Verkehr

MIV: motorisierter Individualverkehr

NMIV: Nichtmotorisierter Individualverkehr

BIP: das Bruttoinlandsprodukt

HOV: High occupancy Vehicle

KFZ: Kraftfahrzeug

Pkw: Personenkraftwagen

M: Meter

S: Sekunde

km/h: Kilometer pro Stunde

mm: Millimeter

Mio.: Million

Mrd.: Milliarde

USD: US-Dollar

1 EUR = 8,372 CNY, nach Wechselkurs am 28. Januar 2013

CNY: die internationale Abkürzung der Währung der Volksrepublik China nach ISO 4217 und wird von der Chinesischen Volksbank herausgegeben,

Pers.: Personen

Kg: Kilogramm

J:Joule

W: Watt

i.a.: im allgemeinen

i.d.R.: in der Regel

usw.: unter so weit

Pers.: Person

z. B.: zum Beispiel

etc.: et cetera (und so weiter)

max.: maximal

AHP: der analytische hierarchische Prozess

SWOT-Analyse: Stärken(**S**trengths)-, Schwäche(**W**eakness)-, Chance(**O**pportunities)- und Risiko(**T**hreats)-analyse

ITS: Intelligent Transportation System

IS: Intelligentes Steuerungssystem

LSA: Lichtsignalanlage

TCRP: The Transit Cooperative Research Program

FTA: Federal Transit Administration

ITDP: Institute for Transportation and Development Policy

FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

NO_x: Stickoxide

CO_x: Kohlenoxide

CO: Kohlenwasserstoff

PM: Partikel

SO₂: Schwefeldioxid

1 Einführung

1.1 Einordnung des städtischen Nahverkehrs

Der Öffentliche Personen Nahverkehr (ÖPNV) als Subsystem des städtischen Verkehrssystems spielt eine wichtige Rolle in der Stadtentwicklung und Städtebau und ist eine wichtige städtische Infrastruktur. ÖPNV-Systeme sind vielfältig, obwohl ihr Ziel, Passagiere sicher zu transportieren, gleich ist, sind ihr Ausmaß der Konstruktion, Beförderungskapazität und Kosten der Infrastruktur und des Betriebs unterschiedlich und ihre technische Unterstützungsbedingungen und Qualitätsniveau haben verschiedene Eigenheiten. Nach verschiedenen Normen werden ÖPNV-Systeme in verschiedene Einstufungen kategorisiert, aus der Sicht des Verkehrsträgers werden ÖPNV-Systeme in schienen- und straßengebundenen ÖPNV-Systeme eingeteilt. Schienengebundene Systeme werden wiederum in U-Bahn, S-Bahn, Straßenbahn etc. untergliedert, straßengebundene Systeme untergliedern sich in konventionellen Busse, Bus Rapid Transit (BRT), Oberleitungsbus (O-Bus) usw. Nach Beförderungskapazität werden ÖPNV-Systeme in hoch-, mittel- und klein- kapazitiven ÖPNV-Systemen untergliedert. Hoch-kapazitive ÖPNV-Systeme teilen sich in U-Bahn, S-Bahn etc. ein, mittel-kapazitive ÖPNV-Systeme werden in BRT, moderne Straßenbahn etc., klein- kapazitive ÖPNV-Systeme in konventionellem Bus, O-Bus klassifiziert. Ein Überblick über die ÖPNV-Systeme ist in Abbildung 1-1 gezeigt.

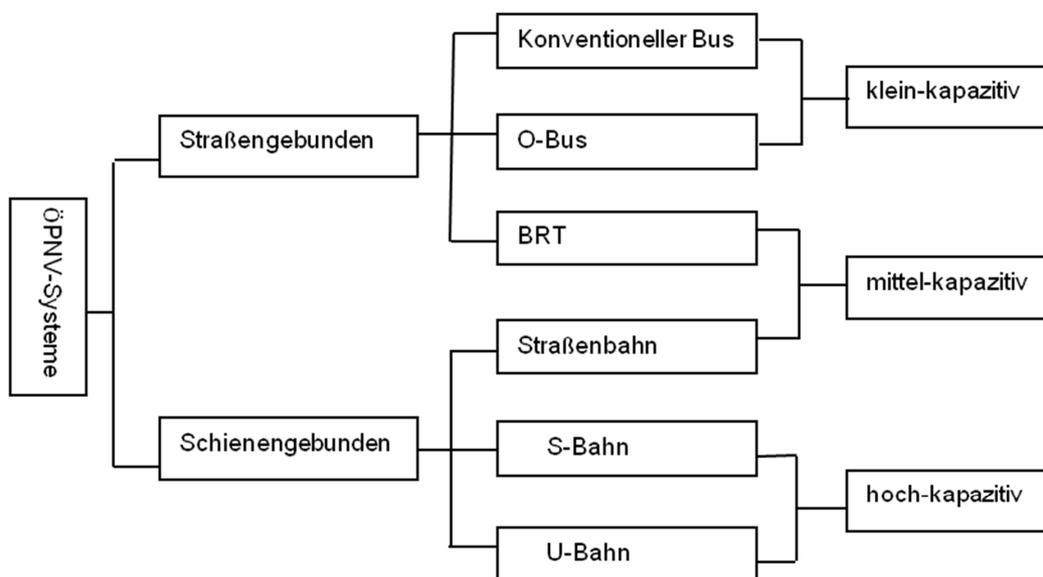


Abbildung 1-1 Klassifizierung der ÖPNV-Systeme

1.2 Hintergrund

(A) ÖPNV-Formen in chinesischen Städten

Seit der Wirtschaftsreform und der Öffnungspolitik 1978 erlebt die chinesische Wirtschaft eine rasche Entwicklung, die Städten sind in ständiger Expansion, China befindet sich nun in einer Phase, in der Verstädterung, Wirtschaft und Motorisierung stark zunehmen. Dementsprechend hat die Entwicklung des städtischen Nahverkehrs auch einen qualitativen Sprung

gemacht. Weil der Grad der Verstädterung, Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaft und andere Aspekte der jeweiligen Stadt unterschiedlich sind, befinden sich die städtischen Nahverkehrssysteme in verschiedenen Entwicklungsniveaus. Seitdem man sich bewusst wurde, wie wichtig das ÖPNV-System für eine Stadt ist, hat man es stets verbessert. Einerseits modernisiert und ergänzt man es, andererseits werden neue Formen und Techniken eingeführt. Es entstehen allmählich verschiedene integrierte ÖPNV-Systeme aus mehreren Ebenen und Arten. Insgesamt gibt es nun vier ÖPNV-Systemformen in chinesischen Städten:

- hoch-kapazitives U-Bahn- und/oder S-Bahnnetz dient als Hauptgerüst, mittelkapazitives BRT- oder Straßenbahnnetz als Ergänzung dazu, das klein-kapazitive Busnetz als Flächenerschließung und Zubringersystem zum S- und U-Bahn-Netz. Die Form befindet sich in Metropolen und Großstädten, z.B. Peking, Guangzhou, Hangzhou „U-Bahn+ BRT+ Bus“ Form, Shanghai „U-Bahn+ Straßenbahn+ Bus“, Tianjin „S-Bahn+ Straßenbahn+ Bus“ Form ;
- hoch-kapazitive U-Bahn- und/oder S-Bahnlinien bilden zusammen mit Bus-Linien das ÖPNV-Netz. Die U-Bahn- und/oder S-Bahnlinien strukturieren die Hauptachsen. Die Buslinien sind eine Ergänzung zum S- und U-Bahn-Netz. Die Form verbreitet beispielsweise in solchen Metropolen und großen Städten: Wuhan, Nanjing;
- mittel-kapazitive schnelle ÖPNV-Verkehrsmittel BRT oder Straßenbahnen sind als Rückgrat, klein-kapazitive Busse funktionieren als Hauptteil. Die Form wurde in großen- und mittelgroßen Städten beobachtet, wie Jinan, Changzhou, Xiamen, Suzhou „BRT+ Busse“, Dalian „Straßenbahn+ BRT+ Bus“;
- nur konventionelle Busse bilden ÖPNV-System, die meisten mittleren und kleinen Städte in China haben ÖPNV in dieser Form, in Deutschland ist es in insgesamt zwölf Städten der Fall [1].

Aus der Sicht der oben genannten vier Modelle entwickelt China kräftig den ÖPNV, insbesondere die schnellen und mittelkapazitiven ÖPNV-Systeme. Die schnellen und mittelkapazitiven ÖPNV-Systeme sind zwar später als U-, S-Bahn und konventioneller Bus in China umgesetzt, aber stärker in Fokus geraten, dadurch bevorzugt installiert, mittlerweile etabliert sie sich in den gesamten ÖPNV-Systeme. Seit die erste BRT-Linie in Peking 2005 in Betrieb genommen wurde, bis Ende 2011 haben insgesamt 14 große und mittelgroße chinesische Städte BRT-Linien gebaut und in Betrieb gesetzt. Solche Städte sind: Peking, Guangzhou, Hangzhou, Zhengzhou, Dalian, Changzhou, Jinan, Zaozhuang, Hefei, Kunming, Xiamen, Chongqing, Yancheng und Ürümqi, noch fünf anderen große und mittelgroße Städte haben BRT-Projekte in Planung und im Bau gesetzt. Das Ausmaß von der Straßenbahn ist relativ kleiner, deren Entwicklung ist langsamer, und nur einige Städte wie Tianjin, Shanghai,

Dalian verfügen über eine moderne Straßenbahn, Städte wie Suzhou, Hefei, Nanhai planen den Neubau der Straßenbahn.

(B) Entwicklungszustand des schnellen und mittel-kapazitiven ÖPNV im Ausland

Von der Erscheinung der ersten öffentlichen Kutsche in London 1660 bis zur Gegenwart, hat sich der ÖPNV von einem einzigen Verkehrsträger schrittweise zu einem Multi-Level-, Multi-Mode-, Netzwerkartig, umfassenden Transportsystem entwickelt. ÖPNV in den Vereinigten Staaten und Europa und anderen entwickelten Länder erreichen durch die effizienten, stabilen, miteinander koordinierten öffentlichen Verkehrsmittel großer, mittlerer und niedriger Kapazität eine höhere Entwicklungsstufe im Vergleich mit der separaten einseitigen Entwicklung des ÖPNV in China. Das BRT hatte einen frühen Start nicht in China sondern im Ausland. BRT erschien zuerst in Curitiba, Brasilien während den 1970er Jahren, bis jetzt hat nur 40 Jahre Geschichte. Damals war das Niveau der wirtschaftlichen Entwicklung nicht so hoch, in den Städten gab es nicht so viele Fahrzeuge, die Situation des Verkehrsstaus war nicht auffällig und die hierdurch verursachten Probleme geringfügig, weshalb das BRT-System in Curitiba keine internationale Aufmerksamkeit gewinnen konnte, nur einige Städte wie Ottawa von Kanada, Chicago von USA und Bogotá, Santiago von Südamerika folgten Curitiba und bauten BTR-Systeme in den 1970er Jahren. Erst in den 1990er Jahre, mit der rasanten wirtschaftlichen Entwicklung der Länder in der Welt, der wachsende Anzahl an Autos und der steigende Ölpreise, standen alle großen Städte vor Problemen wie der Verschlechterung der Verkehrssituation und gebundenen Umweltverschmutzung etc. und sie beschränkten die Stadtentwicklung sehr. In der Zeit wurde Curitiba ein BRT-Netz gebildet, das aus sechs Linien besteht. Das Netz läuft effizient, ordentlich, und trägt rund 75 Prozent des Personenverkehrs; es löst damit effektiv das Problem der städtischen Verkehrsstaus und der Umweltverschmutzung. Erst daraufhin haben die anderen Länder die Vorzüge des BRT begriffen und die Planung und den Bau des BRT begonnen. Derzeit entwickeln insgesamt mehr als 50 Städten in Südamerika, Nordamerika, Europa, Asien BRT-Systeme, wie z. B: Leeds(UK, Europa), Eindhoven(Niederlande), Paris, Lyon (Frankreich), Essen(Deutschland), Istanbul(Türkei), Nagoya (Japan, Asien), Seoul(Korea), Jakarta (Indonesien), Dhaka (Bangladesh), Bangalore(Indien), Brisbane (Australien).

Die erste Straßenbahnlinie wurde von Siemens, einem deutschen Ingenieur im Jahre 1881 am Stadtrand Berlin kreiert. Von 1890 bis 1920 schaffte die Straßenbahn eine schnelle Entwicklung weltweit, vor dem Ersten Weltkrieg hatte fast jede große Stadt auf der ganzen Welt eine Straßenbahn. Aufgrund der Sicherheitsprobleme, Lärm und vieler anderer Probleme der Straßenbahn, hatten viele Städte diese Transportart nach und nach aufgegeben. Erst in den 1960er und 1970er Jahren aufgrund der Energiekrise im Westen wurde die Renaissance der

Straßenbahn verstärkt, insbesondere in Europa. Die Straßenbahn wurde in Europa reaktiviert, vor allem weil die abgeschlossene Urbanisierung dort eine wesentliche Veränderung der Stadt erschwerte während der Straßenverkehr rasch wuchs. Die Breite der Straßenbahn ist variabel, deswegen kann sich die Straßenbahn gut an das vorhandene enge Straßennetz in Europa anpassen. Die Kapazität der engen Straßenbahn erhöht sich durch Zunahme der Länge der Straßenbahn, damit kann die wachsende Verkehrsnachfrage gut befriedigt werden. Zurzeit besitzen 29 europäische Länder ein Straßenbahnsystem, wobei Deutschland und Frankreich die Leitbilder sind. Deutsche Straßenbahnsystem modernisiert sich aufgrund der alten Form, von der kleinen Stadt mit Einwohner wie Jena, Gera bis die Metropole mit Einwohner wie Berlin haben viele deutsche Städte Straßenbahnen; französische Straßenbahn-Systeme sind komplett neu, viele neue Elemente mit den französischen Besonderheiten wurden eingefügt während des Aufbaus.

1.3 Fragestellung

BRT- und Straßenbahnsysteme sind zwei Arten der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme, die beide als bequeme, mittel-schnelle, mittel-kapazitive, für Mittel- und Langstrecken (zwischen U-Bahn und konventionellen straßengebundenen Verkehr) geeignete Systeme des ÖPNV bezeichnet werden können und beide als Hauptteil oder Rückgrat des öffentlichen Verkehrs sowie als Ergänzung zum Schienenverkehr dienen können. Im Laufe der Entwicklung von BRT und Straßenbahnen ist ein Unterschied in den verschiedenen Regionen und Städten festzustellen. BRT erfährt eine schnelle und gute Entwicklung in Südamerika und Asien, die Straßenbahn verbreitet sich hingegen in Europa. Warum gibt es ein solches Phänomen? Haben das BRT- und Straßenbahnsystem Gemeinsamkeit und Unterschied? In welchen Bereichen zeigen sich die relativen Vorteile von beiden? Wie vergleicht, analysiert und bestimmt man die relativen Vorteile von beiden?

BRT-Entwicklung in China verläuft schneller als die der Straßenbahn, mehr als 20 große und mittlere Städte bauen und planen die BRT-Systeme. Dagegen steht die Straßenbahn noch in Anfangsphase, nur wenige große und mittlere Städte in China berücksichtigen oder errichten das Straßenbahn-System. Gleichzeitig gibt es wenige Städte, die sowohl BRT als auch Straßenbahn haben wollen, wie Suzhou. Warum haben einige Städte in China BRT während einige andere die Straßenbahn eingesetzt und wieder andere beide als schnelle und mittel-kapazitive Verkehrsarten gewählt? Auf welche Weise werden schnelle und mittel-kapazitive Verkehrsarten genutzt für das entwickelte ÖPNV-System in einer Stadt? Welche Faktoren sollten bei der Auswahl berücksichtigt werden? Schnelle und mittel-kapazitive Verkehrssysteme verbreiten sich seit Jahrzehnten und sind in Gegenwart auf dem Höhepunkt der Planung und der Umsetzung. Welche Probleme und Schwierigkeiten erscheinen im Entwick-

lungsprozess, welche Erfahrungen werden kumuliert? Wohin führen schnelle und mittelkapazitive Verkehrssysteme in China? Wie entwickeln sie sich progressiv? Solche Fragen und Schwierigkeiten gelten als zu lösen. Im Angesicht der dringenden Notwendigkeit müssen diese Probleme angegangen werden, um eine gesunde Entwicklung des ÖPNV-Systems zu führen und Verkehrsstaus und Umweltzerstörung zu mildern.

1.4 Stand der Forschung in China und anderen Ländern außerhalb von China

1.4.1 Stand der Forschung in anderen Ländern außerhalb von China

Andere Staaten haben die Durchführung des BRT und der Straßenbahn sehr früh begonnen und deshalb eine Menge Erfahrungen aus der Planung und Errichtung bis zum Betrieb angesammelt. Die Untersuchungen von BRT oder Straßenbahn sind meistens von großen Organisationen durchgeführt und deren Untersuchungsgebiete sind umfassend.

(A) Forschungsstand des BRT-Systems

Curitiba ist die erste Stadt, die ein BRT-System angelegt und eine von zwei Städten mit kompletten BRT-Systemen weltweit. Das BRT-System in Curitiba gewinnt deswegen großes Interesse von vielen Forschern und Untersuchungen zu ihm sind zahlreich. Leroy, W. Demery, Jr. zum Beispiel beobachtete seinen Hintergrund, Details des Betriebs, das Beförderungsvolumen und den Modal-Split-Anteil.

The Transit Cooperative Research Program (TCRP) Untersuchung, gefördert von *Federal Transit Administration (FTA)* in den USA hat vollständige BRT-Systeme auf der Basis der Analyse zu 26 BRT-Fälle in Nordamerika, Australien, Europa, Südamerika wahrgenommen [2] und Begriffsbestimmungen, Merkmale und verwandte Technologien, Komponenten, Planung und Konstruktion und betrieblichen Merkmale resümiert und einen detaillierten Implementation Guide gebildet [3].

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), wessen Hauptstelle sich in den Vereinigten Staaten befindet, hat eine Menge BRT-Forschungen erledigt, BRT-System von der Vorbereitung der BRT-Projekten, Auslegung der Operation, physikalische Design, Geschäftsplanung bis zur Auswertung und Umsetzung umfassend und systematisch eingeführt und zusammengefasst [4] und das Norm des BRT-Systems verfasst [5].

(B) Forschungsstand der Straßenbahn

In anderen Ländern außerhalb von China wurden Straßenbahnen von verschiedenen Aspekten, wie die technischen Standards, Baukosten und Betriebsverhalten etc. systematisch studiert. Prof. Dr.-Ing. Fiedler stellt alle Aspekte der technischen Standards zu der Planung,

Konstruktion, Betrieb der Straßenbahn dar [6]. Dr.-Ing. Christoph Groneck beschreibt ausführlich in seiner Dissertation die baulichen und betrieblichen Merkmale des modernen französischen Straßenbahnsystems, von der Planung jedes Teils, Baukosten, Betriebsart, Einnahmen, der Anzahl der Fahrgäste bis hin zu den von Straßenbahnen induzierte Zunahme des Verkehrsaufkommens. Er stellt auch die wesentlichen Unterschiede zwischen deutschen und französischen Straßenbahnen in Bezug auf Planung, Errichtung und Betrieb dar [7]. In „*Stadtbahnen in Deutschland- Innovativ- flexibel– attraktiv*“ wird eine detaillierte Analyse des Netzes der Stadtbahn, Linien und Stationen in verschiedenen Formen gezeigt [8]. Johannes Bouchain beschreibt in seiner Diplomarbeit die Transformation von der Straßenbahn zur Stadtbahn, Stadtbahnqualität in Richtung auf Netzwerk, Stadtraum und Fahrzeuge, aktive Rolle der Stadtbahn in der Stadt [9].

(C) Vergleichsstudie des BRT- und Straßenbahnsystems

Katrin Megel versucht in ihrer Magisterarbeit mit Erhebungsmethoden die psychologischen Präferenzen der Passagiere bei der Wahl zwischen Bus und Bahn zu ermitteln. Dabei werden psychologischen Einflussgrößen wie Gefühle, Erfahrungen und Werte berücksichtigt [10]. Die *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)* hat ein Buch über den Vergleich der Bau- und Betriebskosten der neu eingeführten BRT und Straßenbahnsysteme veröffentlicht. Die Schlussfolgerung ist, dass BRT weniger kostet als die Straßenbahn [11]. David B. McBrayer analysiert und vergleicht Betriebseigenschaften von BRT und Stadtbahn und fasst die wichtigen Faktoren bei der Wahl von BRT und Stadtbahn zusammen [12]. Im „*TCRP Report 100-Transit Capacity and Quality of Service Manual*“, zeigen sich die konkrete Berechnungsmethoden der Kapazität und Qualität von BRT und Stadtbahn unter verschiedenen Bedingungen [13].

1.4.2 Forschungsstand des BRT-und Straßenbahnsystems in China

Schnell und mittel-kapazitive Verkehrssysteme sind in China später vorgekommen als im Westen, daher befinden sich die Studie von den chinesischen Experten, Wissenschaftlern und technischen Mitarbeitern in der Phase des Aufbaus und der Inbetriebnahme.

(A) Forschungsstand des BRT-Systems

BRT-Untersuchungen haben in China spät begonnen, haben jedoch eine rasante Entwicklung. Es gibt folgende allgemeine Schritte und Forschungsinhalte:

- (1) Als das BRT-System am Anfang in China eingeführt wurde, nahmen die Forscher die grundlegenden Konzepte des BRT-Systems zum Thema, wie z. B.: Herr Xu zeigte die Definition vom BRT-System [14] ; Herr Yang, Herr Chen und Herr Wang überlegten und diskutierten, wie sich BRT-System in China entwickeln soll [15], Herr Hu be-

richtete über die Wirtschaftlichkeit bei der Umsetzung des BRT-Systems in einer Stadt [16].

- (2) Während die BRT-Systeme in China aufgebaut und in Betrieb genommen wurden haben viele Gelehrten systematisch deren Position, Funktion in integriertem Nahverkehr, deren Anpassungsmöglichkeit und Durchführbarkeit in chinesischen Städten studiert, wie z. B. Herr Yang ihre Anpassungsmöglichkeit und Durchführbarkeit in China [15], Herr Sun die Verhältnisse von BRT- und Schienenverkehr (v.a. U-Bahn und Stadtbahn) und auch die Positionierung des BRT in den städtischen öffentlichen Verkehrssystemen. Es wird ergänzt durch Fallstudien der Einrichtungen von BRT- und Schienensystemen, dass der Einbau des BRT auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt, das BRT-Netz gut geplant und die Verbindungen zwischen BRT und anderen öffentlichen Nahverkehrssystemen gut bedacht werden soll [17].
- (3) Mit der Eröffnung und dem Betrieb der ersten BRT-Linie in Peking nehmen viele Experten und Wissenschaftler weiterhin Theorien von BRT zum Gegenstand ihrer Forschung, v.a. Planungstheorie und –methoden, Bewertungsmethoden, Verwaltung der Operation. z.B. hat Herr Gu das Design der Einrichtung des Hauptnetzes, die Nachfrageprognosen in diesem Netz, die Auswahl der Korridoren und die Layout-Methode der BRT-Linien usw. untersucht und damit Bewertungsmethode der Netzpläne vorgeschlagen auf Grund der Analyse der Anpassungsmöglichkeit, Funktion und Position [18]. Herr Zhang behandelt die Theorie und Methodik der Planung der BRT-Systeme und hat Planungsprogramme für deren Netze entworfen, die Auswahl der Routen erforscht, danach wichtige Inhalte und Verfahren von Planung der ganzen Systeme skizziert, Gestaltung der Linien und Haltestelle, Beförderungsfähigkeit und Ticketing-Management in Bezug auf den Betrieb diskutiert [19]. BRT-Experte wie Herr Xu haben darauf hingewiesen, dass die Art und Weise der Umsetzung der BRT-Systeme vielfältig unter verschiedenen Randbedingungen der Betriebsumgebungen sind. Erfolgreiche BRT-Systeme in China und außerhalb Chinas sind alle "maßgeschneidert". Er hat davon berichtet, warum BRT in China durchgeführt werden soll. Die Darstellung der Vorteile, Notwendigkeit und Durchführbarkeit der BRT-Systeme in China, Netzplanung und Betrieb sind auch darin eingeschlossen [20]. Frau Miao fasst die Erfahrungen der BRT-Systeme von mehreren Städten inner- und außerhalb von China zusammen, vergleicht weiterhin die BRT-Systeme in den drei Städten Peking, Kunming und Hangzhou aus der Funktionsstellung, Systemzusammensetzung, Entwicklungsmodus und -Merkmale. Die Planung und Betrieb des BRT-Systems in der Stadt Jinan wird untersucht, die BRT-Korridore werden durch Analyse des Beför-

derungsbedarfs bestimmt. Die Eigenschaften des Verkehrsaufkommens in den Korridoren werden analysiert. Die detaillierte Planung der BRT-Korridore, Netzwerk-Layouts, Konstruktion der unterstützenden Einrichtungen und der Stationen wird beschrieben. Danach werden auch die Eigenschaften der BRT-Infrastruktur, Betriebseigenschaften und Nutzen und Kosten von BRT analysiert. Schließlich wird der Planungseffekt des BRT-Systems in Jinan bewertet durch die Verwendung der Clusteranalyse [21].

- (4) Bei den konkreten Planungsanwendungen analysiert die Firma „*Zhongchengjie Engineering Consulting Co.Ltd in Beijing*“ den Status quo vom ÖPNV-System in der Stadt Changzhou auf Basis ihres städtischen Verkehrszustands und der Verkehrsplanung. Sie hat Notwendigkeiten, Machbarkeiten und Bauebenen des BRT-Systems dort untersucht. Auf diesem Grund hat sie auch Entwicklungsstrategie, -niveau und technischen Standards untersucht, zuletzt hat sie auch die BRT-Netzstruktur skizziert und detaillierte Bauprogramme empfohlen [22]. Das „*Institut für städtische integrierte Verkehrsplanung und -design der Stadt Wuhan*“ hat die Netzplanung des BRT-Systems in Wuhan zum Thema und beurteilt den Zustand des ÖPNV-Systems. Anhand von Fallstudien werden Hinweise auf den Einbau des BRT in Wuhan gegeben, dadurch werden Stellung, Baunormen und Netzplanung des BRT-Systems in Wuhan abgeschlossen [23].

(B) Forschungsstand der Straßenbahn-Systeme

Die Forschung zur modernen Straßenbahnen begann spät in China und ist deshalb in Forschungsinhalt und -tiefe noch sehr begrenzt. Es wurden folgende Studien durchgeführt:

- (1) Die Anwendungsfälle der modernen Straßenbahn wurden nach den Erfahrungen der Wiederbelebung der modernen Straßenbahn in anderen Ländern geprüft. Herr Wang Qigong vergleicht die adaptiven Eigenschaften der verschiedenen öffentlichen Verkehrsmittel und analysiert gegenwärtige städtische Entwicklung in China und den Charakter von Benzinverbrauch. Auf dieser Grundlage und nach der Erfahrung der Wiederbelebung der europäischen Straßenbahn werden mehrere Straßenbahnmuster, denen die Stadtentwicklung in China folgen kann vorgestellt [24]. Forscher wie Herr Wang Mingwen besprechen und analysieren die an die Stadtentwicklung angepassten Entwicklungsmodelle der modernen Straßenbahnen auf der Basis der Analyse ihrer Merkmale und Einflussfaktoren [25].
- (2) Es werden die Technik und Funktion, Anpassungsmöglichkeit der modernen Stra-

ßenbahn in China untersucht, wie zum Beispiel: Forscher Herr Zi mit zwei anderen Forschern analysiert die städtischen internen und externen Faktoren, welche die Rolle der modernen Straßenbahnen beeinflussen und stellt die für die Entwicklung einer modernen Straßenbahn geeigneten vier Umstände von Regionen vor. Es gibt auch empirische Forschung in Nanjing, daraus ergibt sich die Konsequenz, dass der rationale Einbau der modernen Straßenbahn die Belastung des Stadtverkehrs erleichtert [26]; Herr Wei analysiert die erfolgreich umgesetzten Straßenbahn - Beispiele mit unterschiedlichen Funktionen in Europa und berechnet die theoretische Beförderungsfähigkeit und Geschwindigkeit, daraus ergibt sich für die Straßenbahn ein entsprechendes Fahrgastaufkommen für den jeweiligen Verkehrskorridor. Er fasst Technik, Bedingungen der Anwendung der modernen Straßenbahn von verschiedenen Aspekten wie Anforderungen an Linienführung, Wahl der Gestaltung des Bahnkörpers, Lichtsignalsteuerungsart am Knotenpunkt, Einrichtungsart der Fahrbahn und Haltestelle zusammen. Schließlich analysiert er die Machbarkeit der Einführung der Straßenbahn auf vorhandenen Straßen und den Anwendungsfall der verschiedenen technologischen Optionen [27].

(C) Vergleich und Selektion der verschiedenen öffentlichen Verkehrssysteme

In China gibt es nicht so viele Untersuchungen in diesem Bereich. Frau Li bemüht sich um den theoretischen Rahmen der Ermittlung der städtischen Strategie der ÖPNV-Infrastruktur. Sie schlägt den analytischen Rahmen der internen und externen Faktoren des städtischen Nahverkehrssystems, die Ermittlungsverfahren des Bewertungssystems und die Bewertungsverfahren der internen und externen Faktoren vor, bestimmt Faktoren der Stärken(**S**trengths), Schwächen(**W**eakness), Chancen(**O**pportunities) und Risiken(**T**hreats) gemäß ihrer Bedeutungen für SWOT-Analyse, wendet Prinzipien und Methoden von „System Engineering“ zur Wahl des städtischen Nahverkehrsmodus an. Zuletzt ermittelt sie das Indikatorsystem der Bewertung und die Entscheidungsfindungsmatrix für die Bewertung des städtischen Nahverkehrsmodus [28]. Frau Cheng entwirft ein gutes Bewertungssystem der öffentlichen Verkehrsmittel in Wuhan, dessen Ebenen klar strukturiert sind. Die Anzahl von Modulen ist angemessen und die Indikatoren sind im Gleichgewicht. Sie berechnet die Reihenfolge der Durchführung der Optimierungsprojekte des Nahverkehrssystems in Wuhan durch die Korrelationsmethode [29]. Herr Wei vergleicht die Straßenbahn mit anderen Verkehrsmitteln wie U-Bahn, Stadtbahn, BRT etc. in Bezug auf Funktion, Wirtschaftlichkeit und Energieverbrauch. Daraus ergeben sich die relativen Vor- und Nachteile der Straßenbahn und die Anwendungsbereiche der schnellen, klein- und mittel-kapazitiven Verkehrsmittel. Herr Yuan untersucht in seiner Masterarbeit die Ersatzbarkeit zwischen BRT und Schienen-

verkehr im ÖPNV-System aus Sicht der Auswahlcharakter der Passagier, der Einzugsbereiche und des Widerstands der Haltestelle [30].

Zusammenfassend haben Wissenschaftler außerhalb von China einige Forschungen zum Vergleich und zur Analyse des BRT- und Straßenbahnsystems durchgeführt. Diese Forschungsergebnisse basieren meistens auf einer einseitigen Betrachtungsweise, bei der keine umfassenden detaillierten Vergleiche aufgestellt wurden. Experten und Wissenschaftler in China haben meistens Machbarkeit, Anpassungsmöglichkeit, Planungstheorie, Netzwerkplanung, Evaluierung von BRT-Systemen und Anpassungsmöglichkeit und Entwicklungsmodus von Straßenbahn-System sorgfältig erforscht. Aber es gibt nur wenige Unterlagen über den Vergleich der verschiedenen öffentlichen Verkehrssysteme. Die meisten Untersuchungen konzentrieren sich auf die Vergleiche des BRT und der hoch-kapazitiven Verkehrsmittel (U-Bahn und Stadtbahn etc.). Aufsätze über den Vergleich des BRT und der Straßenbahn sind selten. Nur Herr Wei analysiert und vergleicht drei Aspekte von BRT und Straßenbahn, ist jedoch unpräzise, einseitig und parteiisch. Die Untersuchungen zur Auswahl des öffentlichen Nahverkehrsmodus sind meistens auf das gesamte ÖPNV-System gerichtet während das ganze ÖPNV-System kein ausgeglichenes System ist, denn es fehlen i.a. schnelle und mittel-kapazitive Verkehrsmittel. Die Forschungen zur Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrsmittel sind gering, besonders zur Auswahl des BRT und der Straßenbahn.

1.5 Ziele und Inhalt

1.5.1 Ziele

BRT- und Straßenbahnsystem gehören beide zu dem schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystem und haben deswegen in vielerlei Hinsicht Ähnlichkeiten, zeigen doch auch in vielerlei Hinsicht unterschiedliche funktionelle Charaktere, haben unterschiedliche Vor- und Nachteile und gelten für verschiedene Städte und Korridore. Denn die Städte und ihre Verkehrskorridore besitzen verschiedene Eigenschaften und Fahrgastaufkommen und benötigen ein ÖV-System, welche ihre Randbedingungen erfüllen kann. Um den öffentlichen Verkehr zu optimieren, sollte die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrsmittel auch eine große Rolle darin spielen. Die Städte sollen nach ihrer Größe, dem Niveau der wirtschaftlichen Entwicklung und der Anzahl der Fahrgäste etc. ein geeignetes schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem wählen. Durch diese Dissertation sollen folgenden Ziele erreicht werden:

- (1) Es werden theoretische Methoden und wissenschaftliche Grundlage für den Vergleich und die Wahl der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme angeboten;

- (2) Durch die Analyse und den Vergleich der Merkmale des BRT und der Straßenbahn wurden die relativen Vorteile und Nachteile von BRT- und Straßenbahn bestimmt;
- (3) Adäquate Vergleichs- und Auswahlmethoden werden vorgestellt. Damit können die Städte und ihre Verkehrskorridore nach ihren eigenen Merkmalen unter Berücksichtigung der relativen Vor- und Nachteile von BRT und der Straßenbahn ein richtiges schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem auswählen;
- (4) Durch Aufsummieren der Erfahrungen von der Entwicklung der BRT- und Straßenbahn-Systeme inner- und außerhalb Chinas werden Vorschlägen und Ideen für die zukünftige Entwicklung des BRT und der Straßenbahn in China gegeben.

Die Erfolge dieser Arbeit kann den politischen Entscheidungsträgern die theoretische Methode und wissenschaftliche Grundlage bei Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme für städtische Nahverkehrssysteme anbieten, um die Entscheidungsfindung wissenschaftlicher und systematischer zu machen. Dann kann das gesamte ÖPNV-System dynamischer und nachhaltiger werden, die vorher beschwerliche Fahrt für Fahrgäste, Verkehrsstaus und andere Probleme gelöst und die wachsende Verkehrsnachfrage befriedigt werden.

1.5.2 Die Inhalte

In dieser Arbeit werden mittelstufige BRT-Systeme und moderne Straßenbahn-systeme als Untersuchungsobjekte genommen, die Vergleichs- und Auswahltheorien und -methoden erforscht und damit ein komplettes Vergleichs- und Auswahlsystem der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme gebildet. Die Forschungsinhalte bestehen aus acht Kapiteln und teilen sich in fünf große Teile wie folgt auf:

(1) Darstellung von BRT und Straßenbahn

Zunächst wird ein Überblick über die Definitionen und die Geschichte des BRT und der Straßenbahn gegeben, anschließend werden Zusammensetzungen, Spektrum und Stufe des BRT beschrieben und auch die wichtigen Zusammensetzungen und die Entwicklungsrichtungen der Straßenbahn geschildert. Danach werden Funktionen und Bedeutungen des BRT und der Straßenbahn in ganzem ÖPNV-System analysiert. BRT kann als Hauptteil oder Rückgrat des ÖPNV-Systems und als Übergang oder Ergänzung zum Schienenverkehr dienen. Hingegen werden Straßenbahnen als Grundgerüst oder Rückgrat des ÖPNV-Systems und als Ergänzung zur Stadtbahn oder U-Bahn. Hierbei werden mehrere Beispiele genannt. Für viele Städte werden zuerst Pilotlinien aufgebaut. Die Entscheidungsträger sind meistens sorgfältig, obwohl es theoretisch bestätigt ist, dass BRT oder Straßenbahn für die Stadt günstig ist, führen sie lieber zuerst eine Pilotlinie ein. Aus dem Pilotbetrieb sammeln sie erste Erfahrungen und lösen die auftretenden Probleme. BRT in Guangzhou und zwei neue Stra-

ßenbahnen in Shanghai und Tianjin sind als Pilotlinien umgesetzt. Schließlich werden die negativen und positiven Seiten des BRT- und Straßenbahnsystems angegeben.

(2) Vergleich des BRT- und Straßenbahnsystems

In diesem Abschnitt liegt ein der Schwerpunkte der Dissertation. Zuerst werden die Verhältnisse der Untersuchungsobjekte und die Grenze der Geltungsbereich verdeutlicht, dann wird der Prozess der Analyse und des Vergleichs nach den Merkmalen des BRT und der Straßenbahn ermittelt. Auf dieser Grundlage werden BRT- und Straßenbahnsysteme von fünf Aspekten- technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Anpassungsmöglichkeiten an Randbedingungen und Betrieb und Management aus detaillierten Punkten wie Beförderungsfähigkeit, Geschwindigkeit, Servicequalität, Investitionen, Energieverbrauch, Umweltverschmutzung, Lärm, Anpassungsmöglichkeit an Größe der Stadt und der Wirtschaft, an Fahrgastaufkommen, an vorhandenen Straßenzustand, an städtisches Bild, Betrieb und Management, Betriebsart der Linie, intelligente Steuerung detailliert und umfassend verglichen. Daraus ergeben sich die relativen Vor- und Nachteile von beiden.

(3) Auswahlmethoden der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme

Dieser Abschnitt ist auch einer Schwerpunkt der Arbeit. Weil die Analyse auf der unteren Ebene „Korridor“ präziser ist, werden Verkehrskorridore als Untersuchungsfälle anstelle des gesamten Stadtbereichs genommen. Sein innerer Verkehrsbedarf und äußeres Verkehrsangebot werden untersucht, besonders werden die inneren Bedarfsfaktoren von Stadt und Korridore wie das Stadtentwicklungs- und Wirtschaftsniveau, Fahrgastaufkommen und Fahrverhalten, Straßencharakter, Stadtbild etc. geprüft. Aus der Analyse ergibt sich, dass Vergleich und Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme zur Entscheidungsfrage mit mehreren Zielen und einer begrenzten Anzahl von Alternativen gehören. Diese Entscheidungsfindung wird mit Hilfe vom Analytischen Hierarchischen Prozess (AHP) in Berücksichtigung der Vergleich- und Auswahlcharakter von BRT und Straßenbahn durchgeführt. AHP gemäß wird der theoretische Ansatz der Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme konstruiert. Die hierarchische Struktur wird gebildet, die detaillierten und umfassenden Indikatoren werden zusammengestellt, das Indikatorsystem wird gebaut. Die Ergebnisse des Vergleichs in Kapitel vier werden in das Indikatorsystem eingefügt und konkrete Wertskala oder Bereiche für jeden Indikator vorgeschlagen. Schließlich wird der Berechnungsgang des AHPs dargestellt.

(4) Untersuchung der Erfahrungen und Probleme der Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme in China

Die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme entwickeln sich über eine lange Zeit hinweg, sodass sich viele erfolgreiche Erfahrungen gesammelt haben. Sie beginnen in China

zwar später, gehen aber schnell voran. Sie haben sich einige Erfahrungen angesammelt, gleichzeitig sind auch viele Probleme aufgetreten. Um sie effizienter, schneller und gesunder, nachhaltiger zu entwickeln, werden ihre Erfahrungen und Probleme in dieser Arbeit zusammengefasst und analysiert. In Bezug auf Status quo und künftige Entwicklungsrichtungen werden dazu Ideen und Empfehlungen gegeben, was die Städte in Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems einweisen.

(5) Fallstudie

Der theoretische Ansatz von Vergleich und Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme wird auf den konkreten Fall in der Stadt Changzhou angewendet. Auf Grund der tatsächlichen Situation in Changzhou werden angemessene Indikatoren von der vorher konstruierten Indikatorgruppe herausgezogen und daraus Indikatorsystem für den Fall in Changzhou gebildet. Je nach Bedeutung jedes einzelnen Indikators in diesem Fall werden die Gewichte der Indikatoren ermittelt. Anschließend werden die Alternativen von schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystemen mit AHP geprüft. Zuletzt ergibt sich das Ergebnis, welches schnelle und mittel-kapazitive Verkehrssystem für den bestimmten Verkehrskorridor in Changzhou besser geeignet ist.

1.5.3 Rahmen

Der Rahmen der Dissertation ist in Abbildung 1-1 gezeigt.

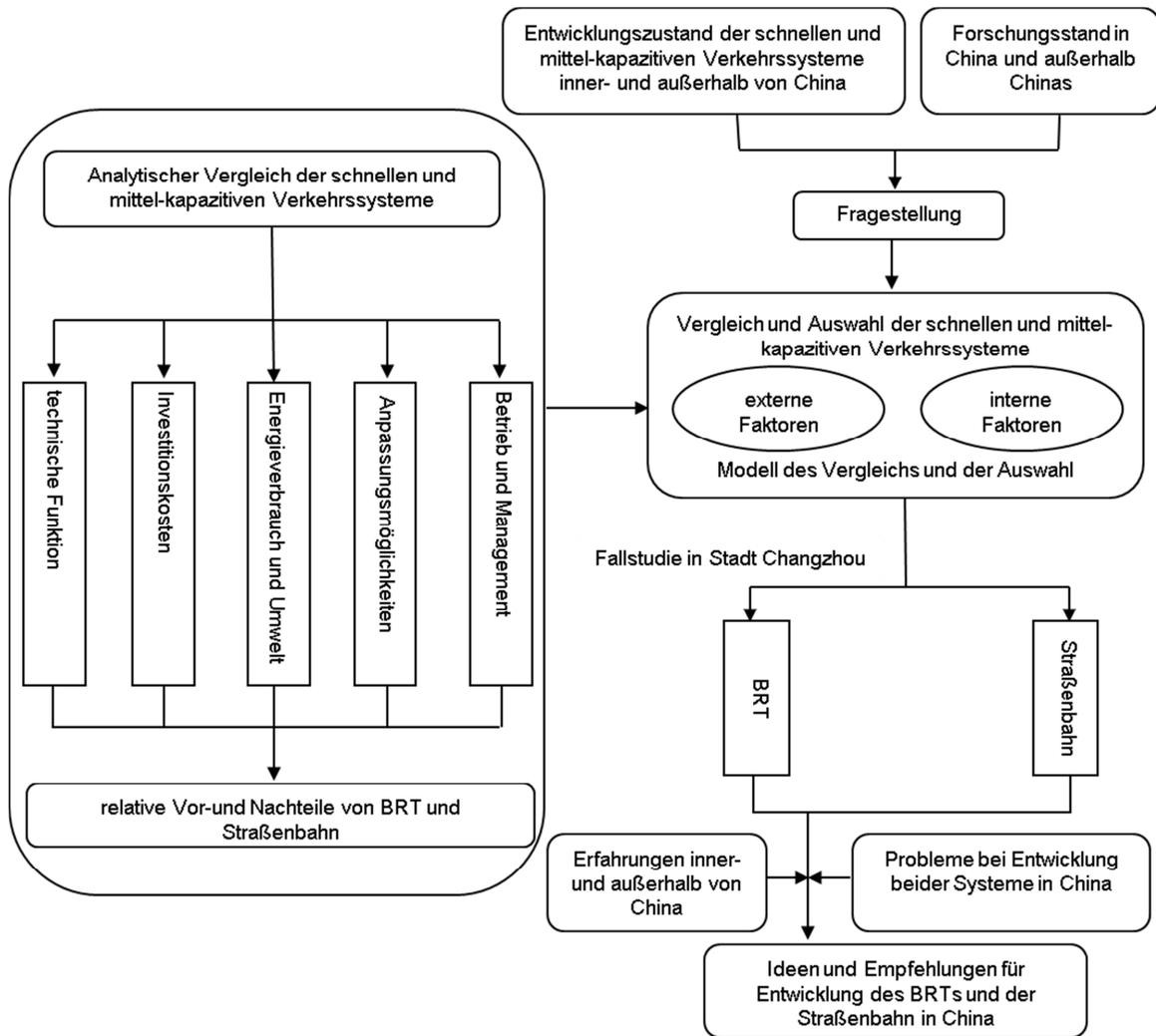


Abbildung 1-2 Rahmen der Dissertation

2 Bus Rapid Transit (BRT) System

2.1 Überblick des BRT

2.1.1 Definition

Das Begriff „Bus Rapid Transit“ taucht zuerst in Nordamerika auf. Es gibt aber auch andere Bezeichnungen: „hoch kapazitives Bus-System“, „hoch qualitatives Bus-System“, „Busbahn“, „U-Bahn auf der Straße“, „schnelles Bus-System“, „Busspur-System“. Neben den unterschiedlichen Namen gibt es verschiedene Definitionen:

- BRT ist nach *FTA* ein schnelles Modell der Fahrgastbeförderung, das die Qualität des Schienenverkehrs und die Beweglichkeit der konventionellen Busse integriert [31].
- BRT ist nach der Beschreibung des *TCRPs* ein flexibles, gummibereifte Fahrzeuge einsetzendes Rapid Transit Model, das sich aus Stationen, Fahrzeugen, Service, Fahrspuren und einem „Intelligent System“ (IS) zusammensetzt. Damit ist es ein integriertes System mit einer starken positiven Identität, das einen besonderen Eindruck bei den Menschen hinterlässt. Die Durchführung des BRT kann leicht an den Markt und die Umgebung angepasst werden. Kurz zusammen gefasst, ist BRT ein integriertes System von Anlagen und Service, das die Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Identität des Systems stark verbessert. Aus mehreren Aspekten ist BRT ein „gummibereift“ Light Rail Transit mit größerer betrieblicher Flexibilität aber potenziell niedrigerem Investment und Betriebskosten [2].
- Nach Angabe des *ITDP* ist BRT ein busbasiertes und hochqualitatives Beförderungssystem. Durch die Einrichtung einer gesonderten Fahrspur, der hohen Frequenz sowie guter Markt- und Kundenservice bietet es schnelle, bequeme und wirtschaftliche Stadtmobilität. Hauptsächlich will BRT den Charakter eines modernen und bahngelundenen Transit-Systems erreichen, aber nur ein Teil dessen Kosten. Ein BRT-System kostet normalerweise 4- bis 20-mal weniger als ein Light Rail Transit System und 10- bis 100-mal weniger als die U-Bahn [4].
- BRT-System ist gemäß einer Definition von Daimler ein System, das im Wesentlichen hierdurch charakterisiert wird: „separate Busspuren und Vorfahrt gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern, barrierefreier Einstieg über Haltestellenplattformen, optimierte Fahrzeuge hinsichtlich Größe und Design, Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs, Integration aller Teile, Steuerung durch ITS, Organisation des Systems in Haupt- und Zubringerlinien, unverkennbares Marketing“ [32].

In dieser Arbeit wird das BRT-System so beschrieben: BRT ist ein busbasiertes, schnelles und mittel-kapazitives System. Alle Maßnahmen, die Geschwindigkeit, Komfort und Attraktivität wesentlich verbessern, werden in dem System eingeschlossen, z.B. eine eigene Spur, plangleiche Plattformhaltestellen etc.

2.1.2 Geschichte

- **Weltweit**

Die Geschichte des BRT kann auf viele Versuche, die Akzeptanz der Fahrgäste in Busverkehr zu verbessern, zurückgreifen. Bevor das erste BRT 1974 in Curitiba in Betrieb genommen wurde, gab es schon die Ideen eines BRT. Als erstes wurde das Konzept "BRT" 1937 in Chicago geplant, um drei innerstädtische Bahnlinien durch schnelle Buskorridore zu ersetzen [2], dann erfolgten noch drei ähnliche Pläne in drei weiteren amerikanischen Städten. Aber erst, als 1960 das Konzept „Bus Lane“ eingeführt wurde, wurden einige Maßnahmen mit Priorität durchgeführt. So baute New York 1963 einen schnellen Busfahrstreifen [4]. Die ersten mittleren Busspuren wurden 1966 in St. Louis (USA) und Liege (Belgien) eingeführt, wodurch geplante Straßenbahnsysteme in Bussysteme gewandelt wurden [4]. Die erste Busspur in einem Entwicklungsland kam 1972 in Lima (Peru), sie ist 7,5 km lang und beeinflusst das Gebiet bis heute. Die erste Busspur in China wurde in Kunming gebaut.

Das erste vollkommene BRT wurde 1973 in Curitiba (Brasilien) eingebaut. Eigentlich hatte Curitiba ein Schienenverkehrssystem geplant. Mangels eines Investments musste Curitiba eine Alternative finden, die wenig kostete aber qualitativ so hoch wie Schienenverkehr sein sollte. Das erste BRT in der Welt ist so erfolgreich, dass etwa 75% der Pendler in Curitiba täglich mit dem BRT zur Arbeit fahren. Durch die Einführung des BRT konnte die Zahl der Autofahrten pro Jahr um 27 Mio. reduziert werden [33]. Der Großraum Curitiba und seine 3,5 Mio. Einwohner genießen die staufreien Straßen und die emissionsfreie Luft. Das BRT in Curitiba ist heute ein weltweit anerkanntes Vorbild: dessen moderne Tube-Station und Doppelgelenkbusse mit Kapazität 270 Pers. sind bekannt. Das System besetzt 5 radiale Linien, die vom Stadtzentrum ausgehen, 65 km Hauptlinien und 340 km Zubringerlinien. Einige andere Städte in Brasilien sind dem Beispiel von Curitiba gefolgt, BRT-Systeme zu bilden, wie São Paulo (1975), Goiânia (1976), Porto Alegre (1977) und Belo Horizonte (1981) [4]. Danach ist der Bau des BRT lange Zeit stagniert. Erste im Jahre 1996 gründete Quito wieder ein BRT-System, das Oberleitungsbusse als Beförderungsmittel benutzt.

Im Dezember 2000 wurde das BRT-System „Trans Milenio“ in Bogotá in Betrieb genommen. Bogotá ist mit 7 Mio. Einwohner eine große Stadt und mit einer Bevölkerungsdichte von 24.000 Menschen pro km² eine dicht besiedelte Stadt. Das BRT dort ist gut gelungen, wodurch bestätigt wurde, dass das BRT auch als hoch-kapazitives Beförderungssystem in großen Städten geeignet sein könnte. Bis März 2007 hat das System „Trans Milenio“ 84 km Hauptlinien und 420 km Zubringerlinien. Täglich werden 1,2 Mio. Fahrgäste befördert [4]. Die großen Erfolge, sowohl in mittleren Städten (Curitiba) als auch in großen Städten (Bogotá), motivierten zahlreiche Städte weltweit, das BRT einzuführen. In Europa, Nord Amerika und Australien wurden BRT-Systeme eingeführt, obwohl der Grad der Autobesitzer sehr hoch ist

und es schon gut entwickelten Schienenverkehr gibt. Die zahlreichen Städte, die BRT eingeführt haben, sind in Tabelle 2-1 aufgelistet. Viele Städte befinden sich noch in der Planungsphase oder Ein- und Ausbauphase.

Tabelle 2-1 Städte mit BRT und Busspuren weltweit bis 2012

Kontinent	Land	Städte
Asia	China	Beijing, Hangzhou, Kunming, Changzhou, Chongqing, Dalian, Xiamen, Jinan, Zhengzhou, Yancheng, Zaozhuang, Guangzhou, Hefei, Wulumuqi
	Taiwan	Taipei
	India	Pune, Ahmedabad, Jaipur, New Delhi
	Indonesia	Jakarta
	Japan	Nagoya
	Iran	Tehran
	Republic of Korea	Seoul
	Thailand	Bangkok
Europe	France	Caen, Lyon, Nancy, Nantes, Nice, Paris, Rouen, Toulouse, Douai, La Rochelle, Lille, Lorient, Maubeuge,
	United Kingdom	Bradford, Crawley, Cambridge, Edinburgh, Ipswich, Kent, Leeds, London, Luton, Swansea, York
	Niederlande	Amsterdam, Eindhoven, Utrecht, Almere, Twente
	Germany	Essen, Hamburg, Oberhausen
	Sweden	Gotenburg, Jonkoping, Stockholm
	Italy	Brescia, Prato
	Czech Republik	Prague
	Ireland	Dublin
	Portugal	Lisbon
	Spain	Castellon
	Switzerland	Zurich
Latin America	Brasilien	Curitiba, Goiania, Porto Alegre, São Paulo, Belo Horizonte, Blumenau, Brasília, Campinas, Campo Grande, Caxias do Sul, Criciúma, Diadema - São Paulo, Feira de Santana, Fortaleza, Jabotão dos Guararapes, Joinville, João Pessoa, Juiz de Fora, Londrina, Maceió, Mauá - Diadema, Natal, Niteroi, Olinda, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, Santos, Sorocaba, Sumaré, Uberlândia
	Kolobias	Bogotá, Pereira, Barranquilla, Bucaramanga, Cali, Medellín
	Mexico	León de los Aldama, Mexico City, Ecatepec, Guadalajara, Monterrey
	Chile	Santiago
	Ecuador	Quito, Guayaquil
	Argentina	Buenos Aires
	Guatemala	Guatemala City
	Panama	Panama City
	Peru	Lima
Venezuela	Merida	
	Canada	Ottawa, Brampton, Halifax, Vancouver, Winnipeg, York Region Municipality
Northern America	United States	Boston, Eugene, Los Angeles, Miami, Orlando, Pittsburg, Cleveland, Kansas City, Las Vegas, New York, Oakland, Phoenix, Snohomish County, Stokton
Oceania	Australia	Adelaide, Brisbane, Melbourne, Sydney
	New Zealand	Auckland
Africa	South Africa	Johannesburg, Cape Town
	Nigeria	Lagos

Anmerkung: Nach eigenem Recherchen, meisten aus [34]

- **BRT in China**

Die BRT-Systeme sind in China sehr verbreitet. Der Stadtverkehr ist schnell gewachsen, die Straßen sind beschränkt, aber die Autos vermehren sich begrenzungslos, sodass die Städte an dem Verkehrsstau und der Luftverschmutzung erkranken. So suchen die Städte dringend

eine schnelle und gute Lösung, wobei viele den Schienenverkehr berücksichtigt haben. Leider übersteigt der Einbau einer U-Bahn oder S-Bahn den Haushalt der Stadt. Deren Einbau dauert lange und deren Betrieb hat kaum Gewinn sogar Verlust. Die Lösung der verkehrlichen Probleme kommt nur langsam vor wegen langer Bauzeit und die Kriterien der Zulassung vom Staat sind hoch. Hingegen kostet das BRT nur einen geringen Teil der Kosten des Schienenverkehrs. Wie erwähnt schon, Ein BRT kostet 4- bis 20-mal weniger als ein Light Rail Transit System und 10- bis 100- mal weniger als ein U-Bahn-System. Gleichzeitig bietet es ähnliche gute Qualität wie der Schienenverkehr. Angesichts der absoluten Vorteile des BRT sind die BRT-Systeme in China schnell akzeptiert und durchgeführt worden. Bisher haben insgesamt 14 Städte in China BRT-Systeme in Betrieb genommen. Viele Städte planen noch und bereiten sich auf den Bau eines BRT-Systems vor.

Die erste BRT-Linie in China wurde 2003 in Beijing gebaut, 2004 in Testbetrieb gesetzt und im Dezember 2005 offiziell eröffnet. Nach der Darstellung von Manager Herr Yan Yabin in „Beijing zweiter Verkehrsbetrieb GmbH“ dauerte die Fahrt vom fünften Südring ins Zentrum vor der Eröffnung der BRT-Linie 1 ca. zwei Stunden mit normalem Bus, nun braucht man mit dem BRT nur noch eine halbe Stunde. Die erste Linie ist 16 km lang. Darin enthalten ist eine 2,5 km lange gemischte Strecke mit motorisiertem Individualverkehr (MIV) und die geplante Beförderungsgeschwindigkeit beträgt 30 km/h, aber es wird nur Geschwindigkeit von 26 km/h erreicht. Es gibt 17 Haltestellen und von der ersten bis zur letzten Haltestelle benötigt man 37 min. 35% der Reisenden in Umgebung der Südachse nutzen das BRT seit seiner Fertigstellung. Bis Ende 2010 werden 9400 Fahrgäste am Bemessungsquerschnitt in vormittäglicher Spitzenstunde befördert, das Nahe am Niveau des Schienenverkehrs liegt. Täglich werden 145.000 Fahrgäste [35] befördert. Die Beförderungsleistung ist groß. Danach wurden noch zwei Hauptlinien und zwei Zubringerlinien in Betrieb gesetzt.

Das zweite BRT-System befindet sich in Hangzhou. Dessen erste Linie wurde im April 2006 ins Leben gerufen, ist 23 km lang und umfasst 33 Haltestellen. Im Oktober 2008 wurde eine zweite Linie mit einer Länge von 22,5 km eingeführt. Anfangs waren beide Linien nicht akzeptiert, was sich dann durch verschiedene Maßnahmen allmählich verbessert. Bis 2010 betrug das Verkehrsaufkommen auf der erste Linie täglich 65.000 und auf der zweiten Linie 40.000 Personen. Außer diesen zwei Hauptlinien gibt es noch 8 Zubringerlinien. Das BRT-System befördert täglich 260.000 Fahrgäste, 10% des öffentlichen Verkehrsaufkommens. Bisher gibt es nur 3 Hauptlinien. Das BRT wird nach Plan stetig ausgebaut und soll bis 2012 auf 12, bis 2020 auf 18 Linien steigen, was aber bisher nicht verwirklicht ist.

Die 2008 in China stattfindenden Olympischen Sommerspiele katalysierten den Einbau des BRT. Der Höhepunkt der Entwicklung des BRT war in dieser Zeit. 2008 wurden fünf neue BRT-Systeme in Betrieb genommen: Changzhou BRT (Januar), Chongqing (Januar), Dalian (Januar), Jinan (April), Xiamen (Dezember), Suzhou (Juli). Ein Jahr später kam noch eines in Zhengzhou (Mai) hinzu. 2010 eröffneten vier weitere Städte ihre BRT-Systeme: Guangzhou, Yancheng, Zaozhuang und Hefei. Inbetriebsetzung des BRT in Ürümqi (auf Chinesisch „Wulumuqi“) folgt aber erst 2011.

Das BRT-System in Changzhou besteht aus zwei Hauptlinien und sechs Zubringerlinien. Die Hauptlinie verläuft von Nord nach Süd, sie ist 21,7 km lang und hat 26 Haltestellen. Die Hauptlinie 2 ist 21,5 km lang und kreuzt die Linie 1. Die beiden Linien bilden ein hoch qualitatives und hoch kapazitives Rückgrat des BRT-Systems.

Das Xiamen BRT-System wird sich aus fünf Linien (115 km lang) zusammensetzen, zwei Linien (51 km) davon wurden schon eröffnet. Die Abstände zwischen zwei Haltestellen betragen durchschnittlich 1.300 m. Eine Besonderheit bei Xiamen BRT ist, dass die Busspuren auf ganze Viadukte gestellt sind. Die Viadukte sind eigentlich für zukünftige LRT gebildet. Deshalb ist die Geschwindigkeit bei den BRT-Systemen die höchste in allen chinesischen Städten. Aber die Kosten sind ziemlich hoch und in Zukunft wird es vom LRT System ersetzt werden.

Kunming war die erste Stadt in China mit einer Busspur (1999). Suzhou „BRT“ ist anders, die Linie setzt normale Busse und Haltestellen ein, sie ist 27 km lang und hat aber nur 16 Haltestellen. Der Abstand zwischen zwei Haltestellen ist sehr groß, besonders der Abstand zwischen den Haltestellen „Hudong“ und „Xinqu“. Er beträgt 17 km und ermöglicht dadurch Pendlern, schnell von Zuhause zur Arbeit zu fahren, die Linie in Suzhou ist nach Sicht der Autorin kein BRT, denn es gibt zu wenig Merkmal von BRT, wird nicht in BRT-Systemen gerechnet.

Die erste Linie BRT in Guangzhou befindet sich in der Straße „Zhongshan“, welche ohnehin sehr stark belastet war. Das BRT-Projekt auf dieser Straße ist von Anfang an stark umstritten. Das BRT-System belegt einen relativ großen Platz von der schon voll genutzten Straße. Viele Bürger haben Zweifel und fragen sich, ob das die Verkehrssituation dort nicht eher verschlechtert als verbessert. Die Linie ist 22,9 km lang, es gibt ein Fahrspuren in jeder Richtung mitten auf der Straße, an der Haltestelle aber 2 Streifen. 26 Haltestellen liegen an der Strecke, wo sich viele Leute aufhalten. Der durchschnittliche Abstand zwischen den Halte-

stellen ist 880 Meter. Nach einer Statistik vom Dezember 2010 wurden 805.000 Fahrgäste [36] täglich befördert. Die Beförderungsfähigkeit erreicht die des LRT-Systems.

BRT-System wurde schnell in Ürümqi geplant und umgesetzt. Dabei wirkte das kalte Wetter im Winter 2010 als Katalysator. Damals hat die Stadt den kältesten Winter in den letzten 30 Jahren erlebt. Die Nachteile von dem konventionellen Bussystem wurden dabei besonders offensichtlich, niedrige Pünktlichkeit, zu hoch Überlappengrad der Buslinien, zu kleine Kapazität. Die Regierung hat das BRT-System Anfang 2011 geplant. Im Mai desselben Jahres war für die Linien 1 und 3 gleichzeitig Baubeginn. Ende August 2011 wurden die Strecken in Betrieb genommen. Die Linie 2 wurde auch im November 2011 eröffnet. Die Linie 1 hat 21 Haltestellen und ist 14,9 km lang. Der Haltestelleabstand beträgt durchschnittlich 760 m während die Linie 3 mit 17 Haltestellen 13,2 km lang ist und deren Haltestelleabstand 740 m beträgt. Das besondere an diesem BRT-System ist hier, dass die Haltestellen mit Wartehäuschen mit Heizung ausgestattet sind. Das System in Ürümqi berücksichtigt das Umsteigen in normalem Bus. Das Umsteigen ist gut gestaltet [37],[38],[39]. Die Merkmale von BRT in jeder Stadt werden in Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Tabelle 2-2 Charakter der BRT-Systeme in China

Nr.	Stadt	Busspur	Haltestelle	Fahrzeug	Preboarding Ticket	Vorfahrt am Kreuz	Fahrgast-information
1	Beijing	Korridor 1 mitten auf der Straße, Korridor 2 und 3 teilweise gesonderte Spur	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv, Gelenkbus	ja	ja	ja
2	Hangzhou	von Radweg oder Fußweg umgebaut	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv und auffällig Aussehen	ja	nein	ja
3	Changzhou	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv und auffällig Aussehen(gibt es auch 12m Busse)	Ja	nein	ja
4	Chongqing	mitten auf der Straße, teilweise gesonderte Spur	verbesserte Haltestelle, nicht plangleich	auffälliges Aussehen	teilweise, auch in Bussen	nein	nur in Bussen
5	Dalian	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv und auffällig Aussehen(gibt es auch 12m Busse)	ja	ja	ja
6	Jinan	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv und auffälliges Aussehen(gibt es auch 12m Busse)	ja	nein	ja
7	Xiamen	auf dem Viadukt	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	teilweise hoch Kapazitiv, auffälliges Aussehen	ja	ja	ja
8	Zhengzhou	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv und auffällig Aussehen	ja	nein	ja
9	Kunming	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle	teilweise Hoch kapazitiv und auffällig Aussehen	nein, aber automatisch Verkauf und Check in	nein	ja
10	Hefei	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle	weder hoch kapazitiv noch auffälliges Aussehen	teilweise, aber automatisch Verkauf und Check in	nein	nein
11	Guangzhou	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform zu Teil der Busse	hoch kapazitiv, teilweise mit auffälligem Aussehen	ja	nein	ja
12	Yancheng	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv, teilweise mit auffälligem Aussehen	ja	nein	nur in Bussen
13	Zaozhuang	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv, mit auffälligem Aussehen	auf 10 Haltestellen	nein	Ja
14	Ürümqi	mitten auf der Straße	verbesserte Haltestelle, plangleichen Plattform	hoch kapazitiv	ja	nein	ja

2.2 Zusammensetzung, Spektrum und Stufen des BRT

2.2.1 Wichtige Zusammensetzung

Im *TCRP Report 90* werden die Hauptmerkmale von BRT wie folgt zusammen gefasst: eigene Busspur, attraktive Bushaltestellen, Fahrzeuge, die schnittige Aussehen haben und leichtes Ein- und Aussteigen ermöglicht, Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs, Einsatz der ITS-Technik, Betrieb mit einer dichten Taktfolge (die Betriebszeit soll mindestens 16 Stunden pro Tag betragen, mit Intervallen von max. 15 Minuten und zu Stoßzeiten max. 10 Minuten). Dabei wurden 29 BRT-Systeme von TCRP geprüft (siehe Tabelle 2-3). Die meisten der untersuchten BRT-Systeme haben eine eigene Busspur (83%), besondere Haltestellen (66%), dichte Taktfolge (76%). Nur noch 38% setzen Fahrzeuge mit schnittigem Aussehen und 17% Pre-Boarding Tickets ein.

Tabelle 2-3 Statistik der Anzahl der Merkmale der 29 BRT-Systeme

Merkmal	USA/Kanada	Australien/ Europa	Südamerika	gesamte Systeme	Anteil (in%)
Fahrspur	13	5	6	24	83
Haltestelle	12	4	3	19	66
Fahrzeuge mit schnittigem Aussehen	7	1	3	11	38
Pre-Boarding Ticket	1	0	3	5	17
ITS	7	1	3	11	38
dichte Taktfolge	11	5	6	22	76
gesamte Systeme	17	6	6	29	100

Eine Untersuchung kommt zum Ergebnis [40], dass Fahrspur, Haltestelle, Fahrzeug, ITS, Fahrkartenkauf, Linienkonstruktion, Wartung und Instandhaltung, Service und Betriebsstrategie zu einem BRT-System zusammenfügen.

Eigene Fahrspur, moderne Fahrzeuge, das Ein- und Aussteigen an plangleichen Plattform-Haltestellen, Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs, Vorfahrt an Kreuzungen und das Fahrgastinformations- und Flottmanagementsystem wurden von mehreren Forschern in China als die sieben Kernelemente des BRT zusammengefasst [22].

Obwohl es für die Merkmale unterschiedliche Ausdrücke gibt, ist der Kern dergleichen.

- a) **Busfahrspur:** Busspur gewährleistet oder garantiert eine hohe Geschwindigkeit des BRT. Das ist sehr wichtig, wie man schon aus der Statistik in Tabelle 3 sieht. 83% der BRT-Systeme benutzen Busspuren. Die BRT-Fahrspur grenzt sich komplett bzw. größtenteils vom restlichen Verkehr ab. Entweder wird die Grenze zwischen Busspur

und anderen Spuren markiert, oder die BRT-Spur wird durch Balken, Pfosten usw. abgegrenzt. Welche Sorte eingesetzt wird hängt von der Umgebung ab. Es ist auch möglich, dass beide Arten benutzt werden. Das bedeutet, dass sich die BRT-Busspur von den normalen Busspuren unterscheidet. Die Busspuren dürfen von allen Bussen genutzt werden, die auf der Strecke verkehren. Die BRT-Busspuren hingegen sind nur für die BRT-Busse.

- b) **Moderne Fahrzeuge:** Die modernen BRT-Fahrzeuge sollen durch hohe Kapazität, angenehmes Ein- und Aussteigen (große Türen, Niederflur), mehr Informationen (akustische und/oder optische Anzeigen), niedrigere Emission, mehr Komfort (heller Großraum) und mehr auffallendes Aussehen besonders gestaltet werden. Dadurch verändern sich die negativen Eindrücke der potentiellen Nutzer des Bussystems, niedrige Kapazitäten werden erhöht und negative Umwelteinflüsse gesenkt,
- c) **Auffällige Haltestellenform:** Es gibt zwei Arten von Haltestellenformen; geschlossene und offene. Die geschlossene Haltestelle hebt erheblich die Serviceeffizienz an und hat viele Plätze, damit sich der Busservice dem Schienenverkehr annähert.
- **Offene Haltestelle**
Bietet Fahrgästen Warteplatz aber es gibt hier keine Fahrkartekontrolle. Solche Haltestellen brauchen wenig Raum und verursachen geringe Kosten. Sie sind günstig, um die ursprünglichen Linien und Schilder beizubehalten.
 - **Geschlossene Haltestelle**
Der Entwurf stammt aus dem Schienenverkehr. Um bei der Abfertigung Zeit zu sparen, kann man die Haltestelle folgendermaßen gestalten: die Tickets werden an der Haltestelle verkauft und kontrolliert, wodurch die Haltestelle geschlossen wird. Die Haltestelle und der Busflur sind gleich hoch, woraus sich eine kürzere Umsteigezeit für die Fahrgäste ergibt. Die Haltestelle wurde so gestaltet, dass der Bus immer an dergleichen Position anhält, sodass die Fahrgäste dort auf den Bus warten können. Dadurch erhöht sich die Effizienz des Fahrgastwechsels. Die Bauformen der Haltestelle können unterschiedlich sein, z.B. entstand durch die Tube-Haltestelle in Curitiba ein neues unverkennbares Markenzeichen. An den Haltestellen können auch statische (Fahrplan und Fahrkarte) und dynamische (momentaner Zustand der Bus) Fahrgastinformationsanlagen vorhanden sein.
- d) **Vorfahrt an Knotenpunkten:** ein wichtiger Punkt des BRT, denn zusammen mit der Busspur gewährleistet sie die schnelle Beförderung. Dadurch erhöhen sich die Verlässlichkeit und die Konkurrenzfähigkeit. BRT benötigt die Vorfahrt am Knotenpunkt, die Vorfahrt kann nicht immer gewährleistet werden. Da viele einschränkende Fakto-

ren vorhanden sind, wie z.B. Lage des Knotenpunkts, Anteil des konkurrierenden MIV, starke querende Fußgängerströme und die Steuerungsart der Lichtsignalanlage etc.

- e) **Einsatz des BRT-Service und des Managements** beruhen auf dem Einsatz des IS im BRT, wie Tabelle 2-4 zeigt. Durch die Einführung des IS nähert sich der Busbetrieb dem Bedienungs niveau des LRT an. Allerdings ist der Einsatz nur teilweise realisiert, aufgrund der Beschränkung durch die Faktoren Geld und Technik. Aber nachdem die Technik verbessert und die Voraussetzungen erfüllt sind kann es in Etappen durchgeführt werden.
- f) **Linienkonstruktion:** das Liniennetz wurde mit Hauptlinien oder Hauptlinien+ Zubringerlinien konstruiert. Die Ziele hierfür sind: als Hauptteil oder Rückgrat des ÖV-Verkehrs einer Stadt, Verlängerung für LRT oder U-Bahn, Generierung entsprechender Nachfrage für zukünftige U- und S-Bahnen- oder den LRT-Bau und Integration vorhandener Bussysteme zu einer guten Qualität.

An der Zusammensetzung des BRT erkennt man, dass das BRT eigentlich ein integriertes Konzept ist, es gibt keine feste Form. Das BRT-System kann die Elemente teilweise oder vollständig enthalten. Zudem kann eine Stadt mit BRT das System stets nach dem eigenen Charakter und Entwicklungsbedarf verändern und anpassen. Der Kraftstoff kann Diesel, Wasserstoff, Hybrid-Elektronik oder Elektronik sein.

Tabelle 2-4 Einsatz des IS im BRT

IS	Zweck
Priorität des BRT	Verringerung der Verspätung am Knotenpunkt und Erhöhung der Zuverlässigkeit des Betriebs
intelligentes Steuern der Fahrzeuge	Warnung Navigation präzise Anhaltpositionen
die elektronische Fahrkartenmaschine	Fahrkartenmaschine im Bus Fahrkartenmaschine und automatische Kontrollsperr
Betriebsmanagement	Wirelesskommunikationssystem Überwachung des Fahrzeuglaufes Verfolgung des Fahrzeug Intelligentes Bereitstellung der Fahrzeuge Gefahrenwarnung
Fahrgastinformation	Fahrgastinformation im Bus/an der Haltestelle individuelle Informationen
sonstigen	Fahrgastzähler

2.2.2 Spektrum der Arten des BRT

Die Charaktere jedes BRT-Systems hängen von den örtlichen Bedingungen ab. Wie ein BRT aussieht und wie effizient das System wirken kann ist davon abhängig, wie stark die lokalen Rahmenbedingungen das BRT prägen. Aufgrund der Vorstellung der Kerninhalte des BRT werden hier auch seine vielfältigen Formen dargestellt.

- **Fahrs pur**

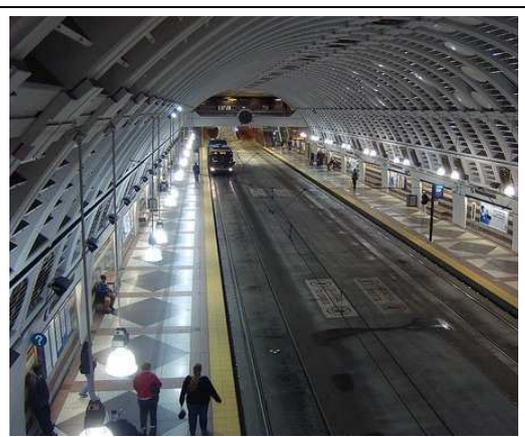
Die Lage der Fahrspuren unterscheidet sich auf Straßen innerhalb einer Stadt und großräumigen Verbindungen außerhalb der Innenstadt. Meistens befindet sich das BRT auf der städtischen Straße, wie die in Süd-Amerika, Europa und Asien, weil BRT vorwiegend die Verkehrsnachfrage des Stadtzentrums befriedigt. Teile der BRT-Systeme liegen auf Straßen außer der Stadt, die meisten davon in den USA. Dort halten viele Autobahnen Mittelstreifen als Busspuren vor und bieten dadurch eine schnelle Verbindung zwischen dem Stadtzentrum und den Vororten, z.B. das BRT in New York. In Houston nutzt BRT die HOV-Spuren auf Autobahnen mit (das sind Streifen, auf denen nur Fahrzeuge mit mindestens zwei Insassen, manchmal auch mindestens drei Personen verkehren dürfen).

Die Verlegung der Busspuren ist entweder mitten auf der Straße, seitlich am Rand, oder die ganze Straße wird nur für Busse vorgehalten. Daneben gibt es noch Viadukte wie Nagoya und Xiamen oder speziell für das BRT eingebaute Tunnel (siehe Abbildung 2-1a&b). Zum Teil wurden die höhengleichen Spuren nur am Rand gepflastert und damit eine große Menge an Konstruktionskosten gespart. Gründe hierfür sind die feste Fahrlinien der BRT-Busse und dass die Erde und der Rasen unter dem Bus das Geräusch der Antriebsmaschine aufnehmen. Noch gibt es in wenigen Städten durch eine Spurrolle geführte BRT-Busse wie in Essen (siehe Abbildung 2-1c). Dieser Art BRT fährt stabil und bequem, ist aber teuer.

In vielen Städten wurden die Busspuren farbig gestaltet, indem der Straßenbelag aus Zement oder Asphalt mit Emulsion gemischt besteht. Eine bunte Busspur erhöht die Erscheinung des Systems und zieht die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf das System. Außerdem hilft die auffällige Farbe den Autofahrern, die BRT-Busse nicht zu blockieren, wenn sich Busse und Autos auf der Busspur kreuzen.



a) BRT-Viadukt in Xiamen [41]



b) BRT-Tunnel in Seattle [42]

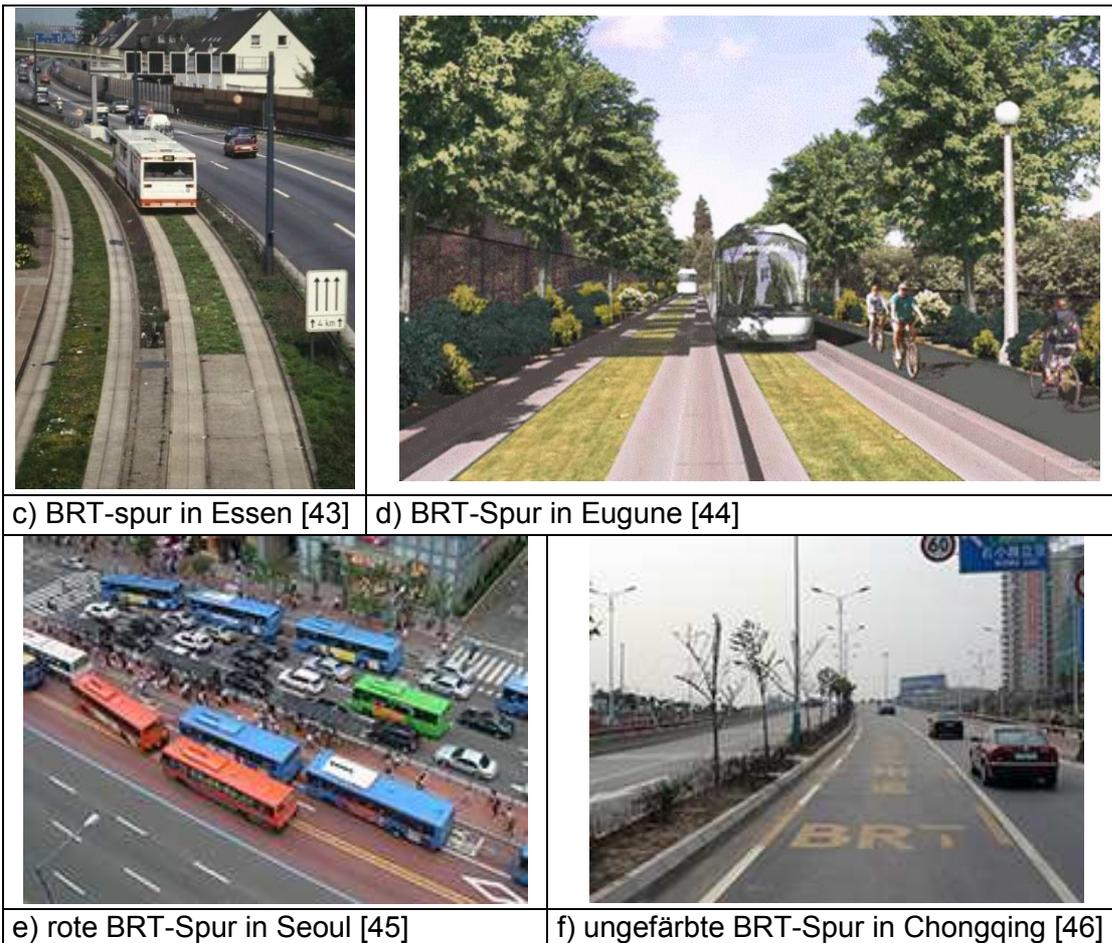


Abbildung 2-1 Formen der BRT-Spuren

- **Trennungsarten von anderen Verkehrsteilen**

Die BRT-Spur kann einfach durch eine optische Bodenmarkierung oder durch Borde, Pfosten und Zaun usw. von anderen Fahrspuren getrennt werden (siehe Abbildung 2-1).

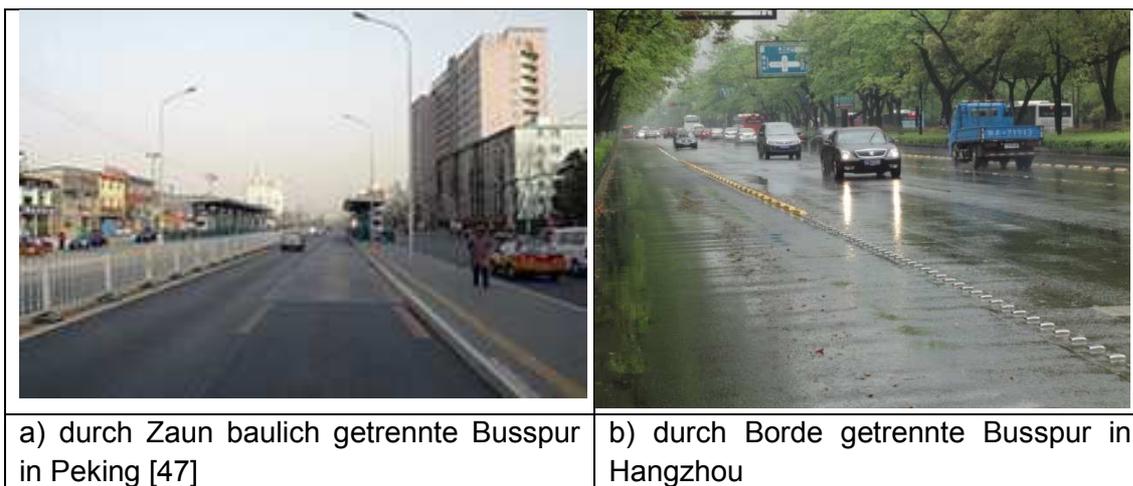


Abbildung 2-2 Trennungsformen der BRT-Spur

- **Fahrzeuge**

Die angewendeten Busarten sind vielfältig, vom normalen Bus, Großraumbus, Gelenkbus bis hin zum Doppelbus. Tendenziell werden Großraum Busse im BRT eingesetzt. „Modern“ be-

deutet Niederflrigkeit, großen Raum, schöne Gestaltung und innovative Technik. Die Busse sind so entwickelt, dass sie sich sogar einem LRT-Zug annähern (siehe Abbildung 2-3b).

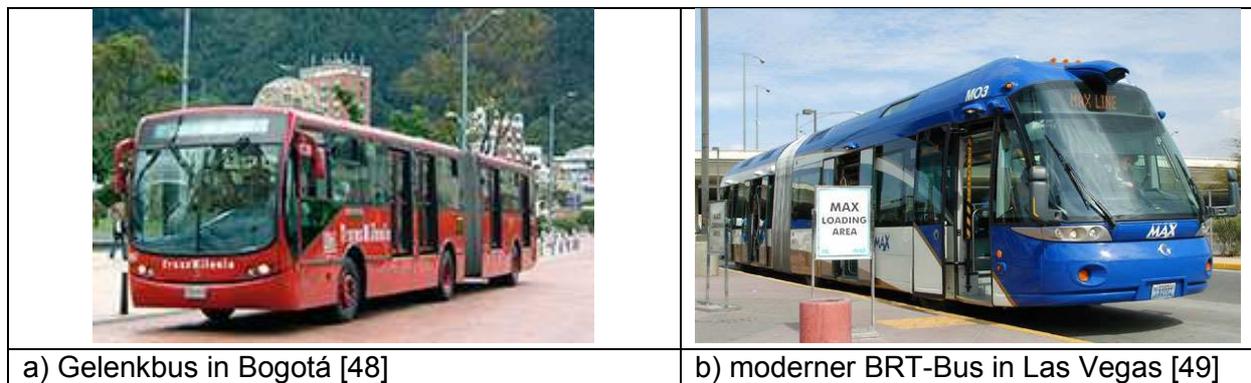


Abbildung 2-3 angewendete Busarten

- **Haltestellen**

Die Formen von Haltestellen sind geschlossen, halbgeschlossen und offen. Die Bauarten sind vielfältig (siehe 2-4).



Abbildung 2-4 verschiedene Bauarten der BRT-Haltestelle

2.2.3 Stufen des BRT

Der Zustand des BRT zeigt sich in vier Stufen wie in Abbildung 2-5 dargestellt: Grundlegende Busspur, das primär BRT, das verbesserte BRT und das vollständige BRT. Die erste Stu-

fe ist eine Vorstufe des BRT. Eine reine Busspur zielt zwar die Verkürzung der Reisezeit ab, aber mangels anderen Charakters v.a. hoch qualitatives Service wird die potenzielle Zeiterparnis aufgerechnet. Denn die reinen Busspuren dürfen alle Buslinien nutzen, werden jedoch nicht integriert und effizient verwaltet. In Folge dessen stehen viele Busse im Bereich der Haltestellen und Knotenpunkte in eine langen Reihe und blockieren sich gegenseitig. Aber grundlegende Busspuren bieten Grundlage und Erfahrungen für die Entwicklung des BRT an. Z.B. Kunming hat seine Busspur zum BRT-System aktualisiert.

Ein primäres BRT hat zwar viele Eigenschaften eines BRT-Systems, aber geringe eigene Busspur. Die Busse haben hierbei Priorität und nutzen auf den meisten Strecken gemeinsam mit den Autos die Fahrstreifen. Solche Systeme existieren vorwiegend in entwickelten Ländern, besonders in Europa und Nord Amerika. Diese Art BRT führt Maßnahmen zugunsten der Busse durch, sodass sich Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit erhöhen und sich damit das Busservice verbessert.

Die meisten BRT auf der Welt liegen auf der Stufe „das normale BRT“. Dieses BRT besitzt grundlegende Charaktere von BRT-System, beispielsweise das BRT in Quito, wo das BRT die Verkehrskorridore integriert, oder in Ottawa, wo nur Pre-Boarding Tickets erworben werden können. Um von einem normalen zu einem vollständigen BRT zu gelangen müssen einige Anforderungen erfüllt werden.

„Das vollständige BRT“ repräsentiert die höchste Stufe des BRT, erlangt eine vorbildliche Ebene des öffentlichen Verkehrssystems und deckt alle wichtigen Merkmale ab. Nur zwei Städte, Curitiba und Bogotá erreichen ein vollständiges BRT.

Prüft man das BRT-System in China (siehe Tabelle 2-2), befinden sich die meisten BRT-Systeme auf der Stufe „das normale BRT“. Sie sind entweder noch nicht vollkommen ausgebaut und somit nicht in das ganze Netz integriert oder das Kundenservice ist nicht gebildet worden. Einige gehören noch zum „primären BRT“, wie BRT in Kunming war zuerst „grundlegende Busspur“. 2009 ist sie zu dieser Stufe angestiegen.

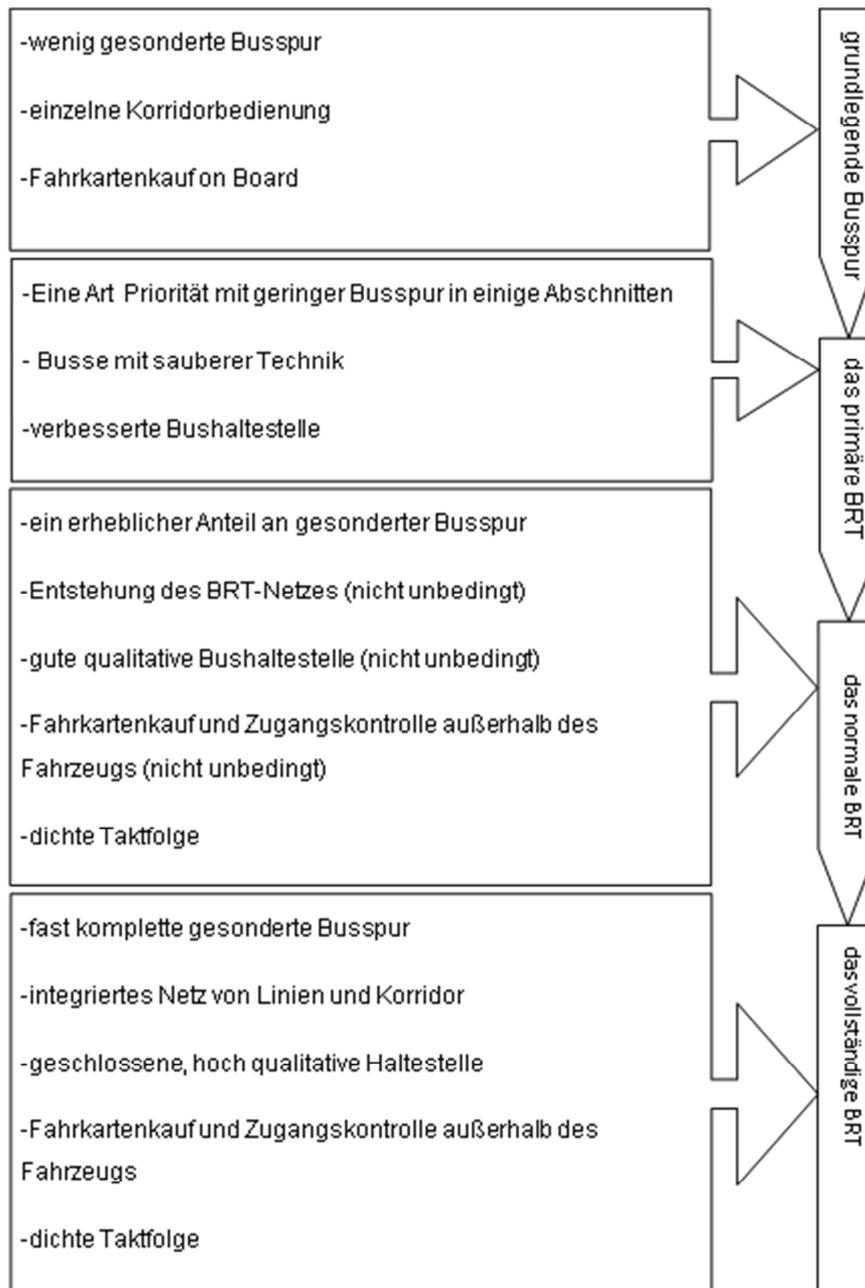


Abbildung 2-5 Die vier Stufen des BRT

2.3 Funktionen und Bedeutung des BRT im ganzen ÖPNV-System

Aufgrund von unterschiedlichen vorhandenen ÖPNV-Konstruktionen und Bedingungen der Städte werden die BRT-Systeme in verschiedene Funktionen unterteilt.

2.3.1 BRT als Hauptteil oder Rückgrat des ÖPNV

Als Rückgrat oder Hauptteil des ÖPNV trägt das BRT überwiegend die in wichtigen Korridoren erzeugten Fahrgastströme. Das BRT in Bogotá ist hierfür ein gutes Beispiel. Die Fläche von Bogotá beträgt 1750 km², davon sind 384 km² städtisches Gebiet. Bogotá ist die Hauptstadt Kolumbiens und damit wichtigstes Wirtschafts- und Kulturzentrum im Land. Eine Volkszählung im Jahre 2005 durch das „Departamento Administrativo Nacional de Estadística“ ergab, dass die Einwohnerzahl im Stadtgebiet 6,8 Mio. und im Ballungsraum 7,9 Mio.

beträgt. Vor der Einführung des BRT hatten 22.000 normale Busse 72% der Verkehrsaufkommen getragen. In Spitzenzeiten betrug die maximale Geschwindigkeit 10 km/h. Die Stadt war berüchtigt für ihre schlimme Verkehrsstaus und die Verschlechterung der Umwelt und wurde dadurch für perspektivlos gehalten. In der Stadt ist kein leistungsfähiges hoch kapazitives Schienensystem wie eine U-Bahn, S-Bahn vorhanden. Statt des Schienenverkehrs hat Bogotá 6 Schnellbuslinien geplant, die insgesamt 388 km lang sein sollen. Seit 2000 hat Bogotá Schritt für Schritt das BRT System „Transmilenio“ aufgebaut. Die erste 2000 gebaute Linie ist 42,4 km lang, hat 57 Haltestellen, 4 Parkplätze und eine Werkstatt der Instandhaltung, einen Umsteigeplatz und Kontrollzentrum, 29 Fußgängerbrücken und 305 km lange Zubringerlinien. Die zweite 2006 gebaute Linie ist 42.4 km lang, hat 57 Haltestellen, 3 Endhaltestellen, 39 Fußgängerbrücke, 3 Parkplätze und eine Werkstatt für Instandhaltung, einen Umsteigeplatz und 100 km Zubringerlinien. Die anderen vier geplanten Linien wurden noch nicht gebaut. 2011 beförderten die zwei Linien mit ihren Zubringerlinien täglich 1.650.000 Fahrgäste [54], das ist ein hoher Anteil der gesamten Fahrgastzahlen und deckt 85% der Stadtregion ab. Die Linienkarte mit geplanten und schon gebauten Linien sieht unten:

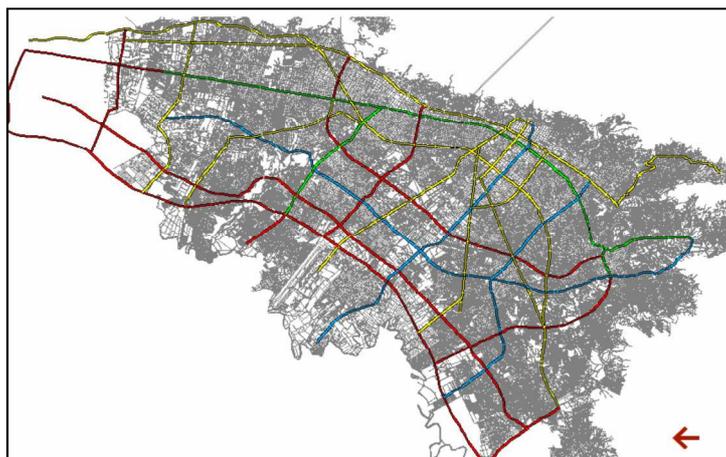


Abbildung 2-6 das geplante BRT-Netz in Bogotá

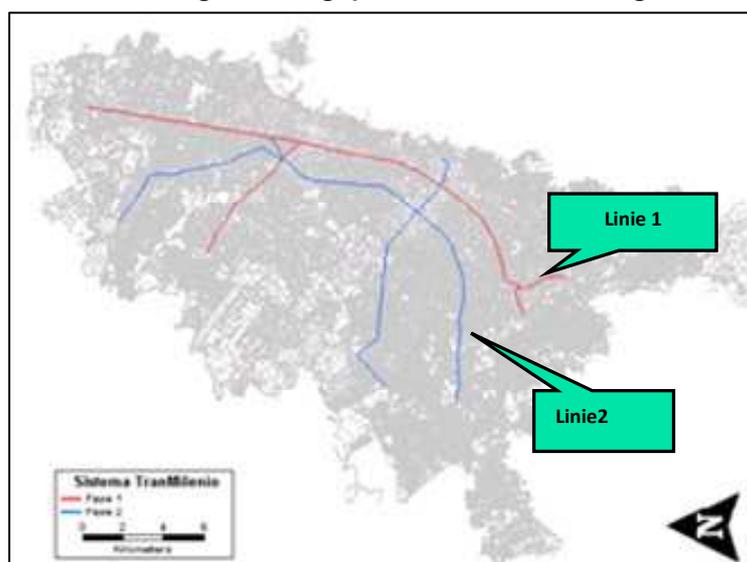


Abbildung 2-7 die zwei gebauten Linien in Bogotá [55]

Diese Funktion als alleiniges Hauptteil oder Rückgrat gilt für die Städte, in denen das Verkehrsproblem dringend ist. Wegen der langen Bauzeit, den großen Investitionen und der Einflussnahme der Politik ist es kaum möglich, einen Schienenverkehr zu bauen.

Jinan hat sich für BRT als Hauptbestandteil des ÖPNV entschieden. Die Gründe hierfür hängen mit der Bodenbeschaffenheit und den natürlichen Quellen zusammen, die dort sehr berühmt sind. Die Böden vom Typ Karst in Jinan sind nicht geeignet für den Bau einer U-Bahn. Außerdem würde der Bau das unterirdische Flussnetz in Jinan zerstören und die vorhandenen Quellen gefährden.

2.3.2 BRT als ein Übergang zum Schienenverkehr

Schienenverkehr ist vorhanden und verläuft vom Stadtzentrum in die Außenbezirke. Es gibt noch einen großen Abstand zwischen diesen Bezirken und dem Stadtrand. Dazwischen ist auch ein Verkehrskorridor. In diesem Verkehrskorridor besteht schon bestimmte Verkehrsnachfrage, die potenziell immer mehr wächst. Aber wegen des zurzeit unzureichenden Verkehrsbedarfs und den riesigen Kosten ist der Bau eines Schienenverkehrssystems wirtschaftlich unmöglich. Dann ist ein BRT als Übergang und Verlängerung des Schienenverkehrs eine optimale Entscheidung. Er wird die Nachfrage für den zukünftigen Schienenverkehr generieren, was bei der ersten BRT-Linie in Miami der Fall war. Die Baukosten des 13,6 km langen Korridors betragen etwa 85 Mio. USD(US-Dollar) während eine vergleichbare U-Bahnstrecke 900 Mio. USD bzw. eine S-Bahnstrecke 400 Mio. USD kosteten. Gleichzeitig generierte das BRT-System 40% mehr Fahrgäste [56].

Da der Bau des Schienenverkehrs lange dauert und hoch Kosten beinhaltet, kann ein BRT-System als Übergangslösung eingeführt werden. Dadurch kann die gegenwärtige Verkehrsbelastung reduziert und der Fahrgaststrom für den zukünftigen Schienenverkehr erzeugt werden. Dies ist beispielsweise in Xiamen und Kunming der Fall. Im August 2008 nahm in Xiamen die BRT Linie 1 den Betrieb auf. Die Linie hat wichtige Knotenpunkte wie Hafen, altes Stadtzentrum, Hauptbahnhof, Geschäftszentrum, neues Stadtzentrum, Flughafen, Stadion, Universitätsstadt, Botanischer Garten und Buszentrum verbunden. Die 33,4 km lange Linie ist die Nord-Süd-Hauptachse in Xiamen. Sie stellt den Übergang zum Schienenverkehr dar, der die Rückgratlinie des Nahverkehrs ist. Die jetzige BRT-Linie 1 reduziert den Verkehrsstau, erweitert den Stadterschließungsraum und treibt die ganze Stadtentwicklung positiv voran. Der Verlauf der Linie 1 ist in Abbildung 2-8 dargestellt:



Abbildung 2-8 die BRT-Linie 1 in Xiamen [55]

2.3.3 BRT als eine Ergänzung zum Schienenverkehr

Der Schienenverkehr ist schon vernetzt. Trotzdem wurde nicht jeder Stadtteil erschlossen. Der weitere Ausbau löst die jetzigen Probleme nicht und ist finanziell nicht realisierbar. In dieser Situation ist das BRT die Lösung. Die drei BRT-Linien in Peking erschließen die Gebiete, die nicht durch U-Bahnen erschlossen wurden. Früher mussten die Fahrgäste in diesen Gebieten mehrere Male in andere Busse umsteigen, um eine U-Bahnhaltestelle oder weitere Ziele zu erreichen. Die eingeführten BRT-Linien verdichten die Verkehrsverbindungen und verbessern somit das gesamte ÖPNV-System. Die Linie 1 ist 16 km lang und erschließt die Gebiete zwischen dem zweiten und fünften Ring der Stadt. Innerhalb dieses Gebiets wohnen 350.000 Einwohnern. Diese Linie schafft deren Reisebedarf zu bedienen. Die Fahrt von Anfangshaltestelle bis Endhaltestelle dauert 37 Minuten, damit wird 50% weniger Zeit gebraucht als mit einem normalen Bus [57]. Sie hat sieben alte normale Buslinien integriert, dessen 90 BRT-Busse ersetzen 370 alte normale Busse. Nun befördert sie täglich 150.000 Fahrgäste, das entspricht 40% Fahrstrom auf diesen Korridor. Dadurch ist das BRT eine effektive und flexible Ergänzung des Schienenverkehrs, Siehe Abbildung 2-9 (aus [58] und eigene Bearbeitung).

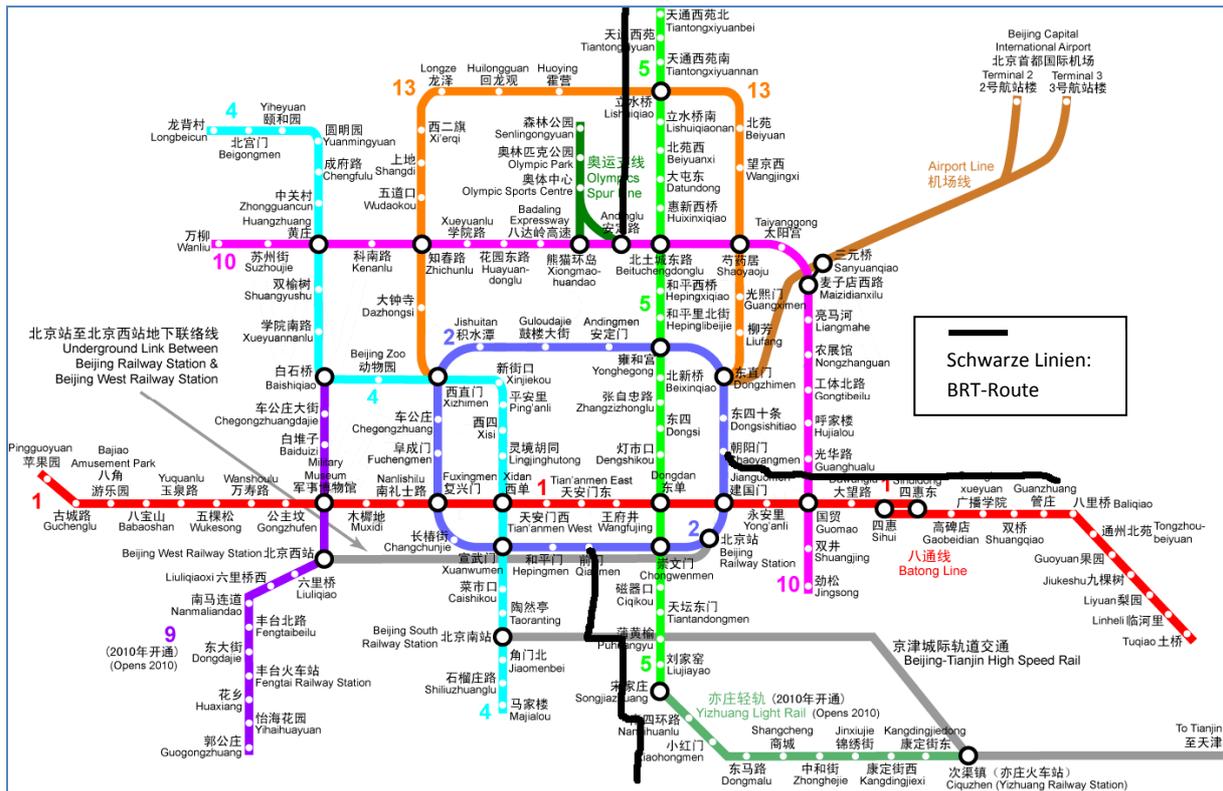


Abbildung 2-9 U-Bahn-Netz und BRT- Linien in Beijing

2.3.4 Sonstige Situation

Das BRT System ist von anderen öffentlichen Verkehrssystemen isoliert, vor allem vom Schienenverkehr. Dies passiert oft in der Anfangsphase oder Testphase. Diese Situation ist nicht statisch, sondern wird sich in die oben beschriebenen Funktionen(2.3.1 -2.3.3) übergehen.

2.3.5 Bedeutung des BRT im gesamten ÖPNV-System

Die Einführung des BRT ist für das gesamte ÖPNV-System bedeutungsvoll. Es verringert die Belastung der Beförderung auf die großen Korridore und den Verkehrsstau erheblich; bietet Reisenden eine bequeme und schnelle Fahrt; erspart riesige Bauinvestitionen und Kosten im Vergleich zum S- oder U-Bahnbau, ergänzt das Schienenverkehrsnetz; erhöht den ÖPNV-Anteil in kurzer Zeit, verringert die Verkehrsemission, gewährleistet die Nachhaltigkeit des ÖPNV der Stadt; steuert effizient die zukünftige Bodennutzung der Stadt, treibt die Gestaltung der Stadt zur nachhaltigen Entwicklung an und erhöht die Lebensqualität in der Stadt.

2.4 Positive und negative Seiten des BRT

2.4.1 Positive Seiten des BRT

Die wesentlichen Vorteile des BRT-Systems sind eine hohe Kapazität, hohe Geschwindigkeit, Flexibilität und Effizienz.

- Hohe Kapazität

Die Beförderungsfähigkeit soll nach Meinung von Experten in China 10.000 bis 15.000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung betragen. Bei einigen guten laufenden BRT-Systemen sind die Zahlen noch höher nach Angabe von *ITDP*. Das BRT in Sao Paulo ist leistungsfähiger als die U-Bahn in London. Die Beförderungsleistung von BRT ist i.a. unterhalb der von S- und U-Bahn. Trotzdem ist sie schon sehr hoch, wie in Tabelle 2-5 zu sehen ist. Die hohe Transportkapazität von BRT ist durch hoch kapazitive Fahrzeuge und eine sehr dichte Taktfolge gesichert.

Tabelle 2-5 die Beförderungsfähigkeit des BRT, der U und S-Bahnen [4]

Name der Linien	ÖPNV-Form	Fahrgastströme pro Stunde und Richtung
Sau Paulo East Linien	U-Bahn	60.000
Santiago La Moneda	U-Bahn	36.000
London Victoria Linien	U-Bahn	25.000
Sau Paulo 9 de julho	BRT	35.000
Bogodá TransMilenio	BRT	33.000
Porta Alegre Assis brasil	BRT	28.000
Curitiba Eixo Sul	BRT	15.000
Bangkok BTS	LRT	50.000
Mexiko Linien B	LRT	39.300
Strasbourg	Straßenbahn	18.000

- **Hohe Geschwindigkeit**

Die meisten hoch qualitativen BRT-Systeme erreichen durchschnittlich eine Beförderungsgeschwindigkeit von etwa 23 bis 30 km pro Stunde [4]. Die hohe Beförderungsgeschwindigkeit wird durch die Erhöhung der Betriebsgeschwindigkeit und die Effizienz der Haltestelle realisiert. Eigene Spur, ein guter Zustand der Straßen, hoch qualitative Fahrzeuge (hohe Fahrgeschwindigkeit und gute Startqualität) und eine hoch effiziente Betriebsorganisation gewährleisten eine hohe Beförderungsgeschwindigkeit. Die ausreichende Plätze zum Anhalten, barrierefreie Fahrgastwechsel, mehrere breite Türen, die Fahrkartenkauf und Kontrolle außerhalb des Busses sowie ITS vermindern die Anhaltzeit an der Haltestelle.

- **Flexibilität**

-Flexibler Bau: Das BRT-System kann in Etappen und streckenweise komplettiert werden. Anders als beim Schienenverkehr werden Teile der fertigen Strecke schon in Betrieb genommen ohne das ganze System fertig gebaut zu haben. Außerdem kann die Infrastruktur wie ITS auch während des Betriebs eingeführt werden.

-Flexibler Betrieb: Der BRT-Linien sind beweglich und können bei Bedarf ausweichen, wenn z.B. BRT-Spur wegen der Defekt oder Demonstration blockiert, kann BRT-Fahrzeug direkt auf andere Straßen umfahren.

- **Effizienz**

Für die gleiche Transportkapazität kostet das BRT-System nur 1 bis 10 Mio. USD pro km, hingegen kostet ein normales U-oder S-Bahn-System ca. 20 bis 207 USD pro km. Das heißt, die Investition von BRT beträgt nur 5% von U-oder S-Bahnen [59]. Zudem benötigt ein BRT-System vom Plan bis zur Inbetriebnahme nur 1 bis 2 Jahre oder sogar noch kürzer.

2.4.2 Negative Seiten des BRT

- **Belegung des Straßenraumes**

Da das BRT direkt auf der vorhandenen Straße eingebaut wird, stellt es sich hoch Ansprüche zum Straßenzustand.

- **Halbgeschlossenes System**

Die BRT-Systeme nutzen gemeinsam den Raum an den Knotenpunkten mit MIV und dessen Fahrzeuge verkehren wegen der baulichen Bedingungen gemischt auf einigen Strecken mit MIV. Dies entscheidet dafür, dass es nicht ein geschlossenes System sein und dessen Stabilität nicht hoch ist.

- **Begrenzte Beförderungsleistung**

Nach einer Untersuchung liegt die Grenze der Beförderungsleistung bei 15.000 Pers.pro Stunde und Richtung. Obgleich der Rekord in wenigen Städten wie in Bogotá (30.5000 Person/h/Richtung) und Guangzhou (27.4000 Person/h/Richtung) den Grenzwert überschreitet, sind die Betriebe mit so hoher Leistung sehr schwer.

- **Begrenzte geltende Bereiche**

Das BRT-System setzt hoch-kapazitive Fahrzeuge, dichte Taktfolge und spezielle Fahrspuren dafür ein. Um wirtschaftlich zu bleiben, müssen die Fahrgastströme relativ hoch sein.

3 Straßenbahnsystem

3.1 Überblick über die Straßenbahn

3.1.1 Definition

Das Straßenbahnsystem hat eine lange Geschichte, es ist quasi das früheste, moderne, öffentliche Nahverkehrssystem. Es ist ein schienengebundenes elektrisches Verkehrssystem, das anfänglich meistens zusammen mit dem KFZ-Verkehr in Straßenraum verkehrte. Später wurde die Verlegungsart auf unterschiedliche Weise weiterentwickelt. Auf den Teilstrecken bekommen die Gleise des Systems mehr eigene Bahnkörper auf der Straße oder sie werden in einen Tunnel oder Viadukt verlegt, damit sich die Reisegeschwindigkeit deutlich erhöht.

Eine Definition im Ingenieurbau lautet: „Eine Straßenbahn im klassischen Sinne ist ein Schienenbahnsystem, dessen Fahrzeuge überwiegend im Straßenraum und allenfalls zu einem geringen Teil auf besonderem Gleiskörper verkehren. In der Regel wird auf Sicht gefahren. Die Stromzuführung erfolgt durch Oberleitungen[60]. Das gilt für die alten Straßenbahnsysteme.

Bezugnehmend auf eine andere Definition sind Straßenbahnen „schienegebundene Verkehrsmittel, die in der Lage sind, den Verkehrsraum öffentlicher Straßen zu benutzen und sich dabei den baulichen und betrieblichen Anforderungen und Regelungen des Straßenverkehrs anzupassen“. „Straßenbahnen können daher als einziges Schienenverkehrsmittel im Mischverkehr mit dem allgemeinen Straßenverkehr eingesetzt werden. Neben straßenbündigen Strecken können Straßenbahnen auf verschiedenen Formen von Gleiskörpern eingesetzt werden, deren Spannweite von einer farblich markierten Trasse im Straßenraum bis zu aufwändigen Tunnelstrecken reicht“ [61].

Die Straßenbahn war mal so populär, dass fast jede große Stadt auf der Welt ein Straßenbahnsystem besaß. Es gab einen Zeitraum, in dem die Straßenbahn als einziges praktisches Nahverkehrssystem angesehen wurde. Sie fuhr schnell und beförderte die Fahrgäste zu einem relativ günstigen Preise. Die auftretenden Nachteile der Straßenbahn konnte man in Kauf nehmen. Aber als Kraftfahrzeuge (Pkw, Busse) in den Vordergrund traten, wurde auf einen großen Anteil der Straßenbahn verzichtet. Denn die alte Straßenbahn erzeugte großen Lärm, fuhr instabil und war nicht so flexibel wie das Auto. Aufgrund der Ölkrise wurde der Vorteil der Straßenbahn wieder neu entdeckt. Das System der Straßenbahn wurde mit einer technischen Verbesserung und Modernisierung belebt. Die moderne Straßenbahn integriert die Elemente vom alten Straßenbahnsystem und einige Elemente von anderen Formen des ÖPNV-Systems (Niederflur, Betrieb mit Zeitplan, gesonderte Spur etc.). Es ist umweltfreundlich mit weniger oder gar keiner Emission, benutzt Mittelstreifen der vorhandenen Straßen

oder getrennte Fahrspuren, ist flexibel, bietet stabile, schnelle, sichere Fahrt und befördert mehr Fahrgäste pro Stunde und Richtung als ein normaler Bus, jedoch weniger als U- und S-Bahn. Der Ein- und Aussteigen der Straßenbahn und die Haltestelle liegen auf einer Höhe [62].

Eine andere Entwicklungsrichtung von Straßenbahn ist Stadtbahn. Sie hat einen hohen Anteil an eigenen Bahnkörpern im Straßenraum. Wo es verkehrstechnische Engpässe gibt wird sie in den Tunnel oder auf Viadukt verlegt. Sie bekommt Vorfahrt an plangleichen Kreuzungen. Ihre Zugänglichkeit wird dadurch erleichtert, bei Hochflurfahrzeugen Hochbahnhaltestellen einzusetzen und bei Niederflurfahrzeuge einen gering erhöhten Bordstein. Auf den Strecken im Straßenraum fahren sie auf Sicht, im Tunnel signalgesteuert. Die Stromzufuhr erfolgt über die Oberleitungen. Sie sind auf einzelnen Streckenabschnitten durch mehrere Linien miteinander vernetzt [60].

Die alten Straßenbahnen wurden als Elektrische, Trambahn, Tramway oder Streetcar bezeichnet. Die entwickelten Straßenbahnen werden Tram, Stadtbahn oder Light Rail Transit genannt.

3.1.2 Geschichte und Evolution der Straßenbahn

- **Weltweit**

Das System der Straßenbahn hat nach seiner Erfindung ein Aufblühen, danach eine Stagnation sowie nach der Ölkrise und technischen Reformation eine Renaissance erlebt. Als erste elektrische Straßenbahn der Welt wurde eine Straßenbahnlinie 1881 in Berlin in Betrieb genommen [63]. Zwischen 1890 und 1920 wurden die Straßenbahnen als Massentransportmittel weltweit verbreitet und bewirkten Wachstum und Planung der Städte. Vor dem ersten Weltkrieg gab es in fast jeder großen Stadt ein Straßenbahnsystem. Im Jahre 1920 prägten die Straßenbahnen über 3000 Städte in Europa, Amerika und Australien [64]. Danach wurden die Straßenbahnsysteme aus verschiedenen Gründen stillgelegt. In Europa wurden sie reduziert, blieben jedoch in vielen Städten erhalten. Weil der steigende motorisierte individuelle Verkehr jede Menge Energie, Fläche und Raum verbrauchte, große Schadstoffemissionen produzierte. Die Effizienz war aber ziemlich niedrig. Damit rückten die Straßenbahnen erneut in den Fokus. Die vorhandene Straßenbahn wurde modernisiert und verlängert. Oder die Straßenbahn wurde wieder oder neu eingeführt. Z. B. In Städten in Belgien und Deutschland wurde die vorliegende Straßenbahn verbessert. In Europa und Nordamerika waren die Straßenbahnen besonderes verbreitet. Das Aussehen, die Technik und der Komfort der Straßenbahn wurden erheblich verbessert. Die moderne Straßenbahn hat viele Vorteile, u.a. das bunte Aussehen, das stabile und angenehme Fahrgefühl, den niedrigen Lärm, die niede-

ren Flure. Diese Verbesserungen verhalfen der Straßenbahn weltweit zu einem „Comeback“, denn sie wird jetzt für ein umweltfreundliches und attraktives öffentliches Verkehrsmittel gehalten. Gab es Straßenbahnen in den 80er Jahren weltweit nur in 300 Städten, so besitzen inzwischen wieder fast 400 große Städte die Straßenbahnen. Weitere 100 Städte planen oder bauen derzeit Straßenbahnsysteme [65].

- **In Nordamerika**

Die Straßenbahn bot in der USA und Kanada von 1880 bis 1930 eine günstige und effiziente Beförderung an und war sehr verbreitet [62]. Bis 1917 erreichte sie ihren Höhepunkt: Eine Gleislänge von insgesamt 42.000 km und 60.000 Fahrzeuge wurden von 1000 Betreibern betrieben. In diesem Zeitraum wurden 11 Mrd. Fahrgäste jedes Jahr befördert, wodurch ein hoher betriebswirtschaftlicher Gewinn erreicht wurde. Die Straßenbahnen waren überwiegend in privater Hand, sodass sie von der stark wirtschaftlichen Krise am Ende der 1920er und der zunehmenden Konkurrenz durch Buslinien und Autos beeinflusst wurden. Viele der staatlich betriebenen Straßenbahnsysteme wurden eingestellt oder auf Busse umgestellt. In großen Städten wurden die Straßenbahnnetze zwar reduziert aber erhalten. 1939 gab es in den USA noch einen sehr großen Anteil der Straßenbahnen am gesamten ÖPNV von 46 %, im Vergleich zu U-, S-Bahn mit 18 % und Bussen mit 36 %. 1945 waren in Nordamerika noch 26.700 Straßenbahnfahrzeuge in Betrieb. Danach wurden sie rasch reduziert, weil sie private Pkws behinderten, zu langsam fuhren und die Wartung viel kostete. Bis 1957 waren nur 18 Straßenbahnsysteme mit 3.300 Fahrzeugen im Einsatz, das entspricht der Hälfte von 1950. Der echte Tiefpunkt passierte Ende der 60er Jahre: Lediglich 960 Fahrzeuge verkehrten auf einem Streckennetz von insgesamt 320 km. Die Fahrgastzahl war gesunken auf weniger als 100 Mio. Personen pro Jahr. In Kanada war es schlimmer, in Toronto fuhren 400 Fahrzeuge auf einem Streckennetz von etwa 75 km.

1973 drosselte v.a. die Ölkrise die weitere Einstellung der Straßenbahn. In Bezug auf die riesigen Kosten der U-Bahn und die wechselten wirtschaftliche und städtebauliche Zielsetzungen hatten manche Städte ihre Straßenbahnen modernisiert und sogar neue Strecken neugelegt [66]. Die neu entwickelte Straßenbahn wurde in Nordamerika „Light Rail Transit“ genannt. 1978 wurde die erste „Light Rail Transit“ in Edmonton, Kanada in Betrieb genommen und die Zweite folgte 1981 in Calgary. Mit diesem Konzept haben San Diego, Sacramento, Portland, Toronto, Los Angeles, St Louis, San Jose, Salt Lake City etc. in Nordamerika „Light Rail Transit“ eingesetzt. Die Systeme wurden von Gleichstrom oder Wechselstrom gespeist. Es gab auch Fahrzeuge mit Diesel und Mechanik oder Diesel und Elektrik. Die waren aber beliebter in Europa als in Nordamerika [62].

- **In Europa**

Wie in Nordamerika hatten in Westeuropa nach dem Krieg viele Städte schrittweise die Stra-

ßenbahn abgeschafft. Stattdessen wurden Bussysteme in das ÖPNV-System eingeführt und die Straßen für Autos ausgebaut. Der sich schnell entwickelnde Autoverkehr verdrängte die Straßenbahn. In den 60er und 70er Jahren wurde in Westdeutschland, Frankreich, Spanien, Großbritannien und Italien ein Großteil der Straßenbahnen still gelegt. In Ostdeutschland und Osteuropa überlebten die Straßenbahnen aufgrund des knappen Haushalts [1]. Die Vorteile der Straßenbahn waren wegen der Ölkrise, den Verkehrsstaus und der Umweltverschmutzung erkennbar. Vorwiegend leiten Frankreich, Spanien und Großbritannien in der Gegenwart die Wiedereinführung der Straßenbahn. In Deutschland und Osteuropa wurden hingegen vorhandene Systeme ausgebaut und modernisiert [67]. Dies sieht man in Abbildung 3-1a. Die roten Punkte zeigen die zwischen 1990 und 2007 neue oder wieder in Betrieb genommene Straßenbahn, die grünen Punkte sind die Straßenbahnen in Planung.

Paris besaß einmal mit 128 Linien die meisten Straßenbahnen der Welt, die radial lagen und auch die Vororte bedienten. 1925 betrug die Streckennetzlänge 725 km. 1928 bediente die Straßenbahn mit 2.287 Triebwagen und 928 Beiwagen 727 Mio. Passagiere, hingegen beförderte U-Bahn „Metró“ nur um 73 Mio. Passagiere mehr als Straßenbahn, Omnibusse waren mit ihrer Beförderungsanzahl von 343 Mio. Fahrgästen weit hinter den Straßenbahnen. Trotz ihrer großen Beförderungsfähigkeit entschied die Politik zwischen 1931 und 1938, sie schnell einzustellen. Im Zentrum von Paris bezog die Straßenbahn ihren Strom mittels Kontaktschuhen auf einer langen Distanz aus einem sich zwischen den Schienen befindenden Kanal mit darin liegenden Stromschienen. Die Überleitung von der unterirdischen Stromabnahme zum Fahrleitungsbetrieb erfolgte per Hand und war mühsam und störanfällig. Deshalb wurde die Straßenbahn als Verkehrshindernis wahrgenommen. Die ganze Strecke und alle Wagen wurden durch 3.890 Busse ersetzt. Seit 1992 sind vier gut funktionierende Linien jetzt wieder im Einsatz, die tangential zu der Stadt liegen. Wie Paris, das Vorbild für alle französischen Städte, besitzen alle großen Städte in Frankreich wieder Straßenbahnen[68].

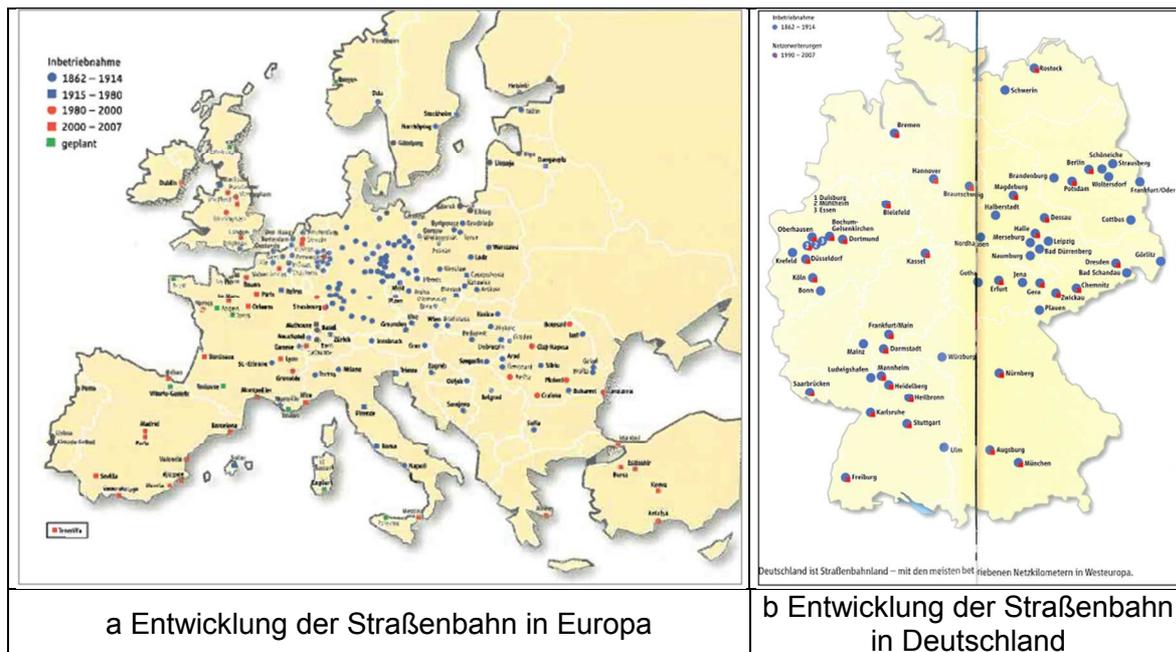


Abbildung 3-1 Entwicklung der Straßenbahn in Europa und Deutschland zwischen 1862 und 2007 [64]

- **In Deutschland**

Die Straßenbahn hat Ende des 20. Jahrhunderts einen Boom in Deutschland erlebt. Das Liniennetz wurde ausgedehnt und die Wagen nahmen zu. Im Jahr 1928 erreichte die Straßenbahn in Deutschland ihren Höhepunkt. In den alten Bundesländern gab es damals auf einer Gesamtbetriebslänge von mehr als 4.900 km (einschließlich Klein- und Nebenbahnen) 8.600 Triebwagen und 7.500 Kleinwagen [69]. Im Jahr 1930 wurde der Omnibus als weiterer Konkurrent neben MIV in Betrieb genommen. Außerdem zerstörte der Krieg die Betriebe der Straßenbahn in einigen Städten vollkommen. Dadurch schrumpften die Straßenbahnlinien [70]. Trotzdem waren Straßenbahnen bis 1960 die vorwiegenden Verkehrsmittel, deren Anteil am gesamten ÖPNV-System 50% ausmachte [61].

Während sich Deutschland in Ost und West geteilt hatte, waren die Schicksale der Straßenbahn in einigen Punkten überraschend unterschiedlich. Im Westen wurden die Anzahl der Straßenbahnen entweder von Städten zurückgegangen ist oder die Straßenbahn in Tunnel, besonders in Großstädten, verlegt (sogenannte Stadtbahnen). Aber zunehmende Kosten und schrumpfende Finanzierungen machten den Bau der Tunnel immer schwieriger. Die Stadtbahn konnte nicht in eine echte U-Bahn umgewandelt werden.

Ab 1985 wurden die noch bestehenden Straßenbahnsysteme allmählich verbessert. Sie erhielten Niederflurwagen, Bahnsteige wurden an den Fahrweg gebaut. Außerdem wurde Schienenfahrzeuge eine höhere Position als MIV in der „*Straßenverkehrs-Ordnung(StVO)*“ gegeben (§2 Straßenbenutzung durch Fahrzeug (3) Fahrzeuge, die in der Längsrichtung einer Schienenbahn verkehren, müssen diese, soweit wie möglich, durchfah-

ren lassen). Dadurch wurde das Reisen mit der Straßenbahn bequemer und sicherer. In Ostdeutschland blieben die Straßenbahnsysteme dank der Planwirtschaft in den Städten und dem Umland Hauptverkehrsmittel im ganzen ÖPNV-System. In den 70er und 80er Jahren wurden einige Betriebe in Stadtbahnen umgewandelt und die Übrigen blieben in der klassischen Form [71]. Nach der Wiedervereinigung wurden die Straßenbahnen Schritt für Schritt modernisiert. Die moderne Straßenbahn befördert eine hohe Anzahl an Fahrgästen effizient und mit weniger Personalaufwand. Der Fahrkomfort durch mikroprozessorgesteuerte Bremsen und Motoren, die Losradfahrwerke mit Gummifederung und die geräumige Innenraumgestaltung machen die Straßenbahn attraktiver. So steigen immer mehr Leute auf sie um^[72]. Mehrere Städte haben die Straßenbahn neu bzw. wieder eingeführt. Viele befinden sich noch in Planung. Die Abbildung 3-1b zeigt die Entwicklung bis 2007, blaue und rote Punkte kennzeichnen die Netzerweiterung zwischen 1990 und 2007. In Tabelle 3-1 stehen die neuen Strecken in Deutschland zwischen 2006 und 2008.

Wegen der rückläufigen Finanzierung der öffentlichen Haushalte in der letzten Zeit in Deutschland hat sich die Ausdehnung und Planung neuer Straßenbahnprojekte verzögert. Dennoch gewinnt die Straßenbahn mehr und mehr an Bedeutung.

Tabelle 3-1 neue Straßenbahnstrecken in Deutschland zwischen 2006 und 2008 [64]

1	Berlin	31.05.2006	Eröffnung 1,7 km Neubaustrecke Linie M10
2	Rostock	14.10.2006	Eröffnung 13,7 km Neubaustrecke bei 22,3 km Bestandsnetz
3	Braunschweig	14.10.2006	Eröffnung 3,2km Neubaustrecke nach Stöckheim (1100 mm)
4	München	25.10.2006	Zustimmung für 4 km Neubau Linie 23 nach Schwabing, Baubeginn 04/07
5	Halle/Saale	30.10.2006	Eröffnung 7,8 km Neubaustrecke Hbf. – Neustadt
6	Gera	03.11.2006	Eröffnung 6 km Neubau Linie 1
7	Darmstadt	13.11.2006	Baubeginn Verlängerung Linie 8 nach Arheilgen (Norden)
8	Bremen	02.12.2006	Eröffnung 1,9 km Neubaustrecke zur Überseestadt
9	Frankfurt/M.	06.12.2006	Zustimmung für Linie 18 nach Preungesheim, 3,5 km Baubeginn ab 03/07
10	Heidelberg	09.12.2006	Eröffnung 4,4 km Neubaustrecke nach Kirchheim
11	Mannheim	09.12.2006	Eröffnung 6,2 km Neubaustrecke nach Neuostheim
12	Bremen	16.03.2007	Baubeginn Reaktivierung 10 km Farge-Vegesacker Eisenbahn
13	München	20.03.2007	Baubeginn für Linie 23 nach Schwabing, bis Herbst 2009
14	Berlin	30.05.2007	Eröffnung 0,9 km Neubaustrecke zum Alexanderplatz
15	Jena	16.07.2007	Baubeginn 2,6 km Neubaustrecke nach Göschwitz, bis 12/2009
16	Köln	16.08.2007	Wiederinbetriebnahme 3,1 km vorherige Straßenbahnlinie 12 als renovierte Niederflur-Stadtbahn
17	Kassel	19.08.2007	Neueröffnung Regio-Tram Kassel Hbf. (Zweisystem „Karlsruher Modell“)
18	Ulm	28.08.2007	Baubeginn 4,5 km Neubaustrecke nach Böfingen, Eröffnung 2009
19	Halle/Saale	14.10.2007	Eröffnung 0,98 km Neubaustrecke Heide – Kröllwitz
20	Kassel	05.11.2007	Zustimmung für 3,9 km Neubaustrecke Verlängerung nach Vellmar, Bauzeit 2008 –2009
21	Stuttgart	08.12.2007	Eröffnung umgebaute 7,6 km Stadtbahn U15, Einstellung Regelbetrieb der Meterspur Straßenbahnlinie 15
22	Berlin	2007 – 2010	Bau 1,7 km Verlängerung Adlershof – Wissenschaftsstadt
23	Stuttgart	2008 – 2010	Bau von 3 km Verlängerung Stadtbahnlinie U15 bis Stammheim, davon 1,1 km Tunnel
24	Darmstadt	04/08 – 12/08	Zustimmung am 19.12.07 für 0,96 km Verlängerung Linie 8 nach Süden
25	Würzburg	<2008	Eröffnung 1,4 km Neubaustrecke nach Grombühl (Unklinikum)
26	Augsburg	01/07 – 03/09	7,3 km Neubau Linie 6 nach Friedberg-West
27	Augsburg	01/09 – 04/10	1,8 km Neubau Linie 1 nach Hochzoll
28	Berlin	<2011	Eröffnung 2,2 km Neubaustrecke zum Hauptbahnhof
29	Augsburg	02/10 – 03/12	3,6 km Neubau Linie 5 zum Klinikum
30	Gera	2009 – 2012	Neubau Verlängerung Linie nach Langenberg bei OK im März 2008
31	Karlsruhe	2009 – 2016	Zustimmung am 04.07.07 für Kombilösung: 3,4 km Stadt-/Straßenbahntunnel für 500 Mio. €
32	Bielefeld	<2030	Planung Linienverlängerungen: 1,2 und 1,8 km Neubaustrecken

- **Straßenbahn in China**

ÖPNV-System Chinas erschien zuerst in großen Städten wie Peking, Shanghai, Dalian. Die früheste ÖPNV-Form ist die Straßenbahn. Die Geschichte der Straßenbahn in China konnte auf Anfang letztes Jahrhundert zurückgreifen [73]. Die erste Straßenbahn in Peking wurde von der deutschen Firma Siemens gebaut und hat Bahnhof „Majia Bao“ und Ort „Yongdingmen“ verbunden. In 1908 wurden die Straßenbahnlinien in Shanghai von einer englischen und französischen Gesellschaft gebaut und betrieben (siehe Abbildung 3-2). Damals spielte die Straßenbahn eine große verkehrliche Rolle. Die Straßenbahn war auch verbreitet in chinesischen großen Städten.



Abbildung 3-2 erste Straßenbahn 1908 in Shanghai [73]

Die letzte Straßenbahnlinie wurde bis in die 1980er Jahre beseitigt. Denn die Einbettung der Gleise auf der Straße war nicht perfekt. Deren Rille ist so breit, dass Fahrräder leicht in Gleisrille stecken bleiben. Damals existierten in chinesischen Städten zahlreiche Fahrradverkehr. Das Straßenbahnsystem in Shanghai wurde zum Oberleitungsbussystem umgewandelt. Danach wurde das Oberleitungsbussystem wiederum durch normales Bussystem wegen des erheblichen Umbaus der Straßen ersetzt. Im Allgemeinen wurde Mitte der 1950er Jahre in meisten Städte Chinas auf die Straßenbahn verzichtet [73]. Die Gründe dafür waren, dass deren Lärm groß, Leistung schlecht, Verbrauch des Stroms hoch und Geschwindigkeit, Komfort und Flexibilität schlecht ist im Vergleich zum Auto [74]. Die Straßenbahn in Dalian ist die einzige, die in China überlebt.

Mit moderner Technik wurde die Straßenbahn deutlich verbessert und entwickelt und sie überwindet damit die meisten Nachteile von der alten Straßenbahn. Die Belegung der Straßenbahn in Europa hat die chinesischen Städte angeregt, die Straßenbahn wieder in Anbetracht zu ziehen. Tianjin führt einleitend die moderne Straßenbahn 2006 ein, 2007 folgt Shanghai. Städte wie Shenyang, Foshan befinden sich in Bauphase einer Straßenbahn. Mehrere Städte wie Zhuhai und Haikou planen eine moderne Straßenbahn.

3.2 Zusammensetzung, Spektrum und Stufen eines Straßenbahn-systems

3.2.1 Wichtige Elemente eines Systems

Obwohl es in dieser Arbeit um die Straßenbahn in China geht, werden ihre wesentlichen Merkmale in diesem Kapitel im Zusammenhang mit der Umgebung und dem Gesetz in Deutschland beschrieben als Anlehnung, da sich die Straßenbahn in China noch in der Anfangsphase befindet und die Umgebung und Gesetz der Straßenbahn Deutschlands ein gutes Vorbild ist.

- **Straßenbahnwaggon und Zug**

Weil die Straßenbahn am allgemeinen Straßenverkehr beteiligt ist, sind ihre Länge und Breite begrenzt. Gemäß *BOStrab* '81 ist die Straßenbahn 40 bis 60 m lang, maximal zulässig sind 75 m. Die zulässige Breite liegt bei 2,65 m. Das Fassungsvermögen der Fahrzeuge liegt zwischen 150 und 300 Personen [6],[60] Ein Straßenbahnzug besteht aus einem oder mehreren Waggon.

- **Strecken**

Gemäß § 15 Abs.6 *BOStrab* sollen Strecken der Straßenbahn „unabhängige oder besondere Bahnkörper haben“, weil Straßenbahn ihre Aufgabe als Massenverkehrsmittel nur erfüllt wenn sie möglichst unbehindert vom übrigen Verkehr betrieben werden können. Dies ist nicht auf allen Strecken realisierbar. Bei einem zu engen Querschnitt der Straße oder in Fußgängerzonen müssen Abweichungen angepasst werden. Deshalb unterteilt sich Bahnkörper in straßenbündige, besondere und unabhängige Bahnkörper (siehe § 16 Abs.4 *BOStrab*).

- **Haltestelle**

Gemäß §31 Abs.1 bis 4 *BOStrab* müssen Haltestelle „durch Zeichen als solche kenntlich gemacht sein, bei Haltestellen in Hoch- oder Tieflage müssen die Zugänge gekennzeichnet sein“. „Haltestellen sollen Bahnsteige besitzen sowie Wetterschutz und Sitzmöglichkeiten bieten“, „Die Höhe von Bahnsteigoberflächen, Fahrzeugfußboden und Fahrzeugtrittstufen müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass die Fahrgäste bequem ein- und aussteigen können“. Zudem sollen ein Informationssystem und eine Abfertigungseinrichtung an den Haltestellen angelegt werden.

- **Priorität am Knotenpunkt**

Vorrang der Straßenbahn soll durch Lichtsignalfreischaltung am Knotenpunkt vor dem Individualverkehr gewährt werden.

- **Sicherungs- und Betriebsmaßnahmen**

Als ein komplettes System zu dem Betrieb gehören noch Signal-, Energieversorgungs-, Fahrleitungs- und Beleuchtungsanlagen. Denn die Straßenbahn nimmt auf straßenbündigen Strecken am Straßenverkehr teil. Sie wird durch andere Verkehrsträger beeinträchtigt, wobei auch Konflikte entstehen können. Ihr Verkehrsablauf muss deshalb durch Sicherungs- und Betriebsmaßnahmen gesteuert und gesichert werden, damit die Straßenbahnen pünktlich, bequem und gefahrlos fahren können.

- **Linienerrichtung**

Die Straßenbahnlinien decken die ganze Stadtfläche ab, dienen der Stadt als Hauptbestandteil (z. B. in Leipzig und Dresden), ergänzen die U-Bahnen als Nebenstrecken (z.B. Berlin) oder befinden sich nur in wichtigen Korridoren als Hauptverkehrsträger (z. B. Ulm, Würzburg).

3.2.2 Vielfältigkeit der Elemente des Straßenbahnsystems

- **Bahnkörper**

Die Formen der Bahnkörper lassen sich wie folgt unterteilen [75]:

- a) Straßenbündiger Bahnkörper ohne räumliche Trennung vom übrigen Verkehr
- b) Straßenbündiger Bahnkörper mit räumlicher Trennung von den übrigen Verkehrsteilnehmern durch Markierung
- c) Besonderer Bahnkörper mit geschlossenem Oberbau
- d) Besonderer Bahnkörper mit geschottertem Oberbau
- e) Besonderer Bahnkörper mit begrüntem Oberbau

Wichtige Faktoren, die die Bestimmung einer Form der Bahnkörper beeinflussen, sind Geschwindigkeit des ÖPNV, der Überquerungsbedarf, der verfügbare Querschnitt und die straßenraumgestalterischen Ziele [76]

- **Gleis**

Beim straßenbündigen Bahnkörper wird fast immer das Rillenschienengleis verwendet während beim besonderen Bahnkörper sowohl Rillenschienengleis als auch Vignolgleis möglich sind.

- **Haltestelle**

Die Haltestelle ist Eingang und Ausgang zum ÖPNV. Sie muss nach den Anforderungen von Fahrgästen, Betrieb, Technik und Straßenverkehr angelegt werden. Haltestellen können sich entweder in Seitenlage, am Fahrbahnrand oder in Mittellage befinden. Knotenpunkte, Fußgängerüberwege und Fußgängerfurten sind übliche Positionen für die Haltestellenanlage. Die meisten Haltestellen der Straßenbahn liegen in Mittellage, sodass es drei Formen gibt: mit Seitenbahnsteigen, mit Mittelbahnsteigen und mit Zeitinseln [77].

- **Spurweite**

Die Spurweite der Straßenbahn in Deutschland ist unterschiedlich, vorwiegend zwischen 1000 und 1435 mm. Bei der Straßenbahn in Braunschweig beträgt sie 1100 mm und in Leipzig 1458 mm.

- **Bauart**

Die Gleise befinden sich normalerweise im Geländeniveau, teilweise auf besonderen Körpern und in Tunnel- oder Hochlage infolge der speziellen verkehrlichen Situation wie z. B. starke Nutzungskonkurrenz anderer Verkehrsteilnehmer oder ungenügende Platzverhältnisse.

3.2.3 Entwicklungsstufen des Straßenbahnsystems

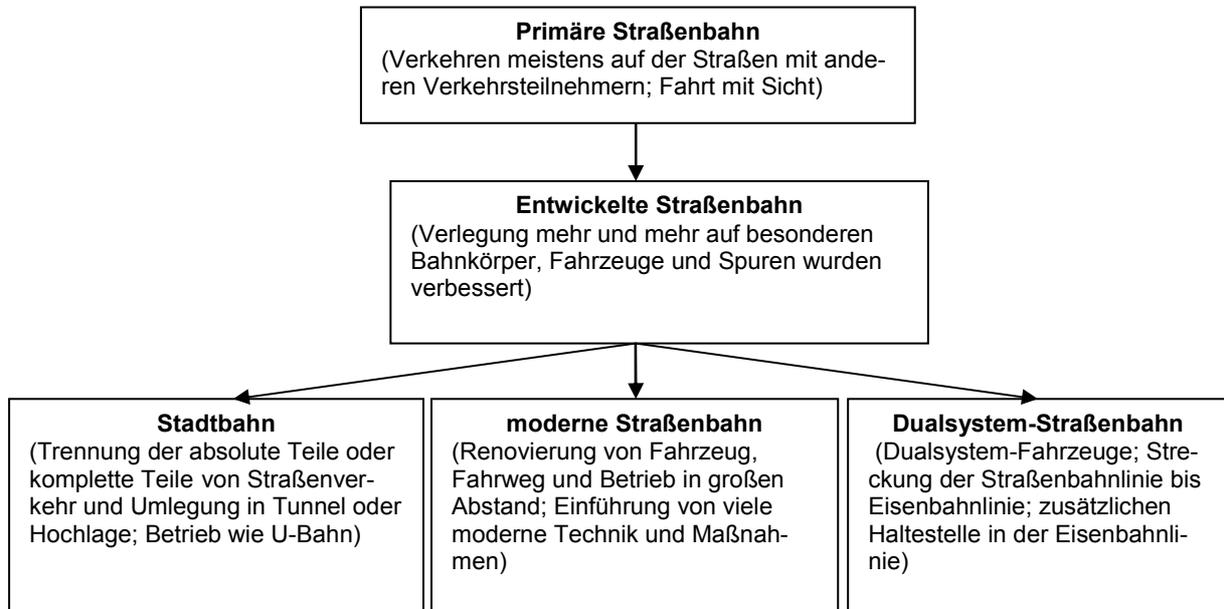


Abbildung 3-3 Entwicklungsphasen der Straßenbahn

Primäre Straßenbahn: in der Anfangszeit fuhr die Straßenbahn meistens mit anderen Verkehrsteilnehmern auf der Straße und nur ein kleiner Teil auf besonderen Bahnkörpern. Die Stromzufuhr erfolgt durch Oberleitungen. Die Geschwindigkeit erreicht ohne Zugsicherung maximal 70 km/h. Infolge der Benutzung des allgemeinen Straßenraums darf die Straßenbahn auf solchen Strecken die lokal genehmigte Obergrenze des MIVs nicht überschreiten. Daher resultiert die Beförderungsgeschwindigkeit von 15 bis 25 km/h [60].

Entwickelte Straßenbahn: hinsichtlich der schnellen Wirtschaftsentwicklung war die Anzahl der Autos rasch gestiegen. Die stetige Zunahme behinderte den Straßenbahnverkehr immer stärker, sodass die Pünktlichkeit und die Zuverlässigkeit stark gesunken sind. Um dieser Tendenz entgegen zu wirken, wurden Straßenbahnen mehr und mehr auf besondere Bahnkörper verlegt. Wenn es die örtlichen Straßenbedingungen erforderten, wurden Teilstrecken der Straßenbahn wie die U-Bahn in einen Tunnel verlegt.

Danach ist Straßenbahn in verschiedene Richtungen entwickelt: Stadtbahn, moderne Straßenbahn, Dualsystem-Straßenbahn.

Stadtbahn: komplette Teile wurden und werden schrittweise vom Straßenverkehr abgetrennt und entweder auf besondere Körper, in einen Tunnel oder eine Hochlage verlegt. Der Charakter der Stadtbahn bewegt sich zwischen dem der Straßenbahn und dem der U-Bahn.

moderne Straßenbahn: Fahrzeug, Fahrweg und Betrieb wurden erheblich renoviert. Die Technik wurde modernisiert und verbessert, z. B. Niederflur-Fahrzeuge, Haltestelle mit dynamischen Fahrgastinformationen und rechnergestützter Betrieb. Dadurch werden die Pünktlichkeit, Zuverlässigkeit, Gemütlichkeit sichergestellt und dadurch erhöht sich die Qualität der Straßenbahn. Bei der modernen Straßenbahn werden keine Strecken in Tunnel oder Hochlage angelegt, jedoch ein großer Anteil wie die Stadtbahn auf besondere Bahnkörper verlegt, um Störungen zu verringern.

Die moderne Straßenbahn unterteilt sich wieder in zwei Arten: Zweischienenstraßenbahn und gummibereifte Straßenbahn. Zweischienenstraßenbahnen fahren mit Stahlrädern auf Gleisen mit zwei Schienen, wie die ursprüngliche Straßenbahnform. Die absolut neue gummibereifte Straßenbahn fährt auf Gummireifen. Die in die Mitte der Fahrbahn angelegte einzige Schiene dient nur als Spurführung. Die beiden sind jedoch mit Strom versorgt. Im diesem Kapitel geht es vorwiegend um Zweischienenstraßenbahn. Wenn die Straßenbahn erwähnt wird, ist die Zweischienenstraßenbahn gemeint. Da gummibereifte Straßenbahnen verhältnismäßig neu sind, gibt es noch keine tieferen Untersuchungen.

Dualsystem-Straßenbahn: Andere Verkehrsmittel wie S-, U-Bahn und Busse stellten für die Straßenbahn eine große Konkurrenz dar. Die Straßenbahn suchte einen neuen Weg, um zu überleben. Eine Stadt, wo dies geklappt hat, ist Karlsruhe. Die Straßenbahn dort darf sowohl im kommunalen Schienennetz als auch auf Strecken der Deutschen Bahn verkehren. Sie muss sowohl die Straßenbahnregel als auch die Schienenregel einhalten und wird deshalb „Dualsystem-Straßenbahn“ genannt. Der Vorteil liegt darin, dass die umsteigefreie Verbindung zwischen stark nachgefragten Außengebieten und der Innenstadt eine auffällige Fahrgastzunahme erzeugt [78].

Die Dualsystem-Straßenbahn besteht aus drei Bestandteilen: 1) einem Zweisystemfahrzeug, das verschiedene Schienenprofile und Stromsystemen bewältigt; 2) einer baulichen Verbindung von Eisenbahnstrecken mit einem kommunalen Straßen- bzw. Stadtbahnnetz; 3) dem Bau zusätzlicher Haltestellen an bestehenden Eisenbahnstecken. An diesen Haltestellen werden die Aufenthalte durch die Beschleunigung der Straßenbahnfahrzeuge bei unveränderter Fahrzeit möglich[60].

Das Straßenbahnnetz der Stadt Gera besteht aus drei Achsen, die das Rückgrat des ÖPNV bilden (siehe Abbildung 3-5). Das Hauptnetz der Straßenbahn wird von Buslinien ergänzt, die die Bereiche außerhalb der Einzugsbereiche der Straßenbahn bedienen und die Grunderschließung realisieren. Bis Ende 2006 betrug die Streckenlänge der drei Straßenbahnlinien 19,1 km. Auf der Trasse wurden Rasengleise angelegt. Der Haltestellenabstand liegt durchschnittlich bei 477 m. Die Linien 1 und 3 wurden radial gerichtet und kreuzen einander. Die Linie 1 verknüpft die Stadtteile „Untermhaus“ und „Zwötzen“. Auf den Verknüpfungstrecken gibt es weitere wichtige Verkehrspunkte wie das Finanzamt, den Hauptbahnhof etc. Die Linie 3 verbindet den Süden und Norden der Stadt. Im Süden befindet sich das große Wohngebiet „Lusan“, in der nördlichen Kernstadt ist das Wohngebiet „Bieblach- Ost,“ der Endpunkt der Linie 3. Entlang der Linie 3 ist ein Siedlungsband. Die Linie 2 bedient als südliche Querverbindung die Haltestellen Lusan/Brüte und den Bahnhof Zwötzen. Alle drei Linien sind in der Tageszeit immer in Betrieb, in der Hauptverkehrszeit fährt die Linie 1 in den 10 Minutentakten und die Linie 3 in den 5 Minutentakten. Im Jahr 2006 betrug die Leistung der Straßenbahn 1.359.074 km, was 31% der Gesamtleistung des ÖPNV entspricht. Als Rückgrat gewinnen die Straßenbahnlinien immer mehr an Bedeutung. Um die Attraktivität und Qualität zu gewährleisten, wurden und werden viele Maßnahmen wie Instandhaltung und Modernisierung des Straßenbahngleisnetzes, Ermöglichung der innerstädtischen ÖPNV-Bevorrechtigung am Knotenpunkt umgesetzt. Ungefähr 75% der Trasse bis Ende 2006 haben einen eigenen Bahnkörper und der Betrieb der Straßenbahn wird auf den meisten Strecken nicht vom MIV beeinflusst. Die Fahrzeuge wurden entweder modernisiert oder es wurden neue Niederflur-Fahrzeuge beschafft [81].

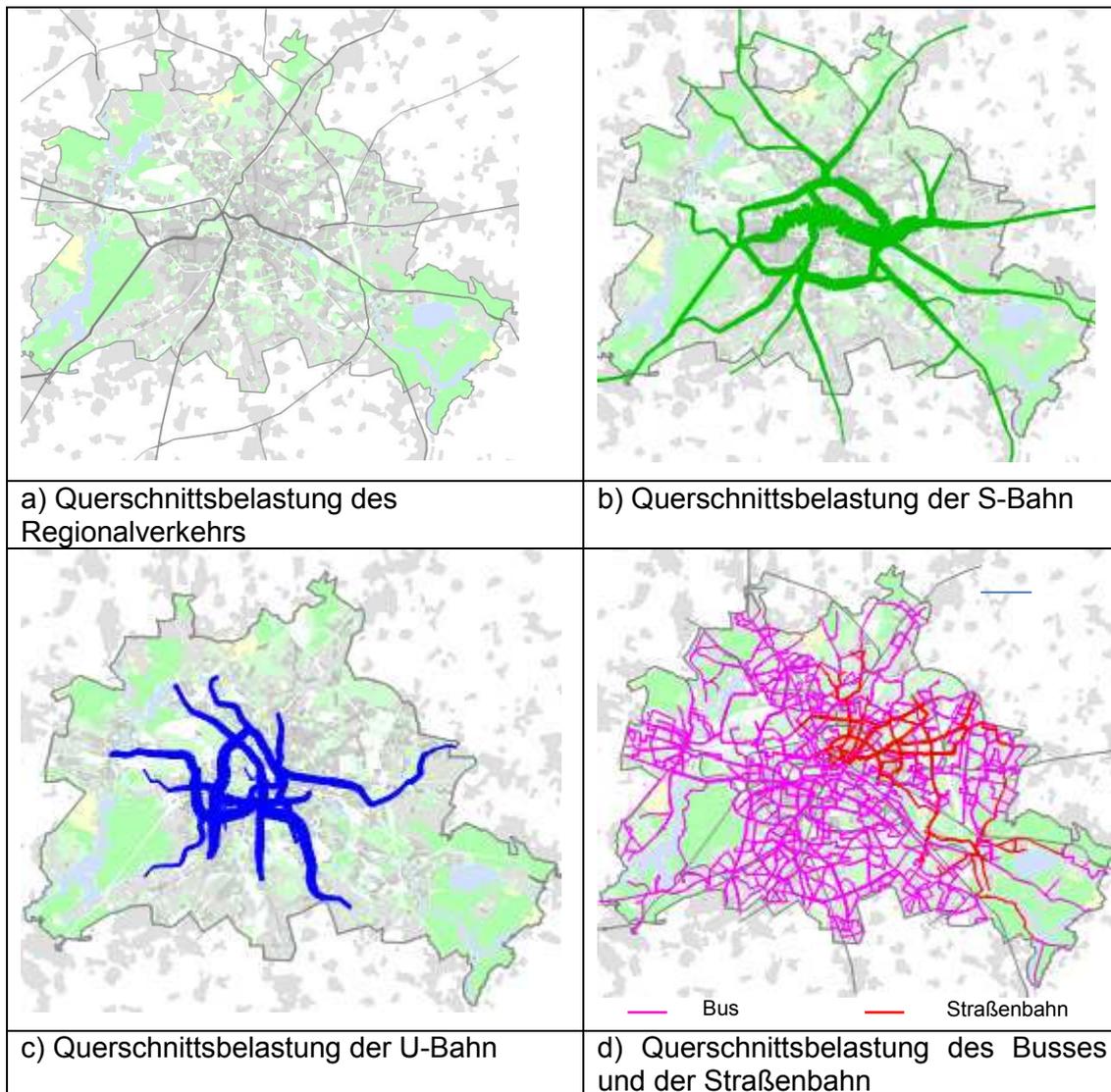


Abbildung 3-6 Querschnittsbelastung des einzelnen ÖV-Systems im Werktagverkehr 2009 in Berlin



Abbildung 3-7 moderne Straßenbahnlinie 8 in Rom

3.3.4 Einzelne Straßenbahn als Pilotlinie

Das alte Straßenbahnsystem wurde in China schnell und fast komplett abgeschafft. Es gibt keine Grundlage für die moderne Straßenbahn. Sie muss als ein neues ÖV-System behandelt werden. Wenn ein neues öffentliches Nahverkehrssystem eingeführt wird, muss es in vieler Hinsicht sorgfältig berücksichtigt und diskutiert werden. Außerdem ist das System dem Publikum fremd. Um zu bestätigen, dass das ÖV-System geeignet für die Stadt und günstig für die Allgemeinheit ist, wird eine Pilotlinie eingebaut und in Betrieb gesetzt. Außerdem sammelt man die Erfahrung (sowohl baulich als auch betrieblich) davon für nachfolgende Linie. Das ist der Fall in den beiden Städten Tianjin und Shanghai, wo erste moderne Straßenbahnlinien in Betrieb sind. In Tianjin werden insgesamt drei Straßenbahnlinien geplant (siehe Abbildung 3-8). Bisher ist nur die Linie 1 gebaut und in Betrieb genommen. Sie funktioniert als die Pilotlinie.

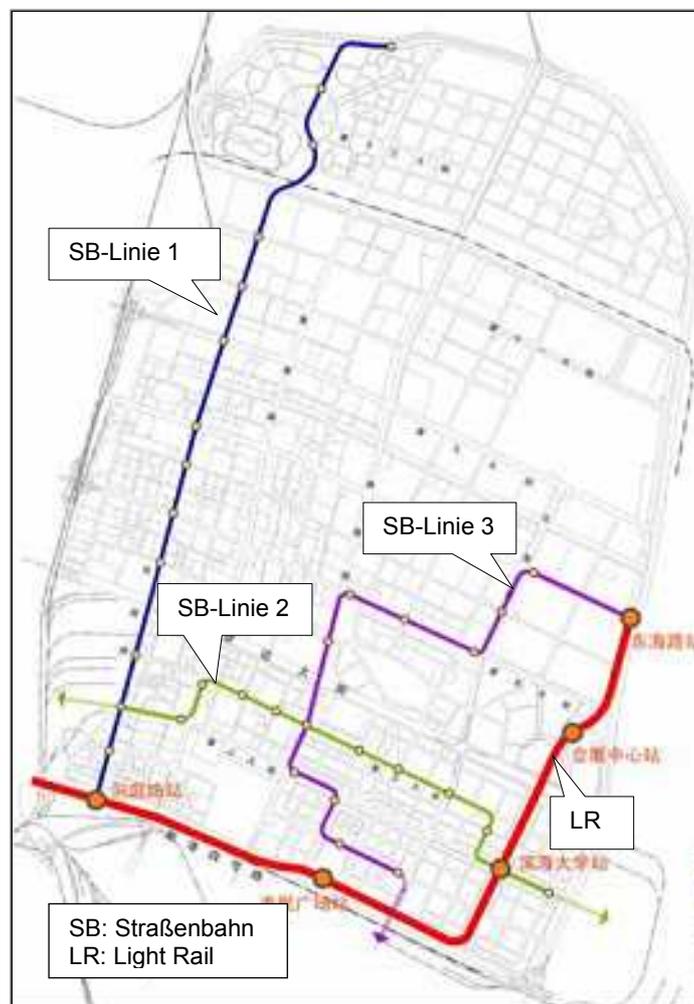


Abbildung 3-8 geplante Straßenbahnlinien in Tianjin [83]

3.3.5 Bedeutungen der Straßenbahn in dem gesamten ÖPNV-System

Straßenbahnen führen ursprünglich nur auf in der Straße verlegten Gleisen als innerstädtisches Verkehrsmittel oder als Überlandstraßenbahn. Die Straßenbahn kann sowohl großen Städten als auch mittleren und kleinen Städten dienen. Die Funktion ist aber unterschiedlich. In großen Städten ist die Straßenbahn als Ergänzung zur U- oder S-Bahn, in mittleren und kleinen Städten ist sie als Grundgerüst oder Rückgrat des ÖPNV anzusehen.

Europa hat die gesamte Geschichte der Straßenbahn erlebt. Die Straßenbahn war aus der Stadt verschwunden wegen seiner Schwäche (Erschütterung und Geräusch) und starker Konkurrenz mit dem Kraftfahrzeug. Erste schwere Verkehrsstau und Umweltschädigung von Kraftfahrzeug verursacht werden, ist das Straßenbahnsystem wiederbelebt. Das neue Straßenbahnsystem hat aber eine erhebliche Verbesserung in der Infrastruktur und Technik. Es bekommt eine gute Entwicklung in Europa v.a. in Frankreich und Deutschland. In China setzt es nun in eine Probephase. Große Städte Tianjin und Shanghai in China haben jeweils eine Straßenbahnlinie in Betrieb. Mehrere mittelgroße Städte haben Straßenbahn geplant oder in Bau gesetzt.

Die Straßenbahn kann das Wachstum und die Planung der Stadt beeinflussen und bildet ein Gerüst für die Stadtentwicklung. Sie transportieren viele Fahrgäste auf einmal und nutzt Strom als Energie. Somit ist sie ein umweltfreundliches ÖPNV-System.

Im ÖPNV-System spielt die Straßenbahn eine besondere Rolle. Im Vergleich mit konventionellem Bussystem ist sie deutlich besser geeignet als Rückgrat des ÖPNV. Und Straßenbahn hilft noch der Entstehung des modernen Stadtbilds und des Umweltschutzes. Die auf der Straße angelegte Straßenbahn veranlasst die Umstellung der Straßenressource und verbessert das Stadtimage. Die integrierte Planung und Bau von Straßen und Straßenbahnlinie verbessern eine Stadt als Ganzes. Solche Nutzungen gibt es bei unterirdischen Schienenlinien nicht. Außerdem mit der ebenerdigen Straßenbahn haben die Fahrgäste eine schöne Aussicht auf die Stadt. Diese Charaktere von der Straßenbahn ziehen die Fahrgäste, die selten am ÖPNV teilnehmen, an.

3.4 Positive und negative Seiten der Straßenbahn

Die Straßenbahn vereint viele Eigenschaften. Zu den positiven gehört das, z. B. schnell, pünktlich, zuverlässig, sicher, umweltfreundlich, sauber. Der Zug der Straßenbahn ist sauber, komfortable, barrierefrei. Deren Fahrplan ist klar und bedarfsgerecht und der Betrieb ist wirtschaftlich. Aber andererseits fährt die Straßenbahn auf Schienen, ist damit nicht flexibel. Deren Oberleitung ist gewissermaßen eine Störung der Sicht und der Einbau ist relativ teuer.

3.4.1 Positive Seiten der Straßenbahn

Die Straßenbahn ist aufgrund ihrer vielen Vorteile ein konkurrenzfähiges System im ganzen ÖPNV.

- **Hohe Beförderungskapazität**

Die Kapazität der Straßenbahn liegt zwischen 150-250 Fahrgästen und ist damit deutlich größer als die eines normalen Busses(50-80 Fahrgäste). Die tatsächliche Beförderungsleistung beträgt 3000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung. Theoretisch könnten bis zu 30.000 Fahrgäste pro Stunde und Richtung befördert werden [64],[84].

- **Hohe Geschwindigkeit und kurze Reisezeit**

Je größer der Anteil von unabhängigen oder besonderen Bahnköpern bei der Straßenbahn ist und je häufiger sie an signalgesteuerten Kreuzungen Vorfahrt hat, desto wahrscheinlicher ist es, dass die Straßenbahn eine hohe Geschwindigkeit erreicht. In Bordeaux ist dies so und die durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeit beträgt dort 21 km/h [85]. Die Straßenbahn fährt in dichtem Takt und die Wartezeit ist kurz, sodass die Reisenden ihr Ziel schnell erreichen können.

- **Gute Erreichbarkeit und Zugänglichkeit**

Die Straßenbahn kann aufgrund ihres sehr kleinen Wend-radius (Mindesthalbmesser von 25 m) [76] nahezu um jede Ecke und in jede Gasse fahren. Aus diesem Grund kann sie leichter als andere Verkehrsmittel nah an wichtigen Nachfragequellen liegen. Die Straßenbahn besitzt vorwiegend ebenerdige Haltestellen, die eng aneinander liegen und dadurch einen kurzen Fußweg haben.

- **Guter Komfort, Sicherheit und Barrierefreiheit**

Infolge des schienengebundenen Fahrens und der geringen Änderung der Beschleunigung fährt die Straßenbahn stabil. Durch den Einsatz moderner und leiser Fahrzeuge nimmt der Komfort zu. Die kurzen barrierefreien Wege von und zur Haltestelle einschließlich des Einsatzes von Hochbahnsteigen oder Niederflur-Fahrzeugen erleichtern die Mobilität von Menschen mit Behinderungen.

- **Günstige Betriebskosten**

Die Straßenbahn kann bei gleicher Nachfrage mehr Fahrgäste auf einmal befördern als der Bus. Wenn das Fahrgastaufkommen in einem bestimmten Zeitraum sehr stark ist, können an den Triebwagen ein bis zwei Beiwagen angehängt werden. Dadurch werden Personalkosten eingespart und die Betriebskosten eindeutig gesenkt.

- **Vernetzung und gute Integration**

Relativ niedrige Kosten und ein schneller Bau von Straßenbahnen gegenüber schnellem Schienenverkehr ermöglichen Vernetzung und Verzweigung. Die oberirdische Streckenführung innerhalb urbaner Gebiete gewährt ohne großen Aufwand einen leichten Anschluss mit anderen Verkehrsmitteln (Bus, U- und S-Bahn).

- **Umweltfreundlichkeit**

Der Betrieb der Straßenbahn ist elektrisch und damit vor Ort emissionsfrei. Der Energieverbrauch für die gleiche Verkehrsleistung ist erkennbar geringer durch ihren leichten Rollwiderstand zwischen Stahlgleisen und -rädern. Der elektrische Antrieb und die hohe Beförderungskapazität führen zu einem hohen Energieausnutzungsgrad. Die Bremsenergie kann zurückgespeist werden, sodass Energie nicht in Wärme umgewandelt wird und verloren geht [64].

- **Wirkung auf die Stadt**

Die Anwesenheit der Straßenbahn im öffentlichen Raum bewirkt die Aufwertung der Immobilien und des Einzelhandels.

3.4.2 Negative Seiten der Straßenbahn

- **Niedrigere Geschwindigkeit und lange Fahrzeit**

Da sich die Straßenbahn teilweise die Straße mit den Autos teilt oder in der Fußgängerzone fährt, kann ihre Geschwindigkeit niedriger als die des Busses (wenn diese eine Busspur haben) sein. Die Höchstgeschwindigkeit begrenzt sich auf 50 km/h und die Fahrzeit ist damit deutlich länger als im Vergleich mit U- und S-Bahn.

- **Hohe Investition bei Bau der Infrastruktur**

Die Investition von einem Straßenbahnsystem ist eindeutig teurer als z.B. beim Bus.

- **Störung der Sicht**

Die Straßenbahn wird durch Oberleitungen gespeist. Die Oberleitung und Masten wurden in einigen empfindlichen Orten als Störung der Sicht und Schönheit angesehen. Das ist ein vorwiegender Grund, weshalb die Straßenbahnen in China fast völlig abgeschafft wurden. Abbildung 3-9 und 3-10 sind zwei Fotos von Oberleitungen der Straßenbahnen in Leipzig und Nürnberg. Es ist technisch möglich, dass die Straßenbahn ohne Oberleitung durch induktive Aufladung mit Strom versorgt werden kann. Aber diese Technik ist teuer und noch nicht ausgereift. Daher ist sie bisher nicht verbreitet.



Abbildung 3-9 Oberleitung der Leipziger Straßenbahn am Hauptbahnhof



Abbildung 3-10 Oberleitung von einer Nürnberger Straßenbahnlinie

- **Verborgene Gefahr**

Gegenüber dem geschlossenen und schnellen Schienenverkehr sind die Bahnkörper von Straßenbahnen bei straßengebundenen Strecken und Haltestellen überquerbar. Damit entsteht das Risiko, die Fußgänger oder Autos zu überfahren oder mit dem Fahrrad im Rillengleis stecken zu bleiben. Nach Angabe des Tagesspiegels starben in Berlin 15 Menschen seit 1997 an der Straßenbahnstrecke entlang der Osloer Straße und Seestraße trotz aller Sicherungsmaßnahmen [86].

4 Vergleichende Analyse des BRT- und Straßenbahnsystems

Aus dem zweiten und dritten Kapitel wurde ersichtlich, dass der BRT und die Straßenbahn zum schnellen und mittel-kapazitiven ÖPNV gehören und viele Ähnlichkeiten in Bezug auf Funktion, Investition und Umweltschutz usw. haben. BRT und Straßenbahnen erfahren eine verschiedene Aufmerksamkeit und Anwendung in den verschiedenen Regionen und Städten. BRT ist in Nord- und Südamerika und Asien weit verbreitet während die Straßenbahn hauptsächlich in Europa zu finden ist. Warum gibt es diesen Unterschied? Welche Ähnlichkeiten und Unterschiede haben die beiden schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme? Was sind die Vor- und Nachteile von den beiden?

In diesem Kapitel beabsichtigt die Autorin, BRT- und Straßenbahnsysteme anhand von fünf Bereichen wie technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltbelastung, Betrieb und Management und Anpassungsmöglichkeiten umfassend und detailliert zu vergleichen. Sie analysiert darüber hinaus ihre jeweiligen Stärken, Schwächen und passenden Bereiche, um die Grundlage für den Vergleich und die Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Systeme zu bieten.

4.1 Gegenstände der Studie

BRT und Straßenbahnen wurden durch einen Prozess nach und nach entwickelt, zeigten verschiedene Formen in unterschiedlichen Stadien der Entwicklung. Daher ist es notwendig, den Verlauf der Entwicklung von BRT und Straßenbahn im Rückblick zu schildern.

Die Entwicklung des BRT ist ein gradueller Prozess (siehe aus Abschnitt 2.2.3), vom Embryonalstadium über das primäre Stadium bis zum mittleren Stadium und hohen Stadium. Der Prozess wird in Abbildung 4-1 gezeigt. Unter ihnen: Die große Mehrheit der BRT-Manifestationen befindet sich aktuell im mittleren Stadium.

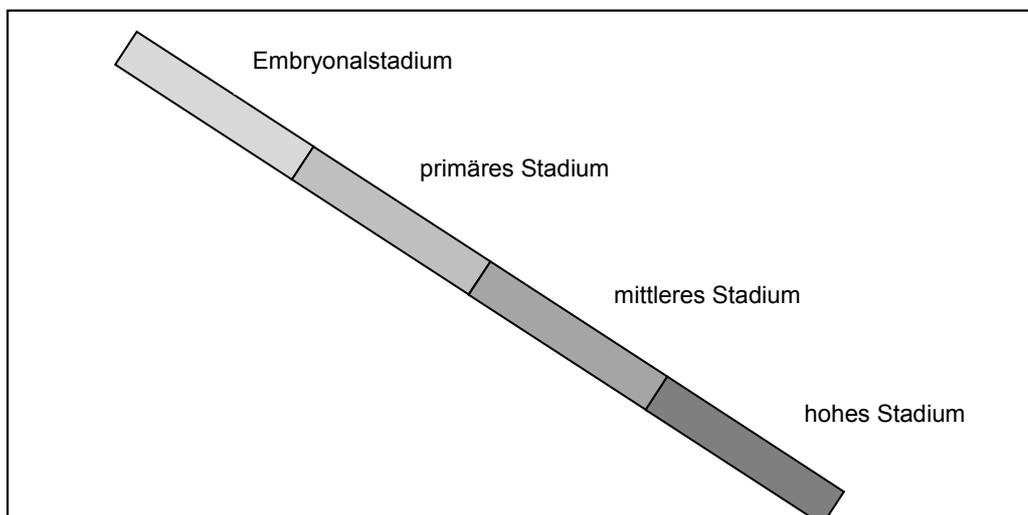


Abbildung 4-1 Entwicklungsprozess des BRT

Die Entwicklung der Straßenbahn ist länger und komplexer als der Entwicklungsprozess des BRT. Während ihrer kontinuierlichen Entwicklung entwickelt sich die Straßenbahn in verschiedenen Richtungen (siehe auch Abschnitt 3.2.3), wie in Abbildung 4-2 zu sehen ist. Die Straßenbahn erlebt drei Phasen: primäres Stadium, mittleres Stadium und Evolutionsstadium. In dem primären Stadium verkehren die Straßenbahnen mit anderen Verkehrsmitteln gemischt auf der Straße. Mit der Erfindung und Entwicklung des Autos wurden einige Verbesserungsmaßnahmen der Straßenbahn bei der Einrichtung der besonderen Bahnkörper und der Verbesserung von Betrieb und Management gemacht, um die Straßenbahn besser an das interegrierte öffentliche Verkehrssystem anzupassen und wenig auf MIV zu wirken. Solche Maßnahmen wie z. B. eigene Fahrspuren werden in Abschnitten mit starken Verkehrsflüssen eingesetzt; Fahrzeug und Schienentechnologie werden ständig aktualisiert; die Ausstattung und der Betrieb der Straßenbahn werden Schritt für Schritt vervollkommen. Nachdem sich mehr und mehr Wohnungen und Geschäfte entlang Straßenbahnlinien niederlassen, ist die Nachfrage somit ständig angestiegen. Dann entwickelte sich die Straßenbahn weiter in drei verschiedene Richtungen. Die erste Richtung wird Stadtbahn oder „Light Rail“ genannt: Die Straßenbahn auf hoch belastete Straßenstrecke wurde wegen starker Konkurrenz mit Kraftfahrzeug in den Untergrund oder auf das Viadukt drängt. Der Anteil der unterirdischen oder hochgelegten Strecke nahm zu, bis Straßenbahn komplett unterirdisch oder hoch verlegt wird. Das ist die Evolution der Straßenbahn zur Stadtbahn. Die zweite Richtung ist die moderne Straßenbahn. Die meisten Linien sind mit einer eigenen Fahrspur versehen, sodass die Störungen von anderen Verkehrsmitteln vermindert werden können. Die dritte Richtung ist die Dualsystem-Straßenbahn. Diese Art bindet die bestehenden Straßenbahnlinien und Eisenbahnen, nutzt Dualsystem-Fahrzeuge, welche sowohl dem Straßenbahnstandard, als auch dem Eisenbahnstandard gerecht werden, sodass die Fahrgäste ohne Umsteigen vom Stadtzentrum ins Umland gelangen können. Die Entwicklung der Dualsystem-Straßenbahn muss drei Bedingungen erfüllen: Dualsystem-Fahrzeuge; Verlängerung der Straßenbahnlinie bis zur Eisenbahnlinie; zusätzliche Haltestelle in der Eisenbahnlinie. Alle drei Arte setzen eine Reihe von technischen Verbesserungen und betrieblichen Modernisierungen wie Niederflur-Fahrzeuge, Haltestelle mit Fahrgastinformation voraus, sodass die Fahrt mehr und mehr pünktlich, zuverlässig und komfortabel wird.

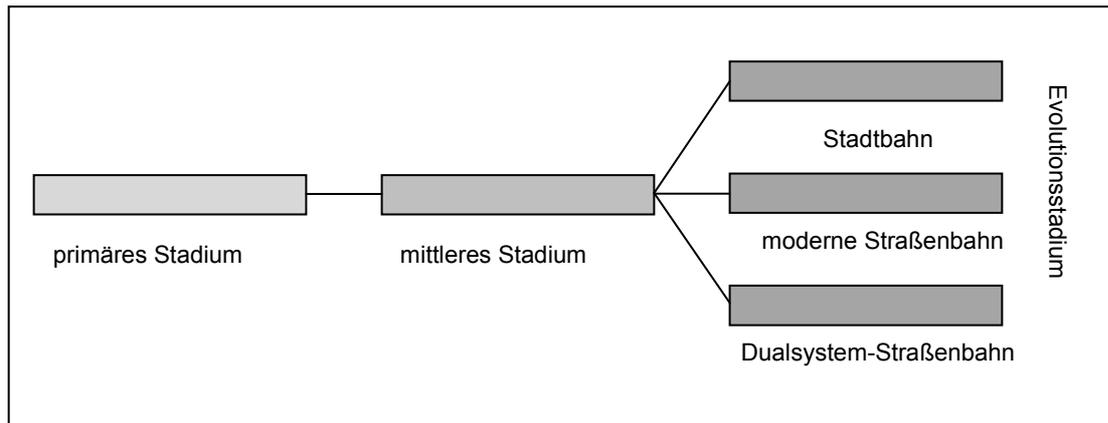


Abbildung 4-2 Evolutionsprozess der Straßenbahn

Im Laufe der Entwicklung des BRT und der Straßenbahn ist die Bedienung des BRT-Systems wirksam in der Mittelstufe. Wenn BRT an dem fortgeschrittenen Stadium entwickeln möchte, nämlich komplette gesonderte Fahrspur und geschlossene Haltestellen und höchste Bedienungsqualität usw., muss die Stadt starke Wirtschaftskraft aufweisen und eine größere Investition erfolgen. Nicht alle Straßen in einer Stadt sind stark befahren. Die Bedeutung der Einrichtung der gesonderten Fahrspur auf Straßen mit schwachem Verkehrsfluss ist gering. So ist das Mittelstufe-BRT schon in der Lage, den Bedarf aus der tatsächlichen Nachfrage und wirtschaftlicher Sicht zu erfüllen. Deshalb ist es nicht notwendig, hohes Stadium zu erreichen. Hingegen entwickelt sich die Mehrheit der Straßenbahn in Richtung auf die Stadtbahn und moderne Straßenbahn und nur wenig zur dritten Richtung Dualsystem-Straßenbahn. Aus der europäischen Erfahrung können die modernen Straßenbahnen durch die Nutzung eines besonderen Bahnkörpers auf speziellen Streckenabschnitten, durch eine fortschrittlichen Technologie und ein modernes Management ohne den Bau von Tunneln, Viadukten und anderen kostspielige Infrastruktur die Eigenschaften wie Schnelligkeit und große Leistungsfähigkeit erreichen, gleichzeitig wird die Nachfrage gestillt und es werden Kosten gespart. So wurden die sich in einem ähnlichen Stadium befindlichen BRT- und Straßenbahnsysteme nach deren Status quo und Entwicklungstendenz als Forschungsgegenstände gewählt und verglichen: Mittelstufe-BRT und die moderne Straßenbahn, wie in Abbildung 4-3 gezeigt.

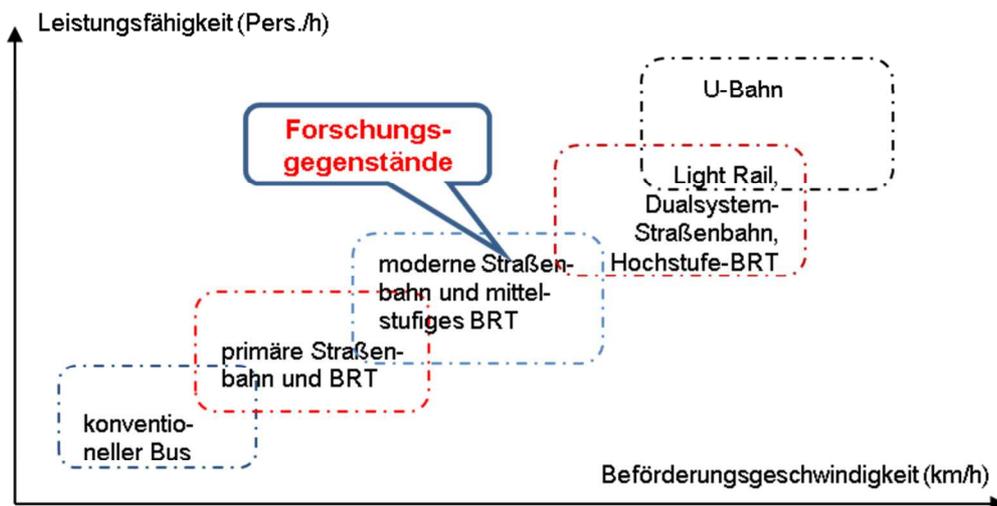


Abbildung 4-3 Einordnung der Untersuchungsgegenstände

4.2 Gedanken der vergleichenden Analyse

Die Entscheidungsträger des öffentlichen Nahverkehrs sollten i.a. die erwarteten Ziele und wesentlichen Merkmale von Verkehrssystem im Entscheidungsprozess bei der Wahl eines Verkehrsmodells festhalten. Folgende erwartete wichtige Ziele sollen berücksichtigt werden: (1) Maximierung der Anzahl der Fahrgäste, sodass der Verkehrsstau reduziert, Luftqualität verbessert und Energie eingespart wird; (2) Minimierung der Baukosten und Betriebskosten; (3) Maximierung der politischen Unterstützung, wodurch es leichter ist, finanzielle Unterstützung und Beteiligung der Öffentlichkeit zu bekommen.

Die erwarteten technischen Merkmale des Verkehrssystems sind: (1) Länge, (2) Geschwindigkeit, (3) Erreichbarkeit der städtischen Zentren, (4) Taktfolge des Dienstes, (5) Leistungsfähigkeit etc.

Um den Verkehrsentscheidungsträgern die Entscheidungsgrundlage anzubieten, sollen der Inhalt und Umfang des Vergleichs und der Auswahl des schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems von den von Entscheidungsträgern erwarteten Zielen und technischen Eigenschaften des Systems festgelegt werden. Die von Entscheidungsträgern erwarteten Ziele und wesentlichen technischen Eigenschaften des Systems sollen betrachtet, sortiert und klassifiziert werden. Die Autorin vergleicht und analysiert BRT und Straßenbahn detailliert und umfassend in Bezug auf technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management und Anpassungsmöglichkeiten. Die wesentlichen Vergleichsbereiche sind wie in Abbildung 4-4 dargestellt:

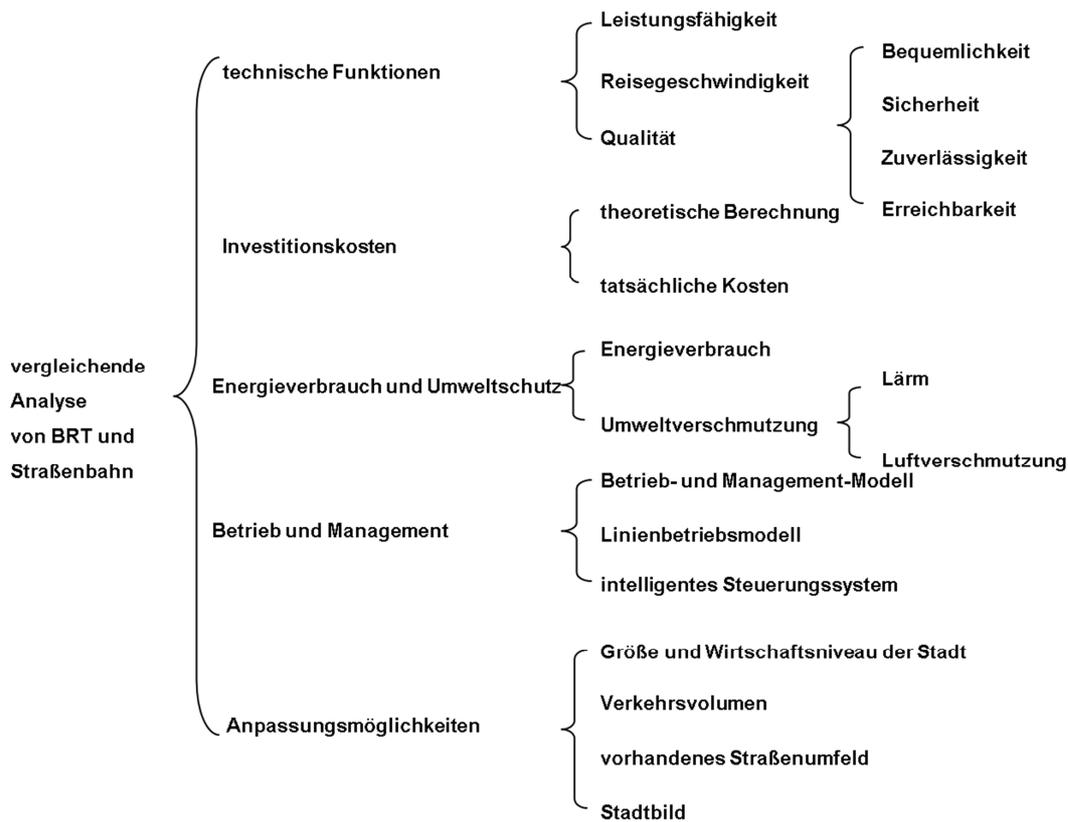


Abbildung 4-4 wesentliche Vergleichsbereiche von BRT und Straßenbahn

Im echten Betrieb sind die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme unterschiedlich und zeigen wegen verschiedener Beeinflussungsfaktoren unterschiedliche Leistungen und Eigenheiten. Um den Vergleich vernünftiger und überzeugender zu werden, übernimmt die Arbeit die Methode der Kombination quantitativer und qualitativer Analyse nach der Eigenschaft der BRT- und Straßenbahnsysteme. Einige Indikatoren (wie Leistungsfähigkeit, Reisegeschwindigkeit, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltverschmutzung usw.) werden durch theoretischen Berechnungen und tatsächlichen Vorgänge quantitativ verglichen. Bei theoretischen Berechnungen lässt sich die Rechnungstheorie klar beschreiben und lassen sich bestimmte Bedingungen annehmen, sodann die Werte der einzelnen Indikatoren des BRT und der Straßenbahn zu berechnen sind. Bei tatsächlichen Betriebsfällen werden Leistungswerte von BRT- und Straßenbahnsysteme in vielen Städten angesammelt und aus diesem Grund werden Erfahrungswerte abgeleitet. Die jeweiligen Vor- und Nachteile des BRT und der Straßenbahn werden durch den theoretischen und praktischen Vergleich bestimmt. Einigen Indikatoren (wie z. B.: Servicequalität, Anpassungsmöglichkeit, Betrieb und Management etc.) lassen sich nur qualitative beschreiben und aus der Perspektive des realen Betriebs analysieren und vergleichen.

4.3 Vergleich der technischen Funktion

Die technische Funktion ist der kritischste Einflussfaktor bei dem Vergleich und der Auswahl von BRT und Straßenbahn. Denn deren Indikatoren entscheidet, ob ein Verkehrssystem den grundlegenden Anforderungen von einem Korridor in einer Stadt entspricht. Nur solche Verkehrssysteme sind kompetent, sich zur Auswahl zu stellen.

Bei technischen Funktionen sind v.a. Beförderungsfähigkeit, Reisegeschwindigkeit und Servicequalität zu berücksichtigen.

4.3.1 Vergleichende Analyse der Leistungsfähigkeit

Für ein öffentliches Nahverkehrssystem muss zunächst die Leistungsfähigkeit in der Lage sein, die Verkehrsnachfrage in einem Korridor der Stadt gerecht zu gewährleisten. Die Leistungsfähigkeit bezieht sich auf die maximale Anzahl der Fahrgäste einer ÖV-Linie an einem bestimmten Querschnitt in einer Richtung in Spitzstunde unter bestimmten äußeren Umgebungsbedingungen und Nachfrageschema und unter Eingrenzung von Betriebsart und Servicelevel. BRT und Straßenbahn haben eine ähnliche Servicequalität, aber deren Eigenschaften sind unterschiedlich. Deshalb ist der Fokus bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit nicht der gleiche und es sind daher unterschiedliche Berechnungsmethoden zu verwenden.

4.3.1.1 BRT-Leistungsfähigkeit

(A) Theoretische Berechnung

Für das öffentliche Nahverkehrssystem betrachtet man nicht das größte Fahrzeug- oder Personenverkehrsvolumen, sondern die beförderbaren Fahrgastzahlen unter dem akzeptablen Servicelevel. Wichtige Einflüsse auf Leistungsfähigkeit sind folgende:

- Verkehrsstörungen durch andere Verkehrsteilnehmer;
- Verzögerung durch das Ein- und Aussteigen der Passagiere;
- Signalverlustzeit;
- Haltezeit an höchstbelasteten Haltestellen (auch Station genannt),
- Fahrzeugkapazität.

Jeder von diesen Faktoren kann ein Engpass der Leistungsfähigkeit eines Nahverkehrssystems werden. Der Mittelstufe-BRT besitzt einen erheblichen Anteil an eigenen Fahrspuren, dadurch sind Störungen anderer Verkehrsteilnehmer zu Mittelstufe-BRT maximal eliminiert. Gut gestaltete Haltestelle, Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs und Niederflurfahrzeuge senken maximal die Verzögerung durch das Ein- und Aussteigen der Passagiere von Mittelstufe-BRT an der Haltestelle. Da Mittelstufe-BRT Priorität an den Kreuzungen hat, kann sichergestellt werden, dass Mittelstufe-BRT so kurz wie möglich an der Kreuzung bleibt und auch möglichst schnell durch den Schnittpunkt durchfährt. Wenn

sich an einer Kreuzung zwei BRT-Linien kreuzen, bekommt die Hauptlinie die Priorität vor der Nebenlinie. Wären die kreuzenden BRT-Linien gleichrangig sind, würde sich keine Priorität ergeben. Solche Fälle sind eher selten. Daher verbleiben nur zwei Faktoren übrig, welche die Beförderungsfähigkeit von Mittelstufe-BRT entscheidet: Haltezeit an höchstbelasteten Haltestellen und Fahrzeugkapazität.

Die Leistungsfähigkeit einer BRT-Linie ergibt sich in Abhängigkeit von der Kapazität des Fahrzeugs, dem durchschnittlichen Auslastungsgrad in der Hauptverkehrszeit sowie der Bedienungsfrequenz an der Station [4]:

$$Q = C \times m \times f \quad 4-1$$

mit: Q die Leistungsfähigkeit einer BRT-Linie [Pers./h/Richtung]

C Kapazität des Fahrzeugs [Pers./Fz]

m durchschnittlicher Auslastungsgrad eines Fahrzeugs bei Spitzenzeit[-]

f Bedienungsfrequenz an der Station [Fz/h]

Bedienungsfrequenz an der Haltestelle oder Station errechnet sich wie folgt:

$$f = N f_h \quad 4-2$$

mit: N effektive Anzahl der Haltepositionen in einer Station

f_h durchschnittliche Servicefrequenz der Haltepositionen in einer Station

1 Kapazität des Fahrzeugs

BRT-Systeme in China nutzen überwiegend 12 m und 18/18.5 m lang Großraum-Busse. Deren Kapazitäten sind in Tabelle 4-1 gezeigt.

Tabelle 4-1 Kapazität von BRT-Fahrzeug

Art	Länge [m]	Kapazität [Pers.]
Standard-Bus	12	70-80
Gelenkbus	18/18.5	150-180

2 Auslastungsgrad

Der Auslastungsgrad in Prozent ergibt sich aus der Anzahl der Fahrgäste in einem Fahrzeug geteilt durch die Kapazität eines Fahrzeugs und ist ein wichtiger Indikator, um den Servicelevel von öffentlichen Verkehrsmitteln zu messen. Der Auslastungsgrad von einem BRT-System wird durch die Servicefrequenz und Nachfrage bestimmt. Wenn die geplante Frequenz dieser Linie oder konkurrierender OV-Linie geändert wird, lässt sich der Auslastungsgrad der Linie auch ändern. Der Auslastungsgrad in der Hauptverkehrszeit ist offensichtlich höher als in anderen Zeiträume. Der Auslastungsgrad soll sich in einem angemessenen Bereich befinden. Wenn die Auslastung zu hoch ist, steigt zwar scheinbar der Gewinn, das Sys-

tem wird jedoch ineffizient und verzögert sich. Außerdem ist der Innenraum extrem überfüllt, die Qualität sinkt, Fahrgäste fühlen sich nicht angenehm, was sich auf den Systembetrieb negativ auswirkt. Der Auslastungsgrad des BRT in der Stadt Zhengzhou erreicht beispielsweise 108% während der Hauptverkehrszeiten. Übermäßiges Gedränge bewirkt einen starken Rückgang in der Qualität und eine Zunahme der Beförderungszeit. Ist der Auslastungsgrad allerdings zu niedrig, wird die Leistungsfähigkeit des Systems nicht ausgenutzt und die öffentliche Ressource verschwendet. Betrachtet man den Auslastungsgrad des BRT in Städten, in denen dieser eingesetzt wird, erreicht er beim typischen BRT-System TransMilenio in der Stadt Bogotá 80 % im Maximum und 70 % durchschnittlich in der Hauptverkehrszeit. Der maximale Auslastungsgrad in chinesischen Städten wird in Abbildung 4-5(Grunddaten sind aus [87]) gezeigt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der höchste Auslastungsgrad von 108 % in der Stadt Zhengzhou erreicht wird, der niedrigste von 26 % in der Stadt Zaozhuang. Durchschnittlich beträgt der Auslastungsgrad 70 %. Nach den Ergebnissen von Forschern in China [19] bezüglich der Auslastungsgrade und Betriebsniveaus urteilt die Verfasserin der Arbeit, dass die Auslastungsgrade 100 % nicht überschreiten und durchschnittlich größer als 70 % sein sollten.

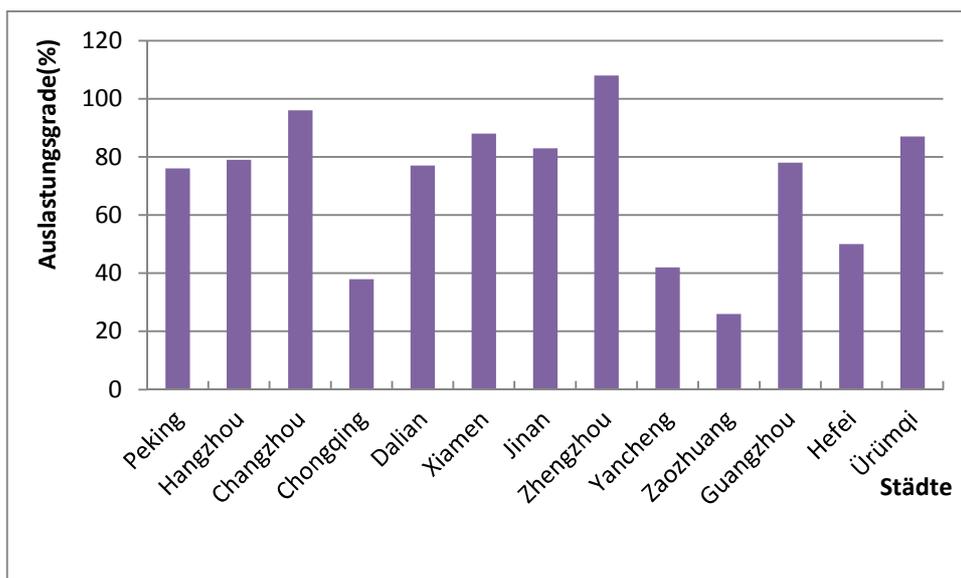


Abbildung 4-5 Auslastungsgrade der chinesischen Städte in der Spitzzeit

Hinweis: BRT in Stadt Kunming wurde nicht in die Statistik aufgenommen, da das System nicht mittelstufiges BRT ist und somit im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet wird.

3 Servicefrequenz

Servicefrequenz entspricht der Fahrzeugmenge im Durchschnitt in einer Zeiteinheit (z. B. pro Stunde). Sie hängt i.d.R. von dem Fahrgaststrom und seinem Charakter ab und wirkt sich auf die Wartezeit der Fahrgäste aus. Ihr Wert sollte innerhalb eines angemessenen Bereichs gesteuert werden. Wäre die Frequenz zu hoch, würde die Wartezeit zwar kurz werden, der Auslastungsgrad wäre aber geringer, die Betriebskosten würden sich erhöhen und die Erträge verringern. Dies schadet der nachhaltigen Entwicklung des ÖV-Systems. Wäre die Fre-

quenz umgekehrt zu niedrig, würde sich die Wartezeit verlängern. Die Fahrgäste können sich mit langer Fahrzeit abfinden, nicht aber mit langer Wartezeit. Wenn die Wartezeit außerhalb der Toleranz von Passagieren ist, verlassen sie sich nicht mehr auf dieses ÖV-System, sondern wählen stattdessen andere Verkehrsarten. Die Attraktivität von diesem ÖV-System nimmt ab und verhindert so die gesunde Entwicklung des ÖVs. Es gibt einige Richtwerte, die die tolerante Wartezeit angeben: „Wartezeiten beim Umsteigen dürfen im Regelfall 10 Minuten nicht überschreiten“, „Verbindungen, deren Wartezeiten beim Umsteigen über 20 Minuten liegen, können nicht als Verbindungen zur Erfüllung der Verbindungsstandards gewertet werden“ [88].

Nach Angaben der ITDP-Statistik liegt die Taktfolge von BRT-Systemen i.d.R. 1 bis 1,5 Minuten in einer Richtung in der Hauptverkehrszeit [4]. BRT-Bahnen sind in China meistens eine Spur in jeder Richtung. Die maximale Frequenz von BRT-System ist von der Servicefrequenz an der beschäftigten Station beschränkt. Sie passiert normalerweise in der Hauptverkehrszeit in den Stadtzentren. Nach Recherchen [89], [4] ist die maximale Servicefrequenz des BRT an der Station in und außerhalb von China 60 Fz/h/Richtung. Die maximalen Frequenzen der BRT-Systeme in der Spitzstunde in den Stadtzentren der chinesischen Städte werden in Abbildung 4-6 veranschaulicht. Man sieht in der Abbildung, dass die BRT-Frequenz in der Spitzstunde in Guangzhou ungewöhnlich hoch ist. Sie liegt bei 350 Fz/h/Richtung, 4 bis 10 Mal höher als dies in den anderen chinesischen Städten, Es sind nämlich 33 Buslinien in einem BRT-Korridor integriert. Hingegen ist sie in Chongqing nur 16 Fz/h/Richtung, denn das BRT ist dort nicht so gut gestaltet. Da die Werte in den beiden Städten so weit vom Mittelwert abweichen, wurden diese bei der Analyse nicht mit einbezogen. Die durchschnittliche Frequenz von BRT-Systemen in den Innenstädten in China zu Spitzenzeiten beträgt 60 Fz/h/Richtung. Dieser Wert wird den folgenden Analysen zugrunde gelegt.

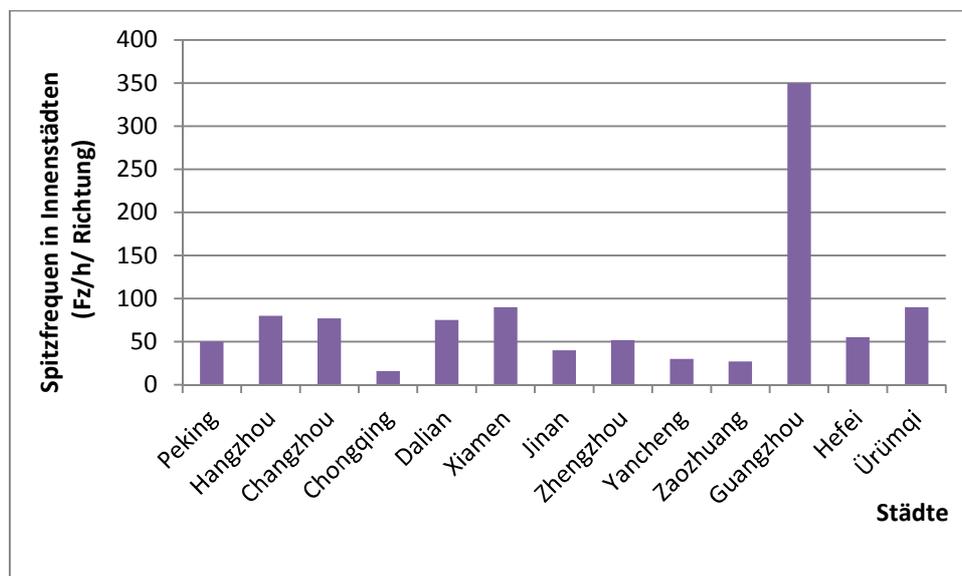


Abbildung 4-6 Spitzfrequenz der BRT-Systeme der chinesischen Städte

4. Die effektive Haltepositionenanzahl einer Station

Wenn ein BRT-System in einem Korridor mit starkem Fahrgaststrom und mehreren Linien verläuft, hebt man normalerweise die Haltepositionenmenge der einzelnen Stationen, um seine Bedienungskapazität zu erhöhen. Dadurch erhöht sich die Leistungsfähigkeit im ganzen Korridor. Die Bedienungskapazität von „x“ Haltepositionen einer Station ist kleiner als von „x“ einzelnen Haltepositionen. Die Bedienungskapazität von „x“ Haltepositionen einer Station ist gleich der Bedienungskapazität von „y“ einzelnen Haltepositionen, „y“ kleiner als „x“. Dieses „y“ ist die effektive Haltepositionenanzahl von der Station mit „x“ Haltestellen. Es gibt mehrere Gründe, warum „y“ kleiner als „x“ ist, wie z.B.: Die Fahrzeuge hintereinander an den Haltestellen können sich nicht gegenseitig überholen; Wenn es keine dynamische Fahrgastinformation gibt, wissen Fahrgäste nicht, an welcher Position der Bus, mit dem sie fahren möchten, genau anhält. Erst wenn der Bus anhält, sehen sie die genaue Position und müssen noch ein Stück bis zur Tür des Busses laufen. Infolgedessen steigen die Fahrgäste diskontinuierlich ein und aus, sodass die Umsteigezeit der Fahrgäste an Haltestellen mit mehreren Haltepositionen größer ist als an Haltestellen mit einer Halteposition, was zusätzliche Verweilzeiten der Busse an den Haltestellen verursacht. Die Haltestellen einer Station sind nicht gleich genutzt, je rückwärtiger die Stelle ist, desto weniger wird sie verwendet. Die oben genannten Faktoren verringern die Kapazität der Haltestellen mit mehreren Haltepositionen gegenüber der Kapazität der gleichen Anzahl unabhängiger Haltestellen. Wenn die Fahrzeuge in einer Reihe zufällig die Station erreichen und die Haltestelle eng und linear hintereinander liegt, ändert sich die effektive Haltestellenanzahl einer Station mit echter Haltepositionenanzahl nach einer Studie in Nordamerika [13],[90],[91], siehe Abbildung 4-7. Wie aus dieser Grafik ersichtlich wird, nimmt die effektive Haltepositionenanzahl mit der Zunahme der Anzahl der echten Haltestellen bis zu 3 sehr offensichtlich zu, aber wenn die echten Haltepositionen mehr als 3 sind, ist das Upgrade der effektiven Haltepositionenmenge begrenzt. Steigt die Haltepositionenmenge bis fünf, stagniert die Zunahme der effektiven Haltepositionenmenge. Die meisten BRT-Systeme in China sind mit Station höchstens mit bis zu 5 Haltestellen. Eine Ausnahme bildet das BRT-System in der Stadt Guangzhou, wo es große Passagierströmung gibt, mit zwei „Super“-Stationen mit 12 Haltepositionen in drei Abschnitten, an jedem Abschnitt liegen 4 Haltestellen. BRT in Stadt Hefei besitzt auch eine große Station in zwei Abschnitten. Diese Ausnahmen werden nicht berücksichtigt in der unten beschriebenen Rechnung.

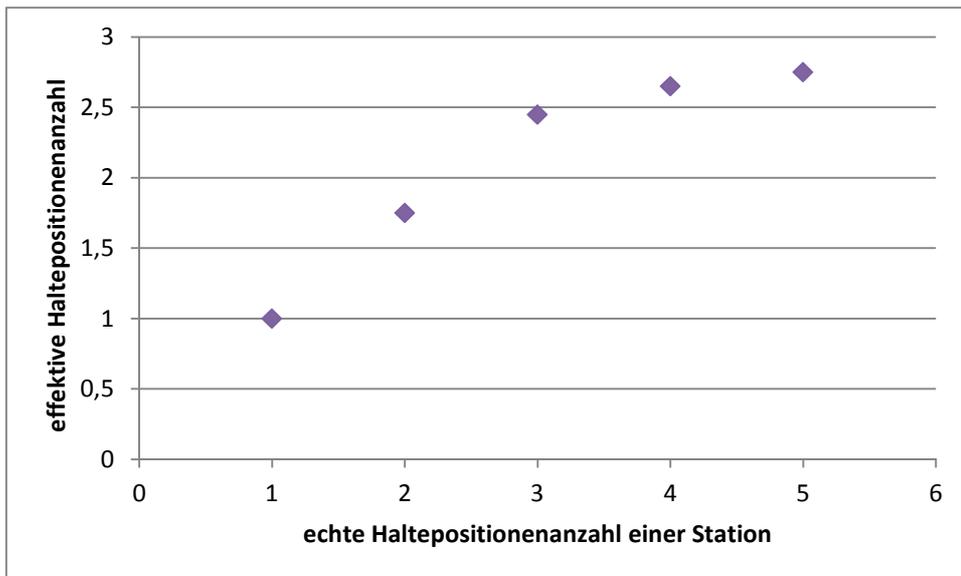


Abbildung 4-7 Verhältnisse zwischen den echten und effektiven Haltestellenanzahl einer Station

5. Der Rechengang

Für die Formeln 4-1 und 4-2 gelten folgende Grundannahmen: 80/180 Personen als maßgebende Kapazität eines BRT-Fahrzeugs, 60 Fz/h·Richtung als Mittelwert der Bedienungsfrequenz an der Haltestellen der Station, 1 als Richtwerte für Auslastungsgrad in der Spitzenzeit. Die Werte der effektiven Haltestellenanzahl einer Station werden aus Abbildung 4-7 entnommen. Die berechneten Ergebnisse sind in Tabelle 4-2 dargestellt.

Tabelle 4-2 Theoretische Leistungsfähigkeit der BRT-Systeme

Kapazität der BRT-Fahrzeuge (Pers.)	Auslastungsgrad	Bedienungsfrequenz (Fz/h/Richtung)	echte Haltestellenanzahl	effektive Haltestellenanzahl	Leistungsfähigkeit (Pers. /h/Richtung)
80	1	60	1	1	4.800
80	1	60	2	1,75	8.400
80	1	60	3	2,45	11.760
80	1	60	4	2,65	12.720
80	1	60	5	2,75	13.200
180	1	60	1	1	10.800
180	1	60	2	1,75	18.900
180	1	60	3	2,45	26.460
180	1	60	4	2,65	28.620
180	1	60	5	2,75	29.700

Die Werte der theoretischen Leistungsfähigkeit des BRT in Tabelle 4-2 werden in einem optimalen Zustand aufgeführt. Die theoretischen Bedingungen liegen in: gar keine Störungen auf der Fahrspur, da diese mitten auf der Straßen liegt; Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs; Ein- und Aussteigen auf gleicher Ebene; geringe Wirkung von Signalsteuerung an Knotenpunkt auf BRT-System; bestmögliche Werte für Bedienungsfrequenz und Auslastungsgrad. Es ist aus Tabelle 4-2 zu sehen, dass die Leistungsfähigkeit von der Kapazität des Fahrzeugs und der Anzahl der Haltestellen abhängt. Der Leistungsfähigkeitsbereich liegt bei 4.800-29.700 Pers./h/Richtung.

(B) Die praktische Leistungsfähigkeit

Im tatsächlichen Betrieb können die theoretischen Bedingungen nicht erreicht werden. Es gibt eine Vielzahl von negativen Faktoren, so dass die praktische Leistungsfähigkeit unter dem berechneten theoretischen Wert liegt. Die Hauptfaktoren, die die Leistungsfähigkeit in den tatsächlichen Vorgängen beeinflussen, sind:

1. Störungen an den Querschnitten

BRT wurde auf bestehenden städtischen Straßen gegründet, auf der viele Einschränkungen vorkommen. Die Breite einiger Strecken reicht nicht für eine eigene BRT-Fahrspur. Je mehr solcher Strecken es gibt, desto niedriger ist der Anteil der eigenen BRT-Fahrspuren. Dann müssen BRT-Busse mit anderen Verkehrsmitteln gemischt fahren. Oft kommt es aufgrund der schlechten Abtrennung des BRT-Systems dazu, dass Autos auf der BRT-Spur fahren. Zudem geraten BRT-Busse an der Kreuzung in Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern, unabhängig davon, ob die Fahrstreifen in der Mitte oder am Straßenrand sind.

2 Auswirkungen der BRT-Busse.

Wenn der Fußboden der BRT-Busse nicht auf der gleichen Ebene wie Haltestelle sind, können die Fahrgäste nicht eben ein und aussteigen. Auch wenn der Fahrkartenkauf im Bus möglich ist, verlängert sich die Anhaltezeit an den Haltestellen. Dies verringert die Servicefrequenz, wodurch die Leistungsfähigkeit sinkt.

3 keine Priorität an der lichtsignalgesteuerten Knotenpunkt

Die Verzögerung der Busse an Lichtsignalanlagen beträgt 10% bis 20% der ganzen Reisezeit und verursacht die Hälfte der ganzen Verzögerung [3]. Wenn keine Maßnahmen von Signalprioritäten an Kreuzungen existieren, sind Kreuzungen auch ein Engpass der Leistungsfähigkeit.

4 Die Anzahl der Haltepositionen der Station

Für zwei oder mehr Haltepositionen in einer Station muss eine zusätzliche Spur für das Überholen oder doppelte Fahrspuren eingerichtet werden, sodass der vordere Bus den anhaltenden Bus hinter nicht behindert. Nur bei den gruppierten ankommenden Bussen wird dieses Problem nicht aufgetreten. Erreicht die Anzahl der Haltepositionen vier oder mehr, muss der ganze BRT-Korridor zweiseitig angelegt werden, sonst dürfte es zu Staus kommen und die Station mit mehreren Haltepositionen keine hohe Servicefrequenz erreichen. Mit anderen Worten: An den Stationen mit mehreren Haltepositionen

(≥4) müssen zwei Spuren in eine Richtung eingerichtet werden, da sonst die effektive Haltepositionenanzahl sehr gering wird.

Die Verkehrsstärke des BRT-Systems in der Hauptverkehrszeit spiegelt zu einem gewissen Grad die Leistungsfähigkeit des Systems wieder und soll sich die theoretischen Berechnungswerte der Leistungsfähigkeit nähern. Durch die oben genannten Beeinflussungen in dem wahren Betrieb ist die tatsächliche BRT-Verkehrsstärke in der Hauptverkehrszeit aber weit geringer als die theoretische Leistungsfähigkeit. Die BRT-Verkehrsstärken der chinesischen Städte in der Hauptverkehrszeit sind wie in Tabelle 4-3 [92] gezeigt. Aus der Tabelle wird deutlich, dass die BRT-Verkehrsstärke der chinesischen Städten in der Hauptverkehrszeit zwischen 600-27.400 Pers./h/Richtung liegt. Maximalwerte erscheinen in dem Guangzhou-BRT, sie erreichen die obere Grenze der Berechnungswerte.

Der größte Teil der chinesischen BRT-Systeme zeigt Werte zwischen 3.000-8.000 Pers./h/Richtung und liegt damit in dem unteren Bereiche der theoretischen Berechnungswerte.

Tabelle 4-3 Die BRT-Verkehrsstärke der chinesischen Städte in der Hauptverkehrszeit

Städte	Verkehrsstärke in der Hauptverkehrszeit [Pers./h/Richtung]
Guangzhou	27.400
Xiamen	7.900
Changzhou	7.400
Ürümqi	7.100
Hangzhou	6.300
Dalian	5.800
Zhengzhou	5.600
Peking	3.800
Jinan	3.300
Heifei	2.700
Yancheng	1.300
Zaozhuang	700
Chongqing	600

4.3.1.2 Leistungsfähigkeit der modernen Straßenbahn

(A) theoretische Berechnung

Die auffälligen Merkmale der modernen Straßenbahn reflektieren v.a. diese beiden Aspekte: große Leistungsfähigkeit und hohe Transportgeschwindigkeit. Die Straßenbahn kann der hohen Fahrgastnachfrage gut gerecht werden und nimmt damit einen festen Platz zwischen

den schnellen und hoch-kapazitiven Verkehrssysteme und dem konventionellen Verkehrssystem ein.

Die Leistungsfähigkeit spiegelt die maximal beförderbare Fahrgastmenge eines ÖV-Systems in einer gegebenen Zeiteinheit wieder. Sie entspricht der Verkehrsstärke im Durchschnitt in der Hauptverkehrszeit. Nur wenn die Leistungsfähigkeit des Systems größer ist als die Fahrgastnachfrage innerhalb eines Korridors, ist das System geeignet für diesen Korridor. Die primäre Formel für die Leistungsfähigkeit moderner Straßenbahnen setzt sich wie folgt zusammen:

$$Q = C \times m \times f \quad 4-3$$

mit: Q die Leistungsfähigkeit einer Straßenbahnlinie [Pers./h/Richtung]

C Kapazität eines Straßenbahnzugs [Pers./Fz]

m Auslastungsgrad bei der Spitzenzeit [-]

f Frequenz der laufend Straßenbahnen [Fz/h/Richtung]

1 Kapazität eines einzelnen Zugs

Die Kapazität von einem Straßenbahnzug ist durch die Größe und Gruppierung der Straßenbahnwaggon bestimmt. Die Größe und Art der Fahrzeuge ist je nach Hersteller unterschiedlich. Die bekannten Hersteller der modernen Straßenbahn-Produktion weltweit sind die Firmen Alstom (Frankreich), Siemens (Deutschland), Bombardier (Kanada) usw. Es gibt zwei Typen von Straßenbahnproduktionen: Zweischienenstraßenbahn und Gummibereifte Straßenbahn. Mainstream-Produkte der modernen Straßenbahn sind modular aufgebaut, um einen schnelleren Anstieg der Zugabteile, leichte Verlängerung der Zuglänge und größere Flexibilität der Kapazität zu erreichen, wie z. B. die Produktion Serie „Citadis“ von Firma Alstom: die Fahrzeuge jeder Größe (Länge von 22 bis 44 m für 3-7 Wagen-Modul und die Breite von 2,3 m bis 2,65 m [93],[94]) können erzeugt werden; oder die Serie „Translohr“ von Firma Lohr: die Gruppierung eines Zugs kann sich von 3 bis 6 Module ändern, um der Nachfragestärke der Fahrgäste in dieser Phase, kurz- und langfristig gerecht zu werden.

Darüber hinaus bezieht sich die Kapazität eines Zugs auf die Anzahl der Plätze pro Flächeneinheit. Die entsprechenden Fachabteilungen in China bestimmen die Plätze pro Flächeneinheit des ÖV-Verkehrs: Laut der vom *Ministerium für Bau* im Jahr 2001 ausgestellten „Angabe der Indikatoren der städtebaulichen Systeme“ lässt sich die Kapazität der ÖV-Fahrzeuge wie folgt berechnen: genehmigte Kapazität = Sitzplätze + effektive Stehfläche * zulässige Stehfahrgästeinzahl pro Flächeneinheit. Im Juli 2004 veröffentlichte die *State Administration of Quality Supervision, Inspektion und Quarantäne* „die nationale Norm GB7258-2004 der Volksrepublik China ‘die technischen Voraussetzungen der Sicherheit für

den Betrieb von Krafffahrzeugen“ , was am 1. Oktober desselben Jahres in Kraft trat. In der Norm wird angeordnet, dass sich nach Berechnung der Fläche für stehende Fahrgäste nicht weniger als 0,125 Quadratmetern pro Person in städtischen ÖV-Fahrzeugen genehmigen lassen. Daher wird der zulässige maximale Wert bei der Berechnung der Kapazität der Fahrzeuge übernommen, nämlich acht Personen pro Quadratmeter. Das ist die zulässige Kapazität, hingegen ist die angenehme Kapazität nach vier Personen pro Quadratmeter berechnet, normale Belastung ist sechs Personen pro Quadratmeter. Das gilt auch für BRT-Fahrzeuge.

Da die Kapazität eines einzelnen Zugs auch den Fahrzeugtyp der Straßenbahn betrifft, muss die Leistungsfähigkeit der Straßenbahn in den zwei Arten von Zweischienenstraßenbahn und gummibereifter Straßenbahn unterschiedlich berechnet werden:

(1) Gummibereifte Straßenbahn

Von der gummibereiften Straßenbahn spricht man, wenn die Straßenbahn auf Gummireifen fährt, von einer Schiene in der Mitte der Fahrbahn geführt und mit Strom versorgt wird. Diese neuartigen Straßenbahnsysteme existieren bisher in Frankreich, Italien und China. Ihre Unterschiede zu herkömmlicher Straßenbahn ist, dass deren Gleis nur eine Schiene besitzt und als Spurführung funktioniert. Die Reifen laufen aber auf der Asphalt- oder Beton-Fahrbahnstreifen.

Die Gruppierung dieses Zugs ist flexibel, von zwei einzelnen Gelenkwagen bis zu sechs Wagen. Bei der Linienplanung ist das angemessene Gruppierungsmodell zu wählen unter Berücksichtigung der Verkehrsnachfrage und des betrieblichen Servicelevels. Die in China gegenwärtig eingesetzte moderne Straßenbahn „Translohr“ ist 2,2 m breit, die Länge der Wagen reicht von 25 bis 46 m. Aus den verschiedenen Gruppierungen und nach der verschiedenen Fahrgastanzahl pro Quadratmeter ergibt sich, dass die Kapazität eines Zugs etwa 150 bis 250 Personen beträgt, wenn pro Quadratmeter 4 Personen zulässig sind. Wenn 8 Personen zulässig sind, erreicht die Kapazität eines einzelnen Zugs ungefähr 200 bis 450 Personen.

Tabelle 4-4 Kapazität eines Translohr-Zugs

Bequemlichkeit der Fahrgäste	Gruppierungsmenge	Länge [m ²]	Breite [m ²]	Kapazität [Pers.]
bequeme Belastung (Sitzplätze+ Stehplätze 4 Pers./m ²)	3	25	2,2	122
	4	32	2,2	162
	5	39	2,2	202
	6	46	2,2	242
normale Belastung (Sitzplätze+ Stehplätze 6 Pers./m ²)	3	25	2,2	167
	4	32	2,2	222
	5	39	2,2	277
	6	46	2,2	332
zulässige Belastung (Sitzplätze + Stehplätze 8 Pers./m ²)	3	25	2,2	212
	4	32	2,2	282
	5	39	2,2	352
	6	46	2,2	422

(2) Zweischienenstraßenbahn

Zweischienenstraßenbahn ist die herkömmliche Form der Straßenbahn. Sie fährt mit Stahlrädern auf Gleis mit zwei Schienen und ist mit elektrischer Energie betrieben.

Die Kapazität dieses Zugs berechnet sich auf verschiedenen Wagentypen und Fahrgastanzahl pro Flächeneinheit. Hier kann das Mainstream-Produkt von Alstom als Beispiel genommen werden. Die Typen 1 bis 3 sind 22 m bis 44 m lang. Typen 4 und 5 sind die Gruppierungen von Typ 2 und 3. Die Kapazität eines Zugs (Typen 1 bis 3) beträgt etwa 150 bis 300 Personen, wenn 4 Personen pro Quadratmeter zulässig sind [95], wenn 8 Personen zulässig sind, erreicht die Kapazität eines einzelnen Zugs ca. 250 bis 550 Personen. Wenn zwei Serien mit einer Länge von 32 m oder 44 m nacheinander gekoppelt sind (Typen 4 und 5), steigert sich die Kapazität zu 500 bis 600 Personen mit Berechnung von vier Personen pro Quadratmeter, wenn es acht Personen pro Quadratmeter sind, erhöht sich die Kapazität der Straßenbahn von 800 bis 1.000 Personen, wie in Tabelle 4-5 gezeigt ist.

Tabelle 4-5 Kapazität eines Alstom-Zugs

Bequemlichkeit der Fahrgäste	Typen	Länge [m ²]	Breite [m ²]	Kapazität
bequeme Belastung (Sitzplätze+ Stehplätze 4 Pers./m ²) ^[95]	1	22	2.65	145
	2	32	2.65	230
	3	44	2.65	300
	4	2*32	2.65	460
	5	2*44	2.65	600
gewöhnliche Belastung (Sitzplätze+ Stehplätze 6 Pers./m ²)	1	22	2.65	197
	2	32	2.65	313
	3	44	2.65	411
	4	2*32	2.65	626
	5	2*44	2.65	822
zulässige Belastung (Sitzplätze+ Stehplätze 8 Pers./m ²)	1	22	2.65	250
	2	32	2.65	396
	3	44	2.65	522
	4	2*32	2.65	792
	5	2*44	2.65	1.044

Aufgrund der Einschränkungen der städtischen Straßen sollte die Länge der Haltestellen der modernen Straßenbahn nicht zu lang, die Gruppierung der Straßenbahnwagenzüge damit i.d.R. nicht mehr als sechs und die Gesamtlänge des Zugs weniger als 50 m betragen. In Frankreich ist die Länge der Straßenbahn i.a. weniger als 45 m [7]. Obwohl die Kapazität von modernen Straßenbahnen je nach der Breite des Zugs unterschiedlich ist, beträgt die Kapazität eines einzelnen Zugs zwischen 250-550 Personen mit zulässiger Belastung, acht Personen pro Quadratmeter (Vgl. Tab. 4-4,4-5).

2 der Auslastungsgrad

Der Auslastungsgrad bezieht sich auf den Prozentsatz der tatsächlichen Anzahl der Fahrgäste mit Kapazität eines Zugs unter verschiedener Bequemlichkeit. Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen BRT und Straßenbahn zu erzielen, wird der gleiche Auslastungsgrad von Straßenbahn und BRT, nämlich 1, angenommen.

3 maximale Bedienungshäufigkeit

(1) Die Berechnungsmethode

Die Einheit der Bedienungshäufigkeit ist Zug/Stunde/Richtung. Die maximale Bedienungshäufigkeit wird i.d.R. durch den minimalen Zeitabstand berechnet, wie aus der Gleichung 4-4 deutlich wird:

$$f = 3600/h_{min} \quad 4-4$$

mit: f die maximale Bedienungshäufigkeit [Fz/h/Richtung]

h_{min} der minimale Zeitabstand [s]

(2) der minimale Zeitabstand des Betriebs

Die Einflussfaktoren auf den minimalen Zeitabstand des Betriebs der modernen Straßenbahn sind die Steuerungsmodelle der Züge und Signale, die Lichtsignalpriorität an der Kreuzung, die Zugbremsleistung, Aufenthaltszeit an der Haltestelle, Wendezeit usw. Unter der theoretischen Annahme eines gut gestalteten und betriebenen Systems sind andere Wirkungen außer der Verweilzeit an der Haltestelle auf den minimalen Zeitabstand nicht groß und deshalb vernachlässigbar. Mit Signalpriorität ist die Verzögerungszeit an dem Knotenpunkt minimiert. Das heißt, unter idealen Bedingungen bestimmt die Durchfahrbarkeit an der Haltestelle die Leistungsfähigkeit des ganzen Korridors.

Für Straßenbahnlinie, die eigenes Gleis hat und keine anderen Linien auf demselben Gleis fahren und zwei Gleise für beide Richtung hat, wird deren minimale Zeitabstand durch Formel 4-5 [13] berechnet:

$$h_{min} = \max \left\{ \frac{t_c + t_d \left(\frac{g}{c}\right) + Z C_v t_d}{\left(\frac{g}{c}\right)}, 2 C_{max} \right\} \quad 4-5$$

mit: g die effektive Grünzeit, reflektiert die Verringerungsauswirkungen wegen Fußgängern und parkenden Autos (nur im gemischten Verkehr) und die positiven Beeinflussungen durch Lichtsignal [s]

C Umlaufzeit der LSA, die am nächst gelegen ist zu der Haltestelle mit der längsten Aufenthaltszeit [s]

C_{max} die längste Umlaufzeit an den Knotenpunkten innerhalb eines ganzen Korridors [s]

t_d durchschnittliche Verweilzeit an der Haltestelle [s]

t_c Nettozeitabstand der nacheinander folgenden Straßenbahnzüge, besteht aus dem minimalen zulässigen Zeitabstand zwischen den Zügen (in der Regel 15-20 s oder die Signalumlaufzeit) und der vollständige Abfahrtzeit der Straßenbahn aus der Haltestelle (i.d.R. 5s pro Zug), bei der Rechnung hier ist 25 s zu nehmen.

Z die normalen variablen Werten, die der erwarteten Ausfallrate entsprechen, wie in Tabelle 4-6 gezeigt [-]

C_v der Variationskoeffizient der Haltezeit an der Haltestelle (die gemischt auf den Straßen fahrende Straßenbahn hat einen Wert von 60%) [-]

Es wird angenommen, dass die Straßenbahnlinie entlang der untergeordneten Hauptstraßen der Stadt führt und nicht an der schwer belasteten Kreuzung durchführt, auf diesem Grund ist C_{max} 90s (Richtwert in China). Herr Wei hat errechnet, dass die Werte von $\frac{t_c + \left(\frac{g}{c}\right)t_d + Z C_v t_d}{\left(\frac{g}{c}\right)}$ nur mit einer großen erwarteten Ausfallrate größer als $2 C_{max}$ sind. Solche Fälle passieren im praktischen Betrieb selten. So ist der machbare minimale Zeitabstand der Straßenbahnlinie, die an plangleichen Kreuzungen vorbeiführt, doppelt so hoch wie die längste Umlaufzeit an den Knotenpunkten innerhalb ganzen Korridors [27], nämlich 180s. Der Betrieb der Straßenbahn ist kompliziert, somit ist eine absolute Priorität schwer umzusetzen. Das BRT kann eine Taktfolge von 1 min. erreichen, die Straßenbahn benötigt aber 3 min. Denn BRT-Fahrzeuge sind kurz, sie können wie Kraftfahrzeuge flexible fahren und schnell den Kreuzungsbereich durchfahren ohne die Verkehrsteilnehmer aus kreuzender Richtung zu stören. Wenn die Straßenbahn mit so dichter Taktfolge wie BRT fahren würde, würde sie die anderen Verkehrsteilnehmer v.a. an den Knotenpunkten erheblich stören.

Tabelle 4-6 verschiedene Z-Werte in den erwarteten Ausfallrateniveaus [27]

erwartete Ausfallrate	Z
1.0%	2.330
2.5%	1.960
5.0%	1.645
10.0%	1.440
20.0%	0.840

4 Leistungsfähigkeit

Nach der Formel 4-3 lässt sich die Leistungsfähigkeit der modernen Straßenbahn mit den verschiedenen Zeitabständen und Kapazitäten der einzelnen Züge berechnen, wie in Tabelle 4-7 gezeigt. Unter idealen Umständen ist der Zeitabstand der Straßenbahn 2min pro Zug annähernd [27]. Aber die tatsächliche Zugfolgezeit ist i.a. mehr als drei Minuten. Der praktische umsetzbare mindeste Abfahrtzeitabstand ist drei Minuten, mit dieser Taktfolge beträgt die Leistungsfähigkeit eines Zuges mit einer Länge von weniger als 50 m 3.000-11.000 Per./h/Richtung, für einen aus zwei Serien von 32 m oder 44 m zusammengesetzten Zug kann unter idealen Bedingungen eine Leistungsfähigkeit 24.000-30.000 Per./h/Richtung erreicht werden.

Forscher haben unterschiedliche Ansichten von der theoretischen Leistungsfähigkeit der Straßenbahn. Herr Zhao Yongchao meint [96], dass sich der Bereich der Straßenbahn zwischen 2.000-10.000 Per./h/Richtung befinden soll. Herr Zi Haibo legt ihren Umfang in 8.000-15.000 Per./h/Richtung [26] fest. Herr Gong Zhiqun ist der Ansicht, dass die Leistungsfähigkeit von der modernen Straßenbahn höchstens 10.000-30.000 Per./h/Richtung beträgt [97]. In dem Buch „Stadtbahnen in Deutschland“ wird darauf hingewiesen, dass die maximale Leistungsfähigkeit der modernen Straßenbahn bei 13.000 Per./h/Richtung liegt [8]. Dies variiert in der Literatur, i.d.R. erreicht die Leistungsfähigkeit 10.000 Per./h/Richtung. Die ist im Einklang mit der theoretischen Berechnung im Falle des kleinsten Zeitabstands von 3 Minuten, was anzeigt, dass die theoretische Berechnung sinnvoll ist.

Tabelle 4-7theoretische maximale Leistungsfähigkeit von der modernen Straßenbahn

Zeitabstand [min]	Platz des Straßenbahnzugs [Per./Zug]	Leistungsfähigkeit [Pers./h/Richtung]
2 (theoretisch Ebene)	250-550	7.500-15.600
3	250-550	5.000-10.400
4	250-550	3.750-7.800
5	250-550	3.000-6.250
2 (theoretisch Ebene)	800-1.000	24.000-30.000

(B) die praktische Leistungsfähigkeit

In China werden die Straßenbahnen nur in Dalian, Tianjin und Shanghai betrieben. Deren Leistungsfähigkeiten sind sehr niedrig wegen solcher Faktoren wie Netzwerkplanung, Fahr-

gaststrom und den Eigenschaften der Straßenbahnsysteme selbst im praktischen Betrieb. Die wahre Leistungsfähigkeit in chinesischen Städten in der Hauptverkehrszeit ist in Tabelle 4-8 zusammengefasst. Die modernisierte Straßenbahn 202 in der Stadt Dalian benutzt einen Zug mit 242 Plätzen und hat eine Betriebsfolgezeit von bis zu 2,5 Minuten in der Hauptverkehrszeit, damit erreicht ihre Leistungsfähigkeit 6.000 Pers./h/Richtung. Gummibereifte Straßenbahn im Bezirk Zhangjiang der Stadt Shanghai läuft mit einer Taktfolge von 8 Minuten, da die Anzahl der Plätze auf 167 begrenzt ist kann die Leistungsfähigkeit nur 1.300 Pers./h/Richtung erreichen. Die Straßenbahn in Dalian wurde gute geplant, da es starke Fahrgastnachfrage entlang der Linie gibt. Hingegen wurden die Linienplanung der Bahnlinien in Tianjin und Shanghai in den neu erschlossenen Gebieten durchgeführt, die Fahrgastströme sind nicht groß genug bei aktuellem Zustand, was zu geringerer Servicefrequenz führt. Daher ist aus diesen Daten abzuleiten, dass die vorhandene Leistungsfähigkeit in 1.000-6.000 Pers./h/Richtung liegt. Aber diese tatsächliche Leistungsfähigkeit ist aufgrund des aktuellen Zustands der Nachfrage und der nicht ausreichenden Akzeptanz der Allgemeinheit sehr gering. Sie wird sich jedoch in Zukunft leicht nach oben erheben, wegen dichter Taktfolge und größerer Gruppierung der Waggonen.

Tabelle 4-8 Leistungsfähigkeit der Straßenbahn in der Hauptverkehrszeit in chinesischen Städten

Straßenbahnlinien	Leistungsfähigkeit in Hauptverkehrszeit [Pers./h/Richtung]
202 in Dalian	6.000
Zhangjiang-Linie in Shanghai	1.300
Taida-Linie in Tianjin	1.000

4.3.1.3 Zusammenfassungen des Vergleichs der Leistungsfähigkeit von BRT und Straßenbahn

In den beiden vorhergehenden Abschnitten 4.3.1.1 und 4.3.1.2 wurden die theoretischen Leistungsfähigkeiten von BRT und Straßenbahn detailliert analysiert und berechnet und die praktische Leistungsfähigkeit in der Hauptverkehrszeit geschildert. Entsprechend den oben vorgestellten Berechnungen beläuft sich die theoretische Leistungsfähigkeit des BRT auf 4800 bis 29.700 Pers./h/Richtung im Vergleich zu 3.300-30.000 Pers./h/Richtung bei der Straßenbahn. Die theoretischen Leistungsfähigkeiten von beiden sind ähnlich.

Aus den spezifischen Betriebsarten des BRT und der Straßenbahn ergibt sich eine minimale Leistungsfähigkeit in Hauptverkehrszeit von 600 Pers./h/Richtung, maximal 27.400 Pers./h/Richtung. Dagegen ist die minimale Leistungsfähigkeit der Straßenbahn 1.000 Pers./h/Richtung, maximal 6.000 Pers./h/Richtung. Die Leistungsfähigkeiten des BRT in Hauptverkehrszeiten in den meisten chinesischen Städten liegen über

3.000 Pers./h/Richtung Aus den betrieblichen Daten allein sind die praktischen Leistungsfähigkeiten von BRT in Hauptverkehrszeiten insgesamt höher als von der modernen Straßenbahn. Aber unter Berücksichtigung der kleineren Datenproben der Pilotlinien der Straßenbahnen in Shanghai und Tianjin, sind damit die bestehenden betrieblichen Leistungsfähigkeiten der Straßenbahn in China nicht typisch. In Frankreich ist die Leistungsfähigkeit maximal 7.200 Pers./h/Richtung [7]. In Deutschland können die Werte wegen größerer zulässiger Länge als in Frankreich noch höher werden. Bei gut ausgelegter Infrastruktur und Betrieb ist es möglich, maximal 80 Züge pro Stunde und Richtung (Doppelhaltestellen, Gemeinschaftsstrecken) zu schaffen, dies entspricht einer Anzahl von 30.000 Fahrgästen pro Stunde und Richtung [84].

Daher hält die Autorin unter Integration der theoretischen und praktischen Vergleiche die Leistungsfähigkeitsbereiche von BRT und Straßenbahn für gleich.

4.3.2 Die vergleichende Analyse der Beförderungsgeschwindigkeit

4.3.2.1 Theoretische Berechnungen

Die Geschwindigkeit des ÖPNV-Systems ist ein wichtiges Maß für die Bestimmung der Qualität der Verkehrsleistungen für die Passagiere. Sie ist von einigen wichtigen Faktoren beeinflusst, wie der Leistung des Fahrzeugs, Betriebsumgebung, Anzahl und durchschnittlichem Abstand der Haltestellen, Verzögerungen an den Knotenpunkten, Betrieb und Management. Die Berechnungsformel der Beförderungsgeschwindigkeit ist von dem Fahrtablauf des ÖPNV-Systems (siehe Abbildung 4-8) abzuleiten [98]:

$$v = \frac{S}{\sum_{i=1}^n t_{Auf,i} + \sum_{j=1}^m t_{V,j} + \sum_{k=1}^{n-1} t_{F,k}} \quad 4-6$$

mit: S Länge der ÖV-Linie,

$t_{Auf,i}$ Aufenthaltszeit vom ÖV-Fahrzeug an der Haltestelle i

$t_{V,j}$ Verzögerungen des ÖV-Fahrzeugs am Knotenpunkt j

$t_{F,k}$ Fahrtzeit am Abschnitt k zwischen zwei nacheinander folgenden Haltestellen i

und $i+1$ abzüglich der Verzögerungszeit an den Knotenpunkten dazwischen

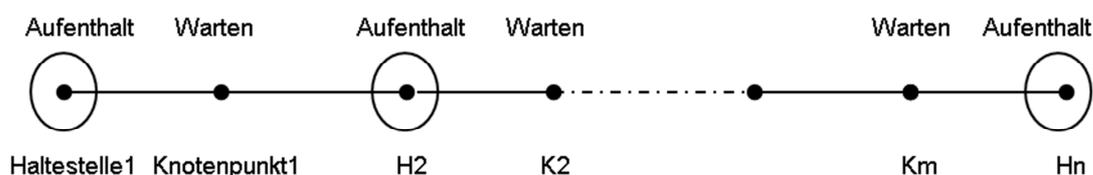


Abbildung 4-8 Darstellung des Fahrtablaufs vom ÖV im Weg-Diagramm

(1) Aufenthaltszeit vom ÖV-Fahrzeug an der Haltestelle

Die Aufenthaltszeit vom ÖV-Fahrzeug an der Haltestelle ist die Zeit, die das ÖV-Fahrzeug an der Haltestelle verbringt. Sie wirkt sich auf die Effizienz des Gesamtsystems aus, auch auf den Sättigungsgrad der Haltestellen. Prüft man das Aufenthaltsverhalten von ÖV-Fahrzeug wie in Abbildung 4-9, sieht man die gesamte Aufenthaltszeit vom ÖV-Fahrzeug unter Einbeziehung der Bremszeit bei Anfahrt und Beschleunigungszeit bei Abfahrt, Schließ- und Öffnungszeit der Türen des ÖV-Fahrzeugs, ruhende Zeit an der Haltestelle.

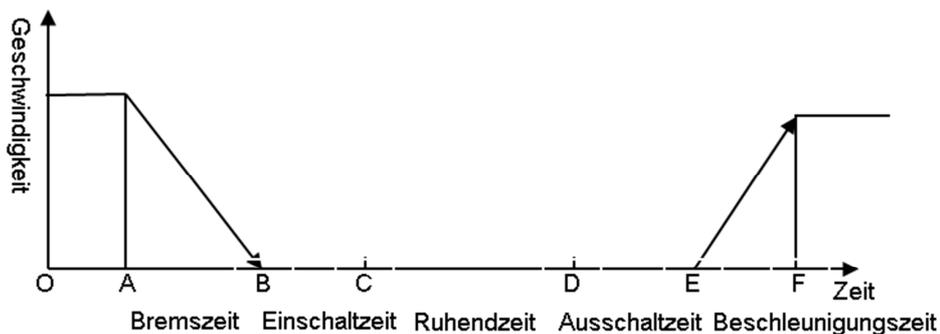


Abbildung 4-9 Diagramm von Aufenthaltsverhalten des Fahrzeugs an der Haltestelle

Es gibt folgenden Faktoren, welche die Aufenthaltszeit vom ÖV-Fahrzeug an der Haltestelle beeinflussen: Passagierstrom, Türanzahl, Türbreite, Merkmale der Stufe (über eine Treppe oder gleiches Niveau), Raumgröße in der Nähe der Türen (Innenraum des Fahrzeugs und Haltestelle), Türsteuerungsart etc. Die Bremszeit und Beschleunigungszeit stehen in Beziehung zu den Leistungen des Fahrzeugs und sind von Fahrzeuggewicht und Motorleistung usw. beeinflusst. Sie sind außerdem von den Anforderungen an die Präzision der Haltverhalten abhängig. Je höher die Anforderung an Präzision ist, umso kleiner müssen Beschleunigungsvermögen und Bremsverzögerung werden. Betrachten wir die Prämissen der Fahrzeugsicherheit, des Komforts für die Passagiere, der Anforderungen an Parken und anderer Faktoren, liegt das mittlere Beschleunigungsvermögen der Straßenbahn und des BRT zwischen $0,8-1,3 \text{ m/s}^2$. Die Bremsverzögerung bei BRT ist $1-1,5 \text{ m/s}^2$ und bei Straßenbahnen $0,8-1,2 \text{ m/s}^2$ [99]. Um die theoretische Rechnung zu vereinfachen wird die untere Zahl sowohl der Beschleunigung als auch der Bremsung hier angenommen: Das Beschleunigungsvermögen von BRT und Straßenbahn $0,8 \text{ m/s}^2$, die Bremsverzögerung von BRT 1 m/s^2 und von Straßenbahn $0,8 \text{ m/s}^2$. Die Schließ- und Öffnungszeit der Türen sind vom Türsteuerungssystem und -Größe abhängig. Die Türöffnungs- und schließzeit beträgt i.a. 1-5 s. Bei Falttüren liegt die Öffnungs- und Schließgeschwindigkeit bei $0,4 \text{ m/s}$, bei Schwenkschiebetüren beträgt sie aber $0,2 \text{ m/s}$ [99]. Die typische BRT-Fahrzeuge in China sind mit Falttüren ausgestattet, welche $1,1 \text{ m}$ breit sind. So ergibt sich eine Öffnungs- und Schließzeit des BRT in China von $2,75 \text{ s}$ während Straßenbahnen mit Schwenkschiebetüren [100] (Breite von $1,3 \text{ m}$) eine Öffnungs- und Schließzeit von $6,5 \text{ s}$ beanspruchen.

Die Ruhendzeit schließt die gesamte Ein- und Aussteigzeit der Fahrgäste und den wegen des nicht kontinuierlichen Ein- und Aussteigens und der Fahrerreaktion verursachten Zeitverbrauch ein. Die Einsteigezeit der Fahrgäste ist wiederum von der Fahrgastanzahl, Türanzahl, Türgröße und dem Niveau der Haltestelle sowie dem Verkaufsprinzip der Fahrkarte abhängig. Die sind i.d.R. von der meisten genutzten Tür zu bestimmen. Aus der Vorortuntersuchung der drei BRT-Systeme in den Städten Peking, Hangzhou und Kunming ergibt sich der Referenzwert [101] der durchschnittlichen Ein- und Aussteigzeit der Fahrgäste, wie in Tabelle 4-9 gezeigt.

Tabelle 4-9 Die durchschnittliche Ein- und Aussteigzeit der Fahrgäste in BRT

BRT-Forme	durchschnittliche Ein- und Aussteigzeit [s/Fahrgast]
Breite Türen, niveaugleiches Ein- und Aussteigen, Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs	1.0
Breite Türen, nicht plangleiches Ein- und Aussteigen, Fahrkartenkauf im Fahrzeug	1.5
Enge Türen, nicht plangleiches Ein- und Aussteigen, Fahrkartenkauf im Fahrzeug	2.0~2.5

Die Tür der modernen Straßenbahn ist auch breite, deshalb haben die Fahrgäste hier eine ähnliche Ein- und Aussteigsituation. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass auch die durchschnittliche Ein- und Aussteigzeit der Straßenbahn aus den Werten der Tabelle 4-9 entnommen werden kann. Im Betriebszustand des BRT und der Straßenbahnen in China werden Ein- und Aussteigzeiten der Straßenbahn von 1,5 s und beim BRT von 1,0 s erreicht.

(2) Verzögerungszeit an den Knotenpunkten

Die Taktfolgezeit von ÖV-Fahrzeugen (sowohl BRT als auch Straßenbahn) soll theoretisch größer als oder gleich wie die längste Aufenthaltszeit an der Haltestellen und sichere kürzeste Folgezeitlücke zwischen nacheinander laufenden ÖV-Fahrzeugen. Auf eine ÖV-Spur verkehren maximal 60 Fahrzeuge pro Stunde, so werden nur wenige ÖV-Fahrzeuge an einem Knotenpunkt anhalten, somit hängt die Verzögerungszeit am Knotenpunkt v.a. von Freigabezeitanteil ab. Sobald das grüne Signal die Spur freigibt, fahren ÖV-Fahrzeuge sofort durch. Wenn ÖV-Fahrzeuge nach fester Bedienungshäufigkeit laufen, so ist die Zeitverteilung dieser ÖV-Fahrzeuge, die an Knotenpunkte ankommen, gleichmäßig. Die Verzögerungen der ÖV-Fahrzeuge an den Knotenpunkten nähert sich somit der Hälfte der Rotlichtzeit, so wird die Verzögerung der Fahrzeuge auf der ÖV-Spur an einem Knotenpunkte j als eine Hälfte der Rotlichtzeit geschätzt [102], deren Formel ist:

$$t_{v,j} = \frac{T_{rot,j}}{2} \quad 4-7$$

Mittelstufiges BRT und moderne Straßenbahn besitzen i.a. Signalpriorität, d.h. den ÖV-Fahrzeuge wird mehr Freigabezeit zugeteilt durch die Verringerung der Grünzeit für andere Kraftfahrzeuge. Nach der Durchführung der Priorisierung werden die durchschnittlichen Verzögerungen an den Kreuzungen geringer.

(3) Fahrzeit

Wenn der Verkehrsfluss im Idealzustand (ohne die Einmischung von der äußeren Umgebung) null ist, hängt die Geschwindigkeit der ÖV-Fahrzeuge auf einem Abschnitt von der Leistung des Fahrzeugs ab. Nach dem Richtwert der Deutschen Bahn AG erreicht die Höchstgeschwindigkeit der Straßenbahn 70 km/h während die Höchstgeschwindigkeit für unabhängige Bahnkörper 50 km/h beträgt [6]. Gegenüber der Straßenbahn erreicht die höchste Geschwindigkeit eines BRT-Gelenkbus 85km/h oder sogar höher [103]. Doch im realen Betrieb wird die Geschwindigkeit der ÖV-Fahrzeuge von dem Verkehrsfluss, der Fahrbahnbreite, der äußeren Umgebung, Kreuzungen und anderen Faktoren beeinflusst, besonders von Straßenstufe. Gemäß den Einstellungskriterien des Tempolimits in der „Norm der städtischen Straßenplanung“ liegt die Höchstgeschwindigkeit in Stadtschnellstraßen bei 80 km/h, in Hauptstraßen 60 km/h, in untergeordnete Hauptstraßen 40 km/h und in Nebenstraßen 30 km/h [104]. Straßenbahn und BRT sind in China auf Stadtschnellstraßen und Hauptstraßen angelegt. Da Straßenbahnen und BRT straßenverkehrsabhängige Systeme sind, kann ihre durchschnittliche Betriebsgeschwindigkeit maximal 45 km/h erreichen [99]. Um die Berechnung zu erleichtern, wird im Rahmen dieser Arbeit von einer maximalen Betriebsgeschwindigkeit von Straßenbahnen und BRT von 45 km/h ausgegangen. Die Fahrzeit mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ist der Quotient aus Länge der ganzen Linie abzüglich der Strecke für den Beschleunigungs- und Bremsvorgang und der Betriebsgeschwindigkeit.

(4) Theoretische Berechnung der Beförderungsgeschwindigkeit mit einem Beispiel

Es wird angenommen, unter idealen Bedingungen die Geschwindigkeit der mittelstufige BRT- und Straßenbahnsysteme zu berechnen. Die zugrundeliegenden Hypothesen in diesem Beispiel sind wie folgt: Es gibt eine schnelle ÖV-Linie, die 20 km lang ist mit insgesamt 20 Haltestellen, an jeder Haltestelle steigen jeweils 20 Fahrgäste aus und ein, dazwischen liegen 10 Knotenpunkte mit der kompletten Signalpriorität, so ist die minimale Rotlichtzeit 0 Sekunden. BRT- und Straßenbahnfahrzeuge sind beide mit breiten Türen und einem niveaugleichen Einstieg an der Bahnsteigkante ausgestattet, beim BRT erfolgen Fahrkartenkauf und Zugangskontrolle außerhalb des Fahrzeugs, dagegen ist der Fahrkartenverkauf in der Straßenbahn innerhalb der Fahrzeuge in Form von Kreditkarte oder Münzeinwerfen, dadurch wird Verzögerung entstehen. 18 m lange, 4-türige (2 für Einsteigen 2 für Aussteigen) Fahr-

zeuge werden eingesetzt für den BRT, hingegen 25m lange, 3-türige (1 für Einsteigen 2 für Aussteigen) Translohr-Fahrzeuge für die Straßenbahn. Die Schließ- und Öffnungszeit der Türen ist für BRT 2,75 s, für Straßenbahn 6,5 s. Die Länge der Haltestelle entspricht der Länge des entsprechenden Fahrzeuges, die BRT-Haltestelle ist 18 m lang während die Straßenbahnhaltestelle 25 m lang ist.

Entsprechend der oben beschriebenen Analyse und der Formel 4-6 werden solche Ergebnisse aus dem Beispiel abgeleitet:

BRT: Aufenthaltszeit an der Haltestelle 455 s, Fahrzeit 1.867 s, Verzögerung am Kontenpunkt 0 s, damit beträgt die gesamte Beförderungszeit des BRT 2.322 s;

Straßenbahn: Aufenthaltszeit an der Haltestelle 730 s, Fahrzeit 1.897 s, Verzögerung am Kontenpunkt 0 s, damit beträgt die gesamte Beförderungszeit der Straßenbahn 2.627 s.

Daraus berechnen sich die durchschnittlichen Beförderungsgeschwindigkeiten von BRT und Straßenbahn mit Werten von 31,01 km/h und 27,04 km/h. Die durchschnittliche Beförderungsgeschwindigkeit des BRT ist um 13 % höher als die der Straßenbahn.

4.3.2.2 Empirischer Vergleich der Betriebsgeschwindigkeit

Im reellen Betrieb werden die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme nicht nur von der Leistung des Fahrzeugs, externe Umgebung etc., sondern auch von der Betrieb- und Management-Modus, Straßenbedingungen etc. beeinflusst. Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit von den schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystemen variiert in den einzelnen Städten, aber die Werte schwanken in einem gewissen Bereich. In der Tabelle 4-10 wird die empirische mittlere Beförderungsgeschwindigkeit von BRT und Straßenbahn in einigen Städten weltweit aufgezeigt.

Tabelle 4-10 Die empirische mittlere Beförderungsgeschwindigkeit von BRT und Straßenbahn in einigen Städten weltweit (Einheit: km/h)

Städte	BRT [105]	Städte	Straßenbahn
Peking	14~21	Shanghai	20 [106]
Guangzhou	17~19	Tianjin	22
Chongqin	31	Dalian	20
Xiamen	27	Lille T ^[7]	23
Ürümqi	10~12	Marseille Linie 68	14
Zhengzhou	16~18	Nantes Linie 2	18
Bogodá	18~28	Paris T2	32
Brisbane	29	Straßburg D	23
Schwankungsbereiche	10~31	Schwankungsbereiche	14-32

Anweisung: BRT-Daten sind erhebt auf Strecke in Innenstadt in der Hauptzeit

Aus Tabelle 4-10 wird ersichtlich, dass sich die empirische mittlere Beförderungsgeschwindigkeit der Straßenbahn der des BRT in Stoßzeiten in der Innenstadt nähert. In Innenstädten ist der Haltstelleabstand kurz und der Verkehrsfluss stark, es gibt nicht genug Signalpriorität an den Knotenpunkten, deshalb ist die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit des BRT in Stoßzeiten auf Strecke in der Innenstadt weit geringer als auf der gesamten Linien. In der Tabelle 4-10 ist die Beförderungsgeschwindigkeit von der Straßenbahn gegenüber BRT auf gesamte Streckenlänge (Innenstadt und Außenbezirke) der Straßenbahnlinie, so ist die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit der BRT-Linie für gesamte Strecke höher als die der Straßenbahnlinie. Dies ist im Einklang mit den theoretischen Ergebnissen. Die Städte mit relativ hoher Beförderungsgeschwindigkeit wie Brisbane, Bogotá, Chongqing besitzen überwiegend eigene Busfahrstreifen (außer an den Knotenpunkten), während in anderen Städten die Geschwindigkeit des BRT mit teilweise gemischten Fahrstreifen niedrig ist und ähnliche Geschwindigkeit wie die der Straßenbahn mit straßenbündigen Bahnkörper vorhanden sind.

4.3.3 Bedienungsqualität

Die ÖV-Bedienungsqualität ist ein wichtiger Indikator, der das ÖV-Servicelevel reflektiert. Sie werden wiederum durch Bequemlichkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Erreichbarkeit und andere wichtigen Teilindikatoren angezeigt.

4.3.3.1 Vergleich der Bequemlichkeit

Mit Bequemlichkeit ist hier Fahrkomfort gemeint. Wenn der Innenraum von ÖV-Fahrzeugen geräumig, hell, sauber ist, das ÖV-Fahrzeug sicher und stabil fährt, fühlen sich die Fahrgäste wohl. Das heißt, der Fahrkomfort erhöht sich, indem der Innenraum geräumig und hell gestaltet und sauber gehalten wird und sich ein sicheres und reibungsloses Verkehrsverhalten gewährleisten lässt. Die Fahrzeuge des mittelstufigen BRT und der modernen Straßenbahn haben eine stromlinienförmige Form und ganz in den Fahrgastraum eingebettete große Fenster, dadurch ist der Innenraum hell und großzügig. Bei der Fahrumgebung fahren BRT und gummibereitete Straßenbahn beide mit Gummireifen, was stark von der Rauheit der Fahrbahnoberfläche beeinflusst wird. Wenn sie auf neu gebauten Straßen mit guter Griffigkeit fahren, ist die Fahrt sicher, stabil, geräusch- und vibrationsarm, deren Komfortgrad ist selbstverständlich hoch. Je länger die Straße befahren wird, desto schlechter wird ihre Rauheit. Die Griffigkeit verschlechtert sich v.a. in einigen Abschnitten nach und nach, dadurch erhöhen sich die Schwankungen, Lärm und Vibrationen. Der Fahrkomfort liegt damit in einem Abwärtstrend.

Moderne Zweischienenstraßenbahnen erhalten nach der technischen Verbesserung eine kompakt gestaltete Drehgestellstruktur und dadurch einen reibungslosen Betrieb. Abwei-

chungen der Höhe und Unebenheit der Gleise sollen i.a. nicht mehr als 4 mm betragen. Das kann im Bauablauf leicht gestillt werden. Weil die Schienengleise aus Stahl verschleißfest sind, beträgt der Verschleiß im Betrieb maximal 9 mm innerhalb der Nutzungsdauer [96]. Daher verursacht die Zweischienenstraßenbahn weniger Erschütterungen und Stöße. Sie fährt stabil und bietet sehr guten Fahrkomfort.

Zusammenfassend ist die Bequemlichkeit der Zweischienenstraßenbahn höher als gummi-bereifte Straßenbahn und BRT.

4.3.3.2 Vergleich von Sicherheit und Zuverlässigkeit

1 Sicherheit

Von Sicherheit spricht man, wenn die ÖV-Fahrzeuge im Prozess der Bewegung weniger anfällig für Verkehrsunfälle sind. Gummibereifte Straßenbahn und BRT fahren mit Gummireifen. Wartungsarbeiten müssen regelmäßig durchgeführt und der Reifendruck muss regelmäßig kontrolliert werden. Die Reifen sollen normalerweise nach Nutzung von 3,5 bis 4 Jahre ausgetauscht werden, wenn das Straßenpflaster schlecht ist, müssen die Reifen bereits nach 2 Jahren ausgetauscht werden [107]. Sonst durch den Verschleiß rutschen sie leicht bei Nässe und platzen schnell bei heißem Wetter. Dies kann leicht zu Unfällen führen. Das Abbiegen vom BRT ist vollständig vom Fahrer abhängig, wenn er unaufmerksam oder nachlässig wird, kann dies zu Verkehrsunfällen führen. Gummibereifte Straßenbahn wird durch eine Schiene geführt und entgleisen leicht in Kurven, weil das Führungsräder nur durch das Gewicht des Zugs in dem Gleis gehalten wird. Die gummi-bereiften Straßenbahnen in Tianjin und Shanghai sind beide bereits entgleist. Die Zweischienenstraßenbahn, deren Stahlräder eng mit zwei Schienen des Gleises gekoppelt sind, kann nur schwer entgleisen und gewährleistet somit eine gute Sicherheit. Nimmt man die Zweischienenstraßenbahn in Berlin als Beispiel, so ist die Straßenbahn der Unfallverursacher in nur 0,03% (2010), 0,03% (2011), 0,02% (2012) an allen Verkehrsunfallverursachern nach Art der Verkehrsbeteiligung (PKW, LKW, Radfahrer, Fußgänger, motorisierte Zweiräder, Bus, Straßenbahn Sonstige) gegenüber dem Bus mit 1,56% (2010), 1,65% (2011), 1,56% (2012) [108],[109],[110].

2 die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge

Die Zuverlässigkeit des Systems ist hauptsächlich vom Fahrwerk abhängig. Zu Fahrwerk gehören alle beweglichen Teile eines Fahrzeugs, die der Verbindung zur Fahrbahn dienen. Es ist die Schlüsselkomponente des Fahrzeugs und besteht aus Räder, Rädernaufhängung, Lenkung und Bremse, welche regelmäßig von Verschleiß- und Schadstellen betroffen sind. Deshalb muss sich die Wartung im betrieblichen Prozess auf das Fahrwerk konzentrieren. Wichtige Funktion des Fahrwerks sind folgende: (a) um sicherzustellen, dass Fahrzeuge

flexibel, sicher und reibungslos entlang der Straße oder Gleise und um die Kurve fahren; (b) Gewicht der Gegenstände auf das Fahrzeug standzuhalten und die daraus entstandene Kraft weiter auf der Straße oder Schiene zu führen; (c) gegenseitige Stöße zwischen Fahrzeug und Straße oder Gleise zu mildern, Vibrationen zu reduzieren, eine ausreichende Fahrstabilität und gute Qualität des Betriebs zu gewährleisten; (d) dessen Bremskörper zuverlässig ist, sodass die Fahrzeuge gute Bremsqualität besitzen. Das Fahrwerk von der Zweischienenstraßenbahn nutzt Stahlräder, die verschleißresistent und von langer Lebensdauer sind. Es erfüllt die oben genannten vier Funktionen. Damit besitzt die Zweischienenstraßenbahn eine hohe Zuverlässigkeit. Das Fahrwerk von BRT und gummibereifte Straßenbahn nutzen Gummireifen, was leicht verschleißbar sind und kurzen Lebenszyklus hat. Bei widrigen Wetterbedingungen sind sie anfällig für Unfälle. Im Vergleich mit der Zweischienenstraßenbahn haben BRT und gummibereifte Straßenbahn eine niedrigere Zuverlässigkeit.

Zusammenfassend ist die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Zweischienenstraßenbahn besser als die von der gummibereiften Straßenbahn und BRT.

4.3.3.3 Vergleich der Erreichbarkeit

Die Erreichbarkeit zeigt sich hauptsächlich darin, dass Passagiere mit so kurz wie möglichem Fußweg an einer Haltestelle ankommen und einfach in ein ÖV-Fahrzeug ein- und aussteigen können. Die mittelstufige BRT- und Straßenbahnsysteme sind beide mit Niederflertechnologie ausgerüstet, sodass Fahrgäste in deren Fahrzeug einfach ein- und aussteigen können. Außerdem sind beide meistens mit dem Fahrgastinformationssystem auf der Haltestelle ausgestattet, damit die Fahrgäste gut informiert werden können. Der Fußweg kann durch einen möglichst kurzen Abstand zwischen den nebeneinander liegenden Haltestellen verringert werden. Nach einer Statistik über den Abstand der Haltestellen von BRT und Straßenbahn in China sind große Haltestellenabstände von BRT vorhanden, damit das BRT möglichst schnell fahren kann und eine Konkurrenz mit den konventionellen Bussen vermieden wird. Der BRT- Haltestelleabstand in der Stadt Yancheng beträgt durchschnittlich 690 m, der in Chongqing ist 1.440 m. Die Werte von jedem BRT-System sind unterschiedlich. Der Mittelwert von BRT-Haltestelleabständen in China beträgt 1.000 m. Dagegen ist der Abstand der Haltestellen der modernen Straßenbahn relativ kurz. Der Haltestelleabstand von Straßenbahn *Linie 202* in Dalian ist durchschnittlich 700 m. Dies in Tianjin ist 580m und in Shanghai ist 600 m. Je kleiner der Abstand der Haltestellen ist, desto kürzer wird der Fußweg der Passagier zu der nächstgelegten Haltestelle und desto besser ist dieses ÖV-System den Fahrgästen zugänglich. Daher ist die Erreichbarkeit von Straßenbahn in China besser als von BRT.

4.4 Vergleich der Investitionskosten

Der wesentliche Indikator, um die Machbarkeit von nicht-staatlichen Investitionsprojekten zu erwägen, ist der finanzwirtschaftliche Nutzen. Die staatlichen Investitionsprojekte berücksichtigen hingegen die Gesamtwirtschaft, nämlich sowohl den finanziellen, als auch den sozialwirtschaftlichen Nutzen, dabei stehen sozialwirtschaftliche Nutzen im Vordergrund. Die schnellen und mittel-kapazitiven Öffentlichen Verkehrssysteme sind von der Regierung finanzierte Projekte. Deren sozialwirtschaftlicher Nutzen schließt die Verringerung der Reisezeit und -Kosten der Bewohner, das Schaffen von Arbeitsplätzen, Reduzierung der Umweltverschmutzung etc. ein. Dies ist schwer zu erheben, zu quantifizieren und zu berechnen. Der sozialwirtschaftliche Nutzen von Straßenbahn und BRT ist, verglichen mit den konventionellen Bussen, sehr ähnlich. Aufgrund der Schwierigkeiten der Datensammlung werden die kleinen Unterschiede zwischen dem sozialwirtschaftlichen Nutzen von Straßenbahn und BRT nicht in diese Arbeit eingeschlossen, wobei der Schwerpunkt auf der Analyse des finanzwirtschaftlichen Nutzens liegt.

Bei dem finanzwirtschaftlichen Nutzen sollten Investitionskosten, Betriebskosten und Erlöse berücksichtigt werden. Investitionskosten besteht hauptsächlich aus Baumaßnahmen, Maschinenbau und Elektrotechnik, Fahrzeuganschaffungskosten usw.; zu den Betriebskosten gehören Löhne der Mitarbeiter, Benzin oder Elektronenergie, Wartung der Fahrzeuge und Haltestellen etc.; Erträge enthalten Fahrgeldeinnahmen, Werbeeinnahmen (einschließlich Werbung auf den Fahrzeugkörper, Fernsehwerbung im inneren Raum des Fahrzeugs, Werbung an der Haltestelle, etc.) und finanzielle Zuschüsse etc. Erstens, laut Chinas Bau-, Betriebs- und Management-Modus der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme werden ihre Investitionen i.d.R. von der Regierung unterhalten. Der Investitionsgeber ist deswegen einseitig. Nach dem Aufbau überträgt er die Konzession des Betriebs an die staatseigenen Unternehmen oder Private und gibt den Unternehmern, je nach Betriebszustand der Linien, gewisse finanzielle Zuschüsse. Unter solchem Management-Modus liegen die Investitionskosten von jeweiligen zur Wahl stehenden ÖPNV-Systemen in Mittelpunkt. Das heißt, Investitionskosten sind damit der wichtigste Faktor in der Berücksichtigung. Zweitens, die meisten BRT-Systeme in China nehmen das Betriebsmodell „ein Korridor+ flexible Buslinien“, das heißt, ein BRT-Korridor bezieht sich auf mehrere Buslinien der verschiedenen Betriebsunternehmen und verschiedene Strecke mit verschiedener Länge des Korridors werden von diesen Linien befahren. Darüber hinaus fahren diese BRT-Linien teilweise in dem Korridor. Der andere Teil und Start- und Zielpunkt der Linien befinden sich aber außer BRT-Korridor. Der Betrieb der Linien durch mehrere Unternehmen und die Flexibilität der Linien vergrößern die Schwierigkeiten, Kosten und Nutzen von BRT-System genau zu berechnen. Drittens, die Geschichte der Entwicklung des BRT und der Straßenbahn ist kurz. Die beiden befinden sich

noch in der Erprobungs- und Pilotphase, deshalb gibt es wenige Daten von dem verbundenen wirtschaftlichen Nutzen. Da es sich auf die Betriebsgeheimnisse der Betriebsgesellschaften bezieht, werden operative Ergebnisse von den schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystemen wie z. B. Betriebskosten und Erlöse selten öffentlich gemacht. Unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren konzentriert sich die Arbeit auf die Investitionskosten für BRT und Straßenbahn. Durch den Vergleich der Investitionskosten von BRT und Straßenbahn wird zu bestimmen sein, welche von beiden wirtschaftlicher und zumutbar ist.

Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften von BRT und Straßenbahn existieren selbstverständlich Differenzen zwischen Investitionen von BRT und Straßenbahn. Aber es existieren auch Differenzen zwischen Investitionen von BRT in verschiedenen Städten, ebenso wie bei der Straßenbahn. Auch wenn in Städten mit ähnlichem Maßstab im gleichen Baujahr sind die Größe ihrer Investition, entsprechend dem spezifischen Investitionsvorhaben, nicht identisch wegen der Differenz zwischen Straßenbedingungen, Betriebsmanagement usw. Um den Vergleich durchzuführen wird zuerst die Theorie über die genaue Zusammensetzung der Investitionskosten mittelstufiges BRT und moderner Straßenbahn in dieser Arbeit vorgestellt, dann wird die Wirtschaftlichkeit von schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystemen durch den Vergleich der Baukosten von beiden in den empirischen Fällen beurteilt.

4.4.1 Theoretischer Kostenvergleich

Die Investitionskosten der schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssysteme bestehen aus drei Teilen: Kosten der Konstruktion und Installation, Kosten der Anschaffung von Fahrzeugen und sonstige Kosten des Projektes.

4.4.1.1 Kosten der Konstruktion und Installation

Kosten der Konstruktion und Installation enthalten Baukosten, Installationskosten und Anschaffungskosten von der Instrument und Ausrüstung.

(A) Baukosten

Die Baukosten des BRT schließen Kosten von Straßenbau, Brücken- und Tunnelbau, Drainageanlagen, Haltestellenbau, Betriebshofanlage, Technologiekosten des Managementsystems und sonstige zugehörige Projektkosten etc. ein. Für die Straßenbahn enthalten die gesamten Baukosten noch Schienenbaukosten, Kosten des Stromversorgungsbaus, Kosten des Signalsystems etc. dazu.

(1) Straßenbaukosten

Straßenbaukosten bezeichnen hier Baukosten wegen ÖV-Spur auf der Straße, dazu zählen vor allem Kosten der Straßenverbreiterung, Pflasterumbau etc.

(2) Kosten von Brücken- und Tunnelbau

Die Kosten von Brücken- und Tunnelbau umfassen Kosten von nötigem Neubau der Brücken und Tunnel und Umbau der Brücken wegen ÖV-Spur. Diese Kosten bestehen hauptsächlich aus neuen Brücken und Tunneln, Brückenausbau, der neuen Fußgängerbrücke und Nebenanlagen und sonstige Aufwendungen.

(3) Drainagekosten

Drainagekosten sind die Baukosten von notwendigen Entwässerungsanlagen für städtische Straßenentwässerung. Sie decken vor allem Kosten von Regenwasser-, Abwasserrohre und Kontrollschächte.

(4) Haltestellenbaukosten

Haltestellenbaukosten sind die Kosten des Aufbaus der eigenen Haltestellen, die hauptsächlich aus dem Starthaltstellen, Endhaltstellen, den Umsteigehaltstellen und Zwischenhaltstellen bestehen.

(5) Kosten der Betriebshofanlage

Kosten der Betriebshofanlage für schnelle und mittel-kapazitive Verkehrssysteme beziehen sich auf die Kosten für den Bau der Abstellanlage, Betriebswerkstatt, Waschhalle, Betriebsdienstgebäude etc. Das BRT-System erfordert noch Anlagen für Tanken. Die Kosten umfassen wiederum nach Projektsicht aus Erde- und Steinmenge, Hausbau, Interieur, Beleuchtung und Lüftung, Wasserversorgung und Entwässerung, Brandmeldeanlage, Aufzug, Grün, Weg innerhalb des Betriebshofs und sonstige Projektkosten. Das BRT-System kann die vorhandene Betriebshofanlage von der traditionellen Busse mitnutzen. Straßenbahnsystem muss aber über neue Betriebshofanlagen verfügen.

(6) Technologiekosten des Managementsystems

Das Managementsystem umfasst das drahtlosgedigitale Kommunikationssystem, das Kommunikations-Netzwerk-System, das Video-Überwachungssystem, das Fahrzeug-Terminal-System, das Fahrgastinformationssystem auf der Haltestelle, Kontrollcenter, Sicherheitssystem etc. Das gesamte System überträgt eine Reihe von Betriebsfunktionen, wie z.B. Überwachung der Haltestelle, Aktualisieren der Fahrgastinformation, die Anordnung des Fahrplans, Linienkontrolle, Sprache- und Datenverbindungen zwischen Haltestellen und Fahrzeug, um den generellen Betrieb der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme zu garantieren. Die Kosten dessen erfassen alle Aufwendungen von dem kompletten technologischen System.

(7) Sonstige zugehörige Projektkosten

Sonstige zugehörige Projektkosten entstehen durch Ergänzungs- oder Begleitprojekte, um die Sicherheit von den ÖV-Fahrzeuge zu gewährleisten. Solche Kosten sind v.a. die Kosten von Verkehrszeichen, -markierung, Leitplanken, Isolation und Aufforstung.

(8) Schienenbaukosten

Die Kosten beziehen sich auf die Kosten für die Verlegung der Straßenbahnschienen, Schienenbau enthält ihre Anschaffung, Anlegen, Einstellung und sonstige Aufwendungen.

(9) Kosten des Stromversorgungsbaus

Die betreffen die Kosten, die durch den Bau des Stromnetzes für die Straßenbahn entstehen. Das Stromversorgungsnetz besteht hauptsächlich aus Fahrleitungsanlage, Unterwerk, Stromversorgung-Monitoring-System, Streustromschutz und anderen.

(10) Kosten des Signalsystems

Die Kosten des Signalsystems bezeichnen v.a. die Kosten für den Bau des Kontrollsignal-systems der Straßenbahnlinien, es besteht hauptsächlich aus Bau des Signals entlang der Linien, an Betriebshof und an der Kreuzung.

(B) Installationskosten

Der Installationsaufwand wird dadurch verursacht, dass Projektzusammensetzung wie Erd-bau, Elektrik, Wasserversorgung und Entwässerung, Feuerschutz etc. bei der Einführung eines neuen schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems installiert werden müssen. Installationskosten von BRT schließen Installationskosten von Niederspannungsenergiever-teilung und Beleuchtung, Lüftungs- und Klimaanlage, Wasserversorgungs- und Entwässe-rungsanlagen sowie Brandschutzanlagen und Sicherheitstüren, automatischen Fahrkarten-kauf und -Kontrolle und Intelligent-Transportation-Systems ein. Gegenüber den Installations-kosten von BRT betrifft die Straßenbahn mehr Kosteninhalte. Ihre wichtige Kosten sind Kos-ten für Energieversorgung, Signalanlage, Management-System, Beleuchtung und Belüftung, Entwässerung, Brandmelde und Alarm usw.

(C) Anschaffungskosten von Geräten und Ausrüstung

Für die Analyse der Anschaffungskosten von Geräten und Ausrüstung werden der Einkauf von den Geräten und industriellen Ausrüstungen in dieser Arbeit berücksichtigt. Darüber hin-aus werden auch die Kosten für Messgeräte und die notwendige Ersatzteile im Rahmen des Bauprojekts, sowie der Kauf von Instrumenten, Geräten und Möbeln mit einbezogen, was besonders in der Anfangsphase der Inbetriebnahme notwendig ist.

4.4.1.2 Anschaffungskosten der Fahrzeuge

Die Anschaffungskosten der Fahrzeuge der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssyste-me berechnen sich aus dem finanziellen Aufwand des Kaufs der BRT-Fahrzeuge oder der

Straßenbahn. BRT-Fahrzeuge werden vorwiegend im Inland gekauft. Es gibt mehrere Hersteller mit verschiedenem Preis in China. Die ausländischen Hersteller werden hierbei außer der Betrachtung gelassen. Die Straßenbahnzüge werden sowohl aus dem In- als auch aus dem Ausland gekauft, obwohl der Import von Straßenbahnen sehr teurer ist.

4.4.1.3 Sonstige Kosten

Die sonstigen Kosten des Projektes berechnen sich aus dem Aufwand zur Bewertung der Umweltauswirkungen, der Vorplanung, Vermessung und Design, Aufsicht und Projektmanagement etc. Deren Zusammensetzung ist sehr komplex und aufgrund der unterschiedlichen statistischen Standards unterscheiden sich die spezifischen Kostenkomponenten in den jeweiligen Städten. Sonstige Kosten des Projektes variieren in jeder Stadt in großem Ausmaß, trotzdem basiert ihre Norm auf den Bau- und Installationskosten des Projekts. Sonstige Kosten des Projektes hängen von den Konstruktions- und Installationskosten ab. Deswegen bestimmen die Bau- und Installationskosten des Projekts die gesamten Investitionskosten der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme.

Aus der Sicht der Kostenkomponente enthalten die Bau- und Installationskosten der Straßenbahn zusätzlich zu denen des BRT noch die Schienenbaukosten, die Kosten des Stromversorgungsbaus, des Signalsystems und der Betriebshofanlage sowie die Anschaffungskosten von Geräten und Ausrüstung. Daher sollten die Bau- und Installationskosten der Straßenbahn höher eingeschätzt werden als die des BRT. Chinas BRT-Fahrzeuge werden im Inland hergestellt. Ihre Kosten sind relativ gering. BRT-Gelenkbusse kosten etwa 3 Mio. CNY, bei einer Lebenserwartung von 10 Jahren. Demgegenüber sind Straßenbahnzüge meist importiert und kosten etwa 23 Mio. CNY bei einer Lebenserwartung von 30 Jahren. Auf ein Jahr gerechnet, betragen die Kosten für ein BRT-Fahrzeug 0,3 Mio. CNY/Jahr (0,036 Mio. Euro), Straßenbahnwagen dagegen 0,76 Mio. CNY/Jahr (0,09 Mio. Euro). Damit sind die jährlichen Kosten von Straßenbahnzügen 2- bis 3-mal höher als von BRT-Fahrzeugen. Sonstige Kosten des Projekts nehmen die Bau- und Installationskosten als Grundlage, damit sind die sonstigen Kosten der Straßenbahn höher als die Kosten des BRT.

Zusammenfassend sind die Investitionskosten der Straßenbahn höher als beim BRT.

4.4.2 Vergleich der Praxis

Da es Unterschiede zwischen den Städten in der Größe sowie im Entwicklungsniveau gibt, ist auch der Entwicklungsstand der schnellen und mittel-kapazitiven öffentlichen Verkehrssysteme nicht gleich und deswegen ist auch die Zusammensetzung und Größe der Investitionskosten unterschiedlich.

Um einen empirischen Vergleich zwischen BRT und Straßenbahn zu ermöglichen, der über den theoretischen Vergleich hinausgeht, sollen in dieser Arbeit zunächst die Infrastruktur und der Status quo des Betriebszustandes vorgestellt werden, um die geeignete Vergleichsobjekte auf Grundlage der gesammelten Daten zu identifizieren. Dazu wurden das BRT in Guangzhou und die moderne Straßenbahn in Shanghai ausgewählt, die sich in Bezug auf das Baujahr und das Jahr der Inbetriebnahme ähneln.

Bei der Beurteilung der Kosten von BRT und Straßenbahn werden nur die Kosten für den Aufbau berücksichtigt, Kosten für den Grunderwerb und die Umsiedlung sowie weitere kompensatorische Kosten können in die Analyse nicht mit einbezogen werden, da es schwierig ist, genauere Informationen über die Kalkulation und den tatsächlichen Projektaufwand zu erhalten.

Obwohl es eine gewisse Diskrepanz zwischen der Einschätzung und den tatsächlichen Investitionskosten gibt, kann dennoch die Kosteneinschätzung als Grundlage des finanziellen Volumens genommen werden, da die Kosteneinschätzung Grundlage für die Projektkalkulation und die tatsächliche Kosten ist. Die Kosteneinschätzung kann somit die Größe, die Zusammensetzung und deren Anteil an der Projektinvestition aufzeigen. Durch die vergleichende Analyse der Investitionseinschätzung ist es möglich, die relativen Vor- und Nachteile des BRT und der Straßenbahn bei den Investitionskosten zu beurteilen.

Der Bau der Zhangjiang Straßenbahn in Shanghai mit einer Länge von 9,156 km wurde im Dezember 2007 angefangen. Die Linie wurde im Januar 2010 in Betrieb genommen. Für den Bau wurde die französische Lohr Straßenbahn mit Niederflur, Monoschienengleis und Gummirädern genutzt. Das Monoschienengleis ist nur für Spurführung, die Gummiräder tragen das Gewicht und sorgen für den Antrieb. Die Zhangjiang Straßenbahn hat Signalpriorität an allen Kreuzungen entlang der ganzen Linie.

Der Bau des BRT-Systems in Guangzhou mit einer Länge von 22,5 km wurde im November 2008 begonnen und es wurde im Februar 2010 in Betrieb genommen. Das BRT-System ist mit modernem Monitoring- und Management-System ausgestattet. Der Fahrkartenkauf und die Fahrkartenkontrolle befindet sich auf der Haltstelle. Die Fahrzeuge sind modern und ihr Aussehen ist auffällig. Das BRT in Guangzhou hat Signalpriorität an allen Kreuzungen. Aus diesen Gründen erfüllt das BRT-System in Guangzhou die Bedingungen für das zwischenstufige BRT.

Die Einschätzung der Investitionskosten der Zhangjiang Straßenbahn in Shanghai und des BRT in Guangzhou werden vergleichend gezeigt in Tabelle 4-11.

Tabelle 4-11 Kosteneinschätzung der modernen Straßenbahn in Shanghai und des zwischenstufigen BRT in Guangzhou (Einheit: 10⁴ CNY)

Zweigkosten des Projekts	Zhangjiang moderne Straßenbahn in Shanghai			BRT in Guangzhou		
	Aufbau	Installation	Geräte und Instrumente	Aufbau	Installation	Geräte und Instrumente
(A) Kosten von Konstruktion und Installation	18431,95	8063,1	7187,84	77283,4	10569,94	11847,22
Straßenbau	4259,41	-	-	16117,3	-	-
Brücken-und Tunnelbau	771,1	-	-	31949,42	6776,87	2414
Drainage	382,4	-	-	1537,75	-	-
Haltestellenbau	311,47	-	-	11974,66	3793,07	9433,22
Beleuchtung	-	-	-	3125,95	-	-
Management-System	-	239,31	1153,66	6118,82	-	-
Sonstige Projektkosten	511,56	-	-	6459,5	-	-
Schienenbau	6846,07	-	-	-	-	-
Stromversorgungsbau	144	6224,98	3711,26	-	-	-
Signalsystem	47,92	315,38	1361,45	-	-	-
Betriebshofanlage	4665,03	1283,43	961,47	-	-	-
Vorbereitung des Aufbaus	492,99	-	-	-	-	-
Summe von (A)	33682,89			99700,56		
Mittelwert (A) pro km	3678,78			4431,136		
(B) Anschaffungskosten der Fahrzeuge	-	-	30240	-	-	-
(C) sonstige Kosten des Projekts	5142,25	-	-	105751,46	-	-
Summe (A)+(B)+(C)	69065,14			205452,02		

Wie aus Tabelle 4-11 hervorgeht, enthält die Investitionseinschätzung des BRT in Guangzhou keine Anschaffungskosten für die Fahrzeuge. Der Grund dafür ist, dass das BRT dort durch Umgestaltung der vorhandenen Straße auf den Hauptverkehrskorridor verlegt wurde. Es gab vorher schon mehrere Betriebsunternehmen, die viele Buslinien an der alten Straße eingestellt hatten. Nach der Fertigstellung des BRT-Aufbaus wurde das Geschäftsmodell „ein dedizierten Korridor+ mehrere flexible Leitungen“ ausgewählt. Dieses Konzept beinhaltet, dass die Regierung für die Investition und den Aufbau des eigenen BRT-Korridors zuständig ist, für die Anschaffung der Fahrzeuge sind dagegen die Betriebsunternehmen zuständig.

Gegenüber dem BRT-System in Guangzhou ist die Investition der Straßenbahn in Shanghai anders. Die Straßenbahn in Shanghai wurde komplett neu eingeführt, deshalb wurden die Investitionskosten der Fahrspuren und der Straßenbahnzüge von der Regierung voll übernommen.

Die sonstigen Kosten des Projekts (C) des BRT in Guangzhou sind höher als seine Konstruktion- und Installationskosten, da die Kosten für den Grunderwerb und die Umsiedlung in

der Stadt Guangzhou wegen des Straßenausbaus deutlich höher waren und der BRT- Aufbau sich in Stadtzentrum befindet. Diese Kosten sind hingegen bei der Straßenbahn in Shanghai 6- bis 7- mal niedriger als die Konstruktions- und Installationskosten, weil die Kosten hier von Grunderwerb und der Verlagerung nicht einbezogen wurden. Durchschnittliche Kosten von (A) pro km betragen in Shanghai 36,79 Mio. CNY (4,38 Mio. Euro), hingegen in Guangzhou 44,31 Mio. CNY. Diese Kosten scheinen bei BRT in Guangzhou höher als bei Straßenbahn in Shanghai. Dieses Ergebnis ist doch nicht konsistent mit der theoretischen Analyse.

Die Ursache hierfür liegt darin, dass der Aufbau des BRT in Guangzhou entlang einer vielbefahrenen ost-westlichen Straße durchgeführt wurde, an der es zahlreiche Geschäfte und einen hohen Fußgängerverkehr gibt. Um das sichere Überqueren von Fußgängern zu gewährleisten, mussten 20 Fußgängerbrücken und –Tunnel, die meisten davon mit Fahrstuhl, errichtet werden. Diese Teilkosten sind riesig. Deren Bau- und Installationskosten betragen 41,14 Mio. CNY.

Die Straßenbahn von Shanghai dagegen befindet sich in einem Gebiet der hohen Technologien. Das Gebiet ist ein neu entwickeltes Gebiet, dessen Erschließungs- und Entwicklungsstand nicht sehr hoch ist. Beim Bau der Zhangjiang Straßenbahn in Shanghai war es demzufolge unnötig, Fußgängerbrücken und –Tunnel zu errichten, weshalb ihr Bau deutlich weniger finanziellen Aufwand hatte. Im hypothetischen Fall, der Bau des BRT in Guangzhou hätte in einer ähnlichen Umgebung unter den Bedingungen wie bei der Straßenbahn in Shanghai stattgefunden. Die Kosten für Fußgängerbrücken und –Tunnel müssten also nicht mit einberechnet werden. Dann würde der Mittelwert von (A) pro km von BRT in Guangzhou 26,03 Mio. CNY (3,1 Mio. Euro) betragen und so mit großem Abstand niedriger als der des Baus der Straßenbahn in Shanghai sein. Dieses Ergebnis wäre konsistent mit der Berechnung des finanziellen Volumens in der theoretischen Analyse. Diese Einschätzung kann auch mit anderen Beispielen belegt werden: Die Kosten der Straßenbahn in Tianjin sind ebenfalls sehr hoch. Die Kosten der Konstruktion und Installation dort im Jahr 2005 betragen schätzungsweise 278,4 Mio. CNY. Mit einer Linienlänge von 8,8 km belaufen sich die durchschnittlichen Bau- und Installationskosten pro km auf 31,64 Mio. CNY (3,77 Mio. Euro). Obwohl die Zinsen in diese Berechnung nicht einbezogen wurden, sind die Kosten deutlich höher als die Investitionskosten des BRT in Guangzhou.

Zusammenfassend kann nach dem theoretischen und praktischen Vergleich der Investitionskosten von BRT und moderner Straßenbahn davon ausgegangen werden, dass das Investitionsvolumen der Straßenbahn deutlich höher ist, als vom zwischenstufigen BRT.

4.5 Vergleichende Analysen des Energieverbrauchs und der Umweltverschmutzung

Energiesparen und Umweltschutz haben sich zu Faktoren entwickelt, die in allen Bereichen berücksichtigt werden müssen, die ÖPNV-Branche ist dabei keine Ausnahme. Auch in der Bus-Branche wird die Strategie der nachhaltigen Entwicklung vermehrt verfolgt und das Konzept von Energiesparen und Umweltschutz aktiv umgesetzt. Der Trend geht zu Verkehrsträger mit niedrigem Energiekonsum und weniger Umweltverschmutzung. Diese Aspekte werden in Zukunft eine noch größere Rolle spielen und werden deshalb in die Analyse mit einbezogen und im Folgenden für BRT und Straßenbahn vergleichend vorgestellt.

4.5.1 Vergleich des Energieverbrauchs

Der Energieverbrauch der Fahrzeuge bezeichnet die benötigte Energie eines Fahrzeuges, um eine bestimmte Strecke zurückzulegen. Es hängt von der Fahrleistung des Fahrzeugs, dem Fahrvermögen des Fahrers, der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit, dem Zustand der befahrenen Strecke und der Auslastung des Fahrzeugs sowie vielen anderen Faktoren ab. Energie wird hauptsächlich verwendet, um den Roll- und Luftwiderstand zu überwinden. Der Rollwiderstand berechnet sich aus dem Rollreibungskoeffizient und der Belastung der Räder usw. Der Luftwiderstand bezieht sich u.a. auf die Fahrgeschwindigkeit und die Größe von Flächen, die vertikal gegen den Wind stehen. Die zweiartigen Straßenbahnen, Zweischiene Straßenbahn und gummibereifte Straßenbahn unterscheiden sich hinsichtlich ihres Rollwiderstandes. Die Zweischiene Straßenbahn ist mit Stahlräder und Schienen ausgestattet. Deren Rollwiderstandskoeffizient beträgt ca.0,001. Der Rollwiderstandskoeffizient der gummibereiften Straßenbahn entspricht daher dem des BRT und ist mehr als 10-mal höher als der Kontakt zwischen Stahlrad und Stahlgleis [111]. Der Rollwiderstand von den BRT-Fahrzeugen und dem gummibereiften Straßenbahnzug unterscheidet sich also vom Zweischiene Straßenbahnzug. Daher ist auch der Energieverbrauch unterschiedlich.

A. Theoretische Berechnungen

Da die Kapazität von BRT-Fahrzeuge und Straßenbahnzug nicht gleich ist, müssen hier die Begriffe von der Einheit des Energieverbrauchs und Zugleistung eingeführt werden, um die beiden Systeme besser miteinander vergleichen und analysieren zu können

(1) Energieverbraucheinheit und Zugleistung

Die ursprüngliche Bedeutung der Energieverbraucheinheit ist die von einem öffentlichen Verkehrsmittel benötigte Energie für die Beförderung pro Passagier und Kilometer. Die

Energieverbraucheinheit wird in J/Pers./km oder kWh/Pers./ km gemessen. Der Energieverbrauch pro Fahrzeug berechnet sich wie folgt:

$$W = F' \times L \quad 4-8$$

mit: W Energieverbrauch pro Fahrzeug

F' Widerstand

L Abstand

Wenn das Fahrzeug mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fährt, gleicht der Widerstand der Zugkraft. Deshalb wird weiter abgeleitet:

$$W = F \times L = P \times t \quad 4-9$$

mit: F Zugkraft

P Zuggleistung

t Zeit

Damit kann die Formel des Energieverbrauchs wie folgt ausgedrückt werden:

$$w = W \div L \div n = P \times t \div L \div n = P \div v \div n \quad 4-10$$

mit: w Energieverbraucheinheit

n Anzahl der Fahrgäste

v Geschwindigkeit

Während des Vergleiches des Energieverbrauchs sind die Geschwindigkeiten vom Fahrzeug gleich. Aus diesem Grund erkennt man, dass aus der Formel oben die Zuggleistung als Indikator des Energieverbrauchs gelten kann, um die Energieverbrauch von BRT und Straßenbahn zu vergleichen.

(2) Theoretisches Berechnungsverfahren

Der Energieverbrauch berechnet sich aus dem Energieverbrauch während Fahrt und an der Bushaltestelle. Der Verbrauch während der Fahrt ist der wesentliche Teil des Energieverbrauchs. Um die Berechnung zu vereinfachen, wird nur der Fahrtenergieverbrauch der Fahrzeuge auf einer geraden Strecke berücksichtigt. Die Auswirkungen des Widerstandes auf dem Hang und in der Kurve werden ignoriert.

Das BRT und die gummibereifte Straßenbahn fahren mit Gummireifen. Die Formel der Zugkraft von Gummireifen ist wie folgt [112]:

$$F_{BS} = f \cdot (M_{Fz} + M_{Fg}) \cdot g + \frac{1}{2} K \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad 4-11$$

mit: F_{BS} Zugkraft des Fahrzeugs von BRT und Straßenbahn [N]

f Rollreibungskoeffizienten, Spezifikation der Reifen von ÖV-Fahrzeuge hier ist 9.00-20. Gemäß der Rechnungsmethode in der Literatur [113] werden die der unterschiedlichen Geschwindigkeiten entsprechende Wert von f errechnet

g Schwerkraftbeschleunigung [m/s^2]

M_{Fz} Leergewicht des Fahrzeugs [kg]

M_{Fg} Gewicht der beförderten Fahrgäste [kg], es wird angenommen, dass ein Fahrgast durchschnittlich 60kg (China, gegenüber 75kg in Deutschland) wiegt, M_{Fg} errechnet sich mit Kapazität des Fahrzeugs[kg]

K Luftwiderstandbeiwert, bei BRT-Fahrzeuge 0,6, Bei Straßenbahn 0,4

ρ die Dichte der Luft, die Wert $1,205kg/m^3$ wird genommen bei Temperatur um 20°

A Vertikalfläche des Fahrzeugs gegen den Wind

V Geschwindigkeit des Fahrzeugs [km / h]

Die Zugkraft der Zweischiene Straßenbahn wird nach Formel 4-12 gerechnet:

$$F_{zs} = \omega \cdot (M_{Fz} + M_{Fg}) + \frac{1}{2} K \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad 4-12$$

mit: F_{zs} die Zugkraft von Zweischiene Straßenbahn [N]

ω Einheit des Widerstands [N / t], die Werte werden aus Tabelle in der Literatur [114] ausgezogen

Daher ist die P des BRT und der Straßenbahn nach Formel 4-13 abgeleitet:

$$P = \frac{F \cdot V}{3.6} \quad 4-13$$

mit: P Zuggleistung [w]

F Zugkraft [N]

(3) theoretische Berechnungen

In dieser Arbeit werden ein häufig verwendetes BRT-Fahrzeug und die gummibereiften Straßenbahnwagen in China sowie eine in Europa oft verwendete Zweischiene Straßenbahn als Vergleichsobjekte genommen: Jinlong Stadtbus XMQ6180G, französische Translohr Straßenbahn und die neue Citadis Straßenbahn in Straßburg. Die grundlegenden Parameter der verglichenen Fahrzeuge sind in Tabelle 4-12 gezeigt.

Tabelle 4-12 Grundlegende Parameter der Fahrzeuge

Fahrzeugtyp	Größe [m] Länge×Breite×Höhe	Leergewicht [kg]	Gewöhnliche Belas- tung [Pers.]	Höchste Geschwindig- keit [km/h]
Jinlong Stadtbus XMQ6180G [115]	17.9×2.55×3.14	17100	160	85
Translohr Straßenbahn in Shanghai	25×2.2×2.89	25000	167*	70
Citadis Straßenbahn in Straßburg	45×2.4×3.4	53200	288	70

Hinweise: * Das ist nach Gruppierungsanzahl von 3 und Sitzplätze + Stehplätze 6 Pers./m² gerechnet

Die Zugleistung bezieht sich auf Fahrzeuggewicht und Geschwindigkeit. In dieser Arbeit wird die Zugleistung für die oben genannten Fahrzeugtypen mit einer Auslastung von 50% und 75%, 100% und mit einer Geschwindigkeit von 20, 30, 40, 50, 60, 70 km/h berechnet. Die Ergebnisse des Einheitsenergieverbrauchs sind in Tabelle 4-13 gezeigt.

(4) Vergleich der theoretischen Energieverbrauch

Die notwendige Voraussetzung für den Vergleich des Einheitsenergieverbrauchs von den obigen drei Nahverkehrsarten ist, dass für alle drei eine gleiche Auslastung angenommen wird. Der Volllastbetrieb ist die ideale Situation, dass der echte Fahrgaststrom die Beförderungskapazität dieser Verkehrslinie erreicht. Dies spiegelt am effektivsten die Menge des Energieverbrauchs von unterschiedlichen Verkehrssystemen wieder. In Übereinstimmung mit der Klassifizierung von verschiedenen Modellen und unterschiedlichen Geschwindigkeiten wird der Einheitsenergieverbrauch in Abbildung 4-8 gezeigt.

Tabelle 4-13 Rechnungsergebnis von Einheitsenergieverbrauch der Verkehrsarten [Einheit: W/Pers.]

Auslastungsgrad	Jinlong Stadtbus XMQ6180G					
	20	30	40	50	60	70
50%	212	485	954	1684	2740	4184
75%	151	338	656	1149	1860	2831
100%	120	264	508	882	1420	2154
Auslastungsgrad	Citadis Straßenbahn					
	20	30	40	50	60	70
50%	208	400	691	1114	1702	2485
75%	148	281	481	769	1168	1698
100%	118	222	376	597	901	1304
Auslastungsgrad	Translohr Straßenbahn					
	20	30	40	50	60	70
50%	73	173	345	617	1006	2247
75%	50	119	235	418	680	1512
100%	40	92	180	318	516	1145

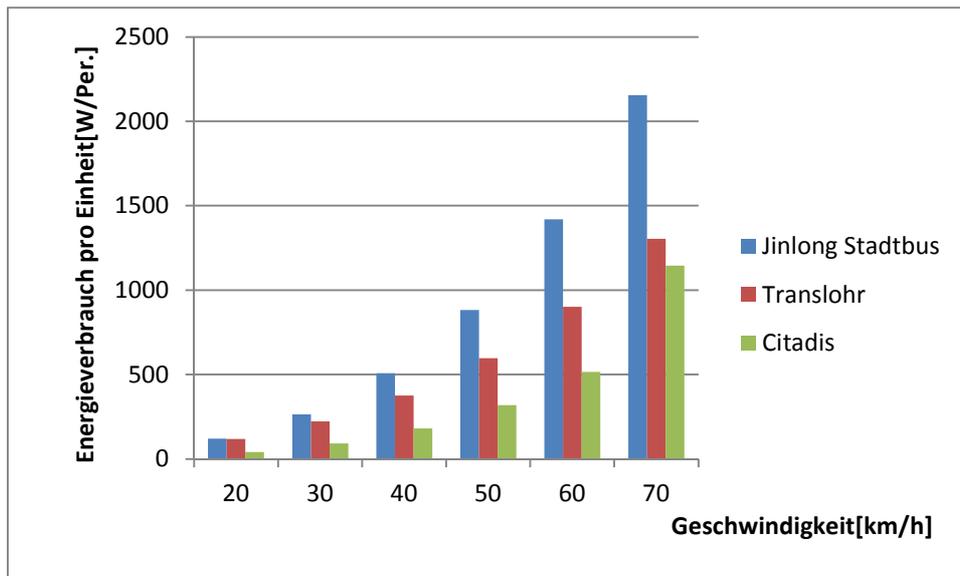


Abbildung 4-10 Einheitsenergieverbrauch von verschiedenen Modells bei Vollast

Es ist in der Abbildung 4-10 zu sehen, dass der Energieverbrauch der Straßenbahn bei jeder Geschwindigkeit niedriger ist als der vom BRT. Außerdem ist der Verbrauch der Zweischienenstraßenbahn geringer als von der gummibereiften Straßenbahn. Wenn die Geschwindigkeit niedriger ist, ist der Energieverbrauch der gummibereiften Straßenbahn etwas niedriger als der des BRT, aber die beiden nähern sich einander. Wenn die Geschwindigkeit zunimmt, erweitert sich der Abstand zwischen dem Verbrauch von gummibereifter Straßenbahn und BRT nach und nach bis zu 65%. Wenn die Straßenbahn mit maximaler Geschwindigkeit fährt, nähert sich der Energieverbrauch der gummibereiften Straßenbahn dem der Zweischienenstraßenbahn.

B. Praktischer Vergleich

Der theoretische Energiebedarf des Fahrzeugs errechnet sich in einem idealen Zustand ohne Rücksicht auf Einflüsse wie die Morphologie der Linie (Steigung, Kurvenradien, etc.), die Umgebung der Fahrt, Fahrvermögen des Fahrers etc., oder Berücksichtigung des Energieverbrauchs an der Haltestelle.

Der theoretisch berechnete Energieverbrauch unterscheidet sich vom tatsächlichen Energieverbrauch, da hier noch andere Faktoren, wie der Wirkungsgrad des Motors, Leistungsverlust etc. einberechnet werden müssen.

Entsprechend einer Statistik der aktuellen betrieblichen Daten des Automobilherstellers *Yutong*, beträgt der tatsächliche Dieserverbrauch des *Yutong BRT-Bus (ZK6180HGC)* mit einer Länge von 18 m durchschnittlich 57 Liter pro hundert Kilometer [116], wobei die Belastung bei 160 bis 200 Fahrgäste liegt. Nach einer Schätzung der „*US Energy Foundation*“ aus dem

Jahr 1999, liegt der Dieserverbrauch von BRT bei 1,6 Tonnen/100 Mio. Pers./km. In der deutschen Stadt Mannheim wurde der tatsächliche Energieverbrauch der örtlichen Straßenbahn erhoben und ein Einheitsenergieverbrauch [117] von 0.103 kWh / Pers./km festgestellt. In Kanada, Edmonton wurde dagegen ein Einheitsenergieverbrauch bei der modernen Straßenbahn von 0.05 kWh/Pers./km [118] ermittelt. Die praktischen Daten des Einheitsenergieverbrauchs von BRT und Straßenbahn werden in Tabelle 4-14 zusammengefasst und verglichen.

Tabelle 4-14 Vergleich des Einheitsenergieverbrauchs von BRT und Straßenbahn

Type	Datenerheber	Energieverbrauch	Einheitsenergieverbrauch [kWh/Pers./km]
BRT	BRT-Bushersteller Yutong in China	57L Diesel/ Fz/100 km	0.109
	US Energy Foundation	1,6 Tonnen Diesel/100 Mio. Pers./km	0.073
Straßenbahn	Mannheim, Deutschland	0.103 kWh/Pers./km	0.103
	Edmonton, Kanada	0.05 kWh/Pers./km	0.05

Aus Tabelle 4-14 ist der Einheitsenergieverbrauch des BRT relativ höher als der der Straßenbahn, dies ist im Einklang mit den theoretischen Ergebnissen.

4.5.2 Vergleich der Umweltverschmutzung

BRT- und moderne Straßenbahnsysteme nutzen beide neuartige Fahrzeuge mit niedrigem Stromverbrauch und geringen Emissionen. Durch Maßnahmen wie Eigenspur, Signalpriorität etc., wird das häufige Beschleunigen und Abbremsen von BRT-Fahrzeugen und Straßenbahn verringert und die Abgase der Fahrzeuge reduziert. Trotzdem gibt es immer noch Umweltbelastungen wie Lärm, Emissionen usw. während des Betriebs. Luftverschmutzung findet in jedem Stadium statt, sowohl beim Bau, Betrieb als auch bei der Fahrzeugherstellen oder Wartung. Die dabei erzeugten Umweltverschmutzungen sind jedoch in unterschiedlicher Stärke. Die Umweltverschmutzungen beim Bau, bei der Fahrzeugherstellung sowie beim Unterhalt sind niedrig und dauern nur kurz. Gegenüber der Betriebsphase sind die Verschmutzungen in diesen Zeiträumen vernachlässigbar. Um die Analyse zu vereinfachen, werden im Rahmen dieser Arbeit nur Lärm und Abgase von BRT und Straßenbahnsystemen während des Betriebs berücksichtigt.

(A) Lärmbelastung

Der Lärm des BRT wird v.a. vom Motor, Abgas, Vibrationen, Bremsanlagekühlung und vom Getriebe verursacht. Außerdem verursachen auch die erzeugten Turbulenzen des Luftstroms sowie die Auspuffanlagen und die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn während der Fahrt den Lärm. Unter diesen ist der Motor die Hauptquelle des Lärms. Die Größe dieses Lärms wird vorwiegend von der Geschwindigkeit, der Motorleistung und der Qualität der Straßen etc. beeinflusst. Gemäß der „Bewertungsnorm der Umweltverträglichkeit von Stra-

Benbauprojekten (Test)“ (JTJ005-96) kann die Stärke des Lärms des BRT nach folgender Formel 4-14 ermittelt werden:

$$L_w = 77,2 + 0,18v \quad 4-14$$

mit: L_w durchschnittlichen abgestrahlten Schallpegel von großem Fahrzeug [dB(A)]

v durchschnittliche Geschwindigkeit von großem Fahrzeug [km/h]

Die durchschnittliche Geschwindigkeit des BRT liegt bei 16-32 km/h. Nach der Formel 4-15 beträgt der Lärmpegel des BRT bei diesen Geschwindigkeiten zwischen 80,08 bis 82,96 dB(A). In der Praxis liegt der Lärm des BRT-Systems in Xiamen im Moment bei 88 dB(A), in der Zukunft werden Werte bis 86,77dB (A) erwartet, entsprechend einer Studie des *Südchinesischen Instituts für Umweltwissenschaften* unter dem staatlichen „Ministerium für Umweltschutz“ [119].

Der Lärm der Zweischienenstraßenbahn wird hauptsächlich von der Reibung zwischen Stahlrädern und Schienen verursacht. Deren wichtigste Einflussfaktoren sind Geschwindigkeit, Glätte der Schiene, Qualität der Schienenbefestigung etc. Die moderne Straßenbahn verwendet nahtlose verlegte Schienenstücke, verbesserte Dämpfung-Technologie des Gleises. Mit diesen Maßnahmen konnten die Laufgeräusche der Straßenbahnen im Vergleich zu den alten Modellen erheblich gesenkt werden. Die gummibereifte Straßenbahn verwendet die modernste Software-Technologie bei Traktion und Bremse usw. und erreicht damit, auch durch Hardware wie Gummireifen, elastischen Verschluss, vibrationsarme und nahtlose Langschienenstücke, ein geringeres Lärmniveau.

Der Lärmbereiche der Zweischienenstraßenbahn (Citadis Serie) liegen zwischen 62~76 dB(A), hingegen liegt der Lärmbereich der gummibereiften, spurgeführten Straßenbahn (Translohr Serie) zwischen 62 ~78 dB(A) [95].

Zusammenfassend ist die Lärmbelastigung des BRT höher als die der Straßenbahn und erreicht maximal einen Lärmpegel bis 10 dB(A).

(B) Luftverschmutzung

Das öffentliche Verkehrssystem verursacht Luftverschmutzung vor allem während des laufenden Betriebes. Die wesentlichen Luftschadstoffe durch Abgase der Kraftfahrzeuge sind vor allem Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), Kohlenwasserstoffe (HC) sowie Partikel (PM). Busse leiten ihre Schadstoffe, die durch die Verbrennung von Diesel, Benzin, Erdgas und anderen Brennstoffen entstehen, direkt in die Atmosphäre (direkte Emissionen). Das BRT stellt durch die Umsetzung einer Vielzahl von Strategien wie der Einführung von Bus-

spuren, Signalpriorität, der eigenen verbesserten Haltestelle etc. eine Verbesserung dar: Dessen Schadstoffemission konnten signifikant reduziert werden im Vergleich mit dem herkömmlichen Bus. Tabelle 4-15 [120] zeigt die Emissionen der herkömmlichen Busse und BRT-Diesel -Fahrzeuge in der Spitzenzeit in Peking.

Tabelle 4-15 einzelnen Schadstoffen der Emission von der herkömmlichen Bus- und BRT-Diesel-Fahrzeuge in der Spitzenzeit in Peking

Zeitabschnitt	Fahrzeugtype	Werte von der einzelnen Schadstoffen (g/km)			
		NO _x	HC	CO	PM
Spitzenzeit am Morgen (7:00-9:00)	normaler Bus	8,228	0,0996	3,584	0,098
	BRT	6,06	0,073	2,697	0,073
	Reduktionsprozent[%]	26,349	26,71	24,75	25,51
Spitzenzeit am Abend (19:00-21:00)	normaler Bus	9,55	0,116	4,103	0,114
	BRT	6,852	0,082	2,964	0,082
	Reduktionsprozent[%]	28,25	29,31	27,76	28,07
durchschnittliche Werte der Schadstoffe von BRT		6,456	0,078	2,831	0,078

In der Tabelle 4-15 ist zu sehen, dass alle vier Arten von Schadstoffemissionen des BRT in Spitzenzeit geringer sind als die der herkömmlichen Busse. Die Reduktionsraten der vier Arten von Schadstoffen in Spitzenzeiten am Abend betragen 28,25%, 29,31%, 27,76% und 28,07%. Durch Datenvergleich wird deutlich, dass die Reduzierung der HC-Emissionen durch das BRT am effektivsten ist. deren Rate beträgt 29 % pro Kilometer während die Reduzierungsraten für die drei anderen Schadgase auch alle 27 % überschreiten. Die deutlich geringere Emissionsrate der BRT-Fahrzeuge im Vergleich zu herkömmlichen Bussen ist auf die Durchführung einer Reihe von verbesserten Maßnahmen zurückzuführen. Dadurch nehmen die Anzahl des Anhaltens und der Anteil langsamer Fahrt ab. Gegenüber dem BRT fährt der normale Bus mit häufigem Beschleunigen und Abbremsen. Während Beschleunigung und Abbremsen steigen die Emissionen deutlich, was zu einem entsprechenden Anstieg der Emissionen des gesamten Prozesses führt. Dies zeigt, dass Fahren bei niedriger Geschwindigkeit für eine lange Zeit oder ständiges Beschleunigungen und Bremsen direkt den Anstieg der Emissionen von Schadstoffen zur Folge haben.

Die oben genannten Daten sind die Werte von Emissionen pro Fahrzeug und Kilometer ohne Berücksichtigung der Auswirkungen der Fahrgastanzahl im Fahrzeug. Um die Daten vergleichbar zu machen, werden die Daten in Tabelle 4-15 in Werte von Emission pro Person und Kilometer umgerechnet. Aus der Literatur [121],[122] kann entnommen werden, dass Pekinger BRT-Fahrzeug durchschnittlich 63 Fahrgäste in Spitzenstunden befördern, so ergeben sich für die einzelnen Schadstoffe durchschnittliche Emissionsraten pro Person in Spitzenzeiten am Morgen und Abend von NO_x 0,102 g/Pers., für HC 0,001 g/Pers., für CO 0,045 g/Pers., für PM 0,001 g/Pers.

Die Straßenbahn ist elektrisch angetrieben. Sie gibt Schadstoffen während des laufenden Betriebes nicht direkt in die Atmosphäre ab, sondern verwirklicht eine Null-Emissionen (direkte Emissionen). Wenn die Kraftwerke, die der Straßenbahn den elektrischen Strom zur Verfügung stellen, durch saubere Energie wie Wind, Wasser oder Atomenergie elektrische Energie erzeugen, geht die Luftverschmutzung gegen null Emission (indirekte Emissionen). Wenn diese Kraftwerke jedoch Kohle, Gas oder Erdgas für die Stromerzeugung nutzen, wird auch ein gewisses Maß an Luftverschmutzung durch Ruß, Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) etc. verursacht. Deshalb hängen die indirekten Emissionen der modernen elektrisch betriebenen Straßenbahn von der Energiestruktur der Stromerzeugung jeder einzelnen Nation ab. Die Schweiz verfügt beispielsweise über einen geringen Anteil an thermischer Energie und in Frankreich ist nukleare Stromerzeugung weit verbreitet. Deren indirekten Schadstoffemissionen sind dadurch niedriger. In China ist der Anteil an thermische Leistung sehr hoch, deshalb ist die indirekte Verschmutzung der modernen Straßenbahn relativ höher. Die direkten Emissionen der BRT-Fahrzeuge sind v.a. CO, NO_x, HC, PM während die indirekten Emissionen der Straßenbahn vorwiegend aus Ruß, SO₂, NO_x bestehen. Außer NO_x differenzieren sich die anderen Emissionen von BRT und Straßenbahn. Deren Verschmutzungsgrad und die dadurch dem Menschen zugefügten Schäden sind ebenfalls unterschiedlich. Aus obengenannten Gründen ist ersichtlich, dass es keinen präzisen Wert für die indirekten Emissionen der Straßenbahn geben kann. Die Luftverschmutzung von BRT und Straßenbahn unterscheidet sich also sowohl hinsichtlich der ausgestoßenen Stoffe also auch hinsichtlich der Intensität. Ein Vergleich der Emissionen ist nicht machbar. In dieser Arbeit werden die Emissionen der Straßenbahn als Null behandelt. Das heißt, die indirekte Emission der Straßenbahn wird vernachlässigt.

Aus der konkreten Analyse ergibt sich, dass die Luftverschmutzung der modernen Straßenbahn viel geringer ist als die des BRT. Somit ist die Straßenbahn in diesem Punkt vorteilhafter als das BRT. Es gibt kein strombasiertes BRT in China, daher ist dieser Fall nicht in dieser Arbeit einbezogen.

4.6 Vergleich von Betrieb und Verwaltung

Das Niveau des Betriebes und der Verwaltung wirkt sich direkt auf die Wirksamkeit der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme aus. Betrieb und Verwaltung umfassen in diesem Fall u.a. drei Aspekte: Management-Modus, Betriebsart der Linie und intelligente Steuerung. Im folgenden Abschnitt wird die Betriebsführung von BRT und Straßenbahn in Bezug auf die drei genannten Aspekte vergleichend analysiert, um die relativen Vorteile von BRT- und Straßenbahn herauszuarbeiten.

4.6.1 Modus von Betrieb und Verwaltung

BRT- und Straßenbahnsysteme sind ein wichtiger Teil der städtischen ÖV-Strategie. Ihr Betrieb und ihre Verwaltung werden durch die Marktwirtschaft unter der Berücksichtigung des öffentlichen Interesses finanziert. Sie werden von der Verkehrspolitik beeinflusst. Die Modelle des Betriebs und der Verwaltung von BRT und Straßenbahn sind vielfältig.

Mit Blick auf in- und ausländische Betriebsarten des BRT werden sie in drei Kategorien unterteilt. In der ersten Kategorie wird das BRT-System direkt von den administrativen Abteilungen der Stadt verwaltet und betrieben, wie z.B. die BRT-Linie in Los Angeles. Das BRT-System dort wird vom „*Department der Metropole Los Angeles of Transportation Management*“ verwaltet [123], zu dem alle Haltstellen, Linien, Fahrzeuge, Betriebshofanlagen, sowie das Fahr- und Vertriebspersonal gehören. In der zweiten Kategorie ist das staatliche Unternehmen verantwortlich für den Betrieb des BRT-Systems, das meist in der Form einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung organisiert ist und die Infrastruktur des BRT und den Betrieb der Linie verwaltet. Fast alle chinesischen BRT-Systeme werden mit dieser Form betrieben und verwaltet. Die staatlichen Unternehmen können wiederum in zwei Kategorien unterteilt werden und zwar in vielseitige und einseitige betriebliche Staatgesellschaften. Die vielseitigen betrieblichen Staatbusgesellschaften betreiben und verwalten nicht nur die BRT-Systeme, sondern auch konventionelle Bussysteme, wie z.B. in Peking, Hangzhou, Zhengzhou, Changzhou, Chongqing, Hefei, Kunming. Dort werden BRT-Systeme von städtischen öffentlichen Verkehrsgesellschaften mit begrenzter Haftung (GmbH) betrieben. Die einseitige betriebliche Staatbusgesellschaft ist ausschließlich für den BRT verantwortlich, wie z.B. das Verwaltungsbüro für BRT in Xiamen, *die Xiamen BRT GmbH*. Zu der dritten Kategorie gehören Systeme, bei der die Verwaltung und der Betrieb geteilt werden. Die Infrastruktur, wie das Liniennetz, die Haltestellen oder Straßen wird durch staatliche Verkehrsunternehmen verwaltet. Der Betrieb der einzelnen Linien wird dagegen durch Ausschreibungen an private Unternehmen übergeben. Beispiel dafür ist die Verwaltung des BRT in Guangzhou, „*Guangzhou BRT Verwaltungs- und Betriebsgesellschaft GmbH*“, die für Station-Management, Korridorüberwachung, Dispositionkontrolle, Ticketing-Clearing-und Sortiere, Wartung der Infrastruktur und Werbung verantwortlich ist. Die einzelnen Linien werden aber von mehr als 10 Unternehmen betrieben. Die BRT-Linien in Curitiba werden auch durch 10 private Unternehmen bewirtschaftet.

Die Modi von Verwaltung und Betrieb der Straßenbahn können in drei Kategorien unterteilt werden. Bei der ersten Kategorie gründet die Regierung eine Organisation, die alle öffentlichen Verkehrssysteme inklusive U-Bahn, S-Bahn und Straßenbahn sowie die konventionellen Busse innerhalb einer Stadt verwaltet. Diese Organisation vergibt die Genehmigungen

zum Betrieb eines öffentlichen Verkehrssystems durch Übertragung oder Ausschreibung an verkehrliche Unternehmen, vor allem in Frankreich, Deutschland u.a. ist dies der Fall. In der zweiten Kategorie bewirtschaftet eine Schienengesellschaft separat schienengebundene ÖV-systeme, wie z.B. die Straßenbahn der Stadt Tianjin durch die „*Tianjin Binhai schnell ÖV Entwicklungs-GmbH*“. Diese verwaltet nicht nur das Straßenbahnsystem, sondern auch die S-Bahn-System. In der dritten Kategorie wird eine verkehrliche Gesellschaft geschaffen, die speziell für die Verwaltung und den Betrieb der Straßenbahn zuständig ist. Die Zhangjiang Straßenbahn in Shanghai wird beispielsweise von der „*Shanghai Pudong moderne Straßenbahnverkehr-GmbH*“ betrieben.

In China wird die Verantwortung für die Verwaltung des BRT üblicherweise von Unternehmen übernommen, die auch den Betrieb von konventionellen Busverkehrssystemen in der Hand halten. Diese Verkehrsunternehmen organisieren eine einheitliche Verwaltung und Bereitstellung des BRT und des konventionellen Busverkehrs zu Gunsten der Konvergenz zwischen dem BRT und konventionellem Bussystem. Darüber hinaus werden die BRT-Systeme in einzelnen Städten, getrennt von den konventionellen Busverkehrssystemen, von einer BRT-Gesellschaft betrieben, das ist z. B. in Xiamen und Guangzhou der Fall. Obwohl die beiden BRT-Systeme nicht mit den konventionellen Verkehrssystemen zu den gleichen Unternehmen gehören, haben die BRT-Gesellschaften der zwei Städte einen engen Kontakt mit den Unternehmen, die für die konventionellen Busverkehrssysteme zuständig sind, um eine reibungslose Kommunikation und Koordination zwischen den BRT-Gesellschaften und den Busunternehmen zu ermöglichen. Daraus leitet sich ab, dass der Modus der Verwaltung und des Betriebes des BRT in China nützlich für Integration des BRT und anderen Bussystemen als Ganzes ist, da sich dadurch das gesamte städtische Nahverkehrssystem nachhaltig und wirksam entwickeln kann.

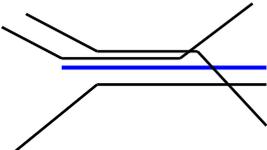
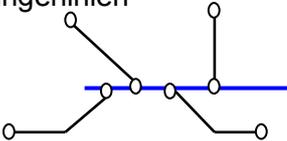
Demgegenüber unterstehen die Straßenbahn und die konventionellen ÖV-Systeme in China verschiedenen Verwaltungsorganisationen während die Straßenbahn entweder separat von einer Straßenbahngesellschaft oder von einer schienengebundenen Gesellschaft mit anderem Schienenverkehr zusammen verwaltet und betrieben wird. Dies führt zu Problemen bei der Kommunikation, Koordination und Verbindung zwischen Straßenbahn und konventionellem ÖV-System. Ab und zu kommt es zu einer negativen Konkurrenz zwischen beiden Systemen, dadurch wird dem gesamten städtischen Nahverkehrssystem geschadet. Die von der Schienengesellschaft betriebene Straßenbahn kann mit anderem Schienenverkehr innerhalb gleicher Gesellschaft binden.

Alles in allem ist der Modus der Verwaltung und des Betriebs des BRT in China heutzutage besser als der von der Straßenbahn, denn er sorgt für Konvergenz und Koordination zwischen BRT und konventionellem ÖV-System und ist damit, im Vergleich zum Straßenbahn-Modus, besser zur Verwaltung des integrierten und gesamten städtischen Nahverkehrs geeignet.

4.6.2 Betriebsweise der Linie im Vergleich

Ein Schnellverkehrskorridor kann von mehreren ÖV-Linien befahren werden. Wie viele Linien auf dem Korridor laufen können, hängt von der Lage des Korridors, der Richtung des Verkehrsflusses, der Beschaffenheit des Korridors etc. ab. Um auf dem Korridor sicher und reibungslos mit hohem Bedienungsniveau laufen zu können, sollten ÖV-Linien durch eine flexible Betriebsweise an die Nachfrage der Verkehrsstrom angepasst werden, damit sie die Nutzung der schnellen Nahverkehrsanlage maximieren. Inländische und ausländische Städte suchen entsprechend ihren jeweiligen Eigenschaften und ihrem Entwicklungsbedarf aktiv nach geeigneten Entwicklungsweisen der schnellen Nahverkehrssysteme. Es können zwei Betriebsarten unterschieden werden: „eigener Korridor+ eigene Linie“ Modus (exklusive Mode) und „eigener Korridor+ flexible Linien“ Modus (Multi-Mode) [124], dies werden in der Tabelle 4-16 gezeigt.

Tabelle 4-16 Betriebsarten der schnellen Nahverkehrslinien

Linie-Modus	Diagramm
„eigener Korridor+ eigene Linie“	
„eigener Korridor+ flexible Linien“	Haupt- und Nebenlinien 
	Haupt- und Zubringerlinien 

➤ „eigener Korridor+ eigene Linie“ -Modus

„eigener Korridor+ eigene Linie“ Modus bedeutet, dass die Eigenlinie (Fahrzeuge) eines schnellen Nahverkehrssystems in seinem spezifischen Korridor läuft, gleichzeitig kann sie nur in diesem Korridor hin- und zurückfahren. Dieser Modus setzt in der Regel verbesserte Großraumfahrzeuge voraus und hat dadurch eine große Beförderungskapazität, jedoch eine niedrige Abdeckung. Um den starken Verkehrsbedarf in dem Korridor zu befriedigen, werden

eine Vielzahl von Zubringerlinien für die Fahrgastbeförderung und Speisung der Linien an beiden Enden des Korridors eingerichtet. Dieser Modus stellt hohe Anforderungen an die Nachfrage nach Straßenraum, deshalb ist seine allgemeine Anwendbarkeit begrenzt. Er gilt für Korridore mit einem signifikanten linienförmigen Personenverkehrsaufkommen. Linienförmige Verkehrsnachfrage bezeichnet vielen Personenverkehr entlang eines geraden Korridors auf beiden Seiten oder an beiden Enden. Die Einsammlung und Verteilung der Verkehrsströme werden nur durch die eigene Linie in dem Korridor erledigt.

Es gibt drei Vorteile bei dem Modus: Der erste Vorteil ist, dass die Mehrheit der Fahrgäste aus dem Einzugsbereich des Korridors stammen, die ÖV-Linien (oder Fahrzeuge) decken daraus die meisten Fahrten im Korridor. Großräumige ÖV-Fahrzeuge sowie eine spezifische verkehrspolitische Bevorrechtigung heben die Transporteffizienz und das Service-Level der ÖV-Linie in dem Korridor.

Zweitens sind die Laufrichtung und Funktionen von dieser ÖV-Linie im Einklang mit der konventionellen ÖV-Linie, die vorher im Korridor fuhr. So ist es einfach und leicht, die Fahrgastströme von den konventionellen Nahverkehrslinien zu der schnellen Nahverkehrslinie zu übertragen.

Drittens, die Umstellung der bestehenden ÖV-Linien ist positiv und die Umsetzung ist nicht schwer. Auswirkungen auf vorhandene Reise der Fahrgäste sind gering.

Für einen Korridor, der nicht hauptsächlich von linienförmigem Verkehr geprägt ist, kann jedoch die Ersetzung der alten Buslinien durch die schnelle ÖV-Linie problematisch sein, da sie nicht gut in die alten ÖV-Linien angepasst werden kann. Durch die radikale Umstrukturierung der vorhandenen ÖV-Linien auf den neuen Modus können Direktverbindungen und die Erreichbarkeit des bestehenden ÖV-Netzes zerstört werden. Darüber hinaus schadet eine Umstellung durch die Erhöhung der Umsteigezeiten dem Gesamtniveau des Services für den öffentlichen Nahverkehr.

➤ **„eigener Korridor+ flexible Linien“ -Modus**

Dieser Modus bedeutet, dass die schnelle ÖV-Linie sowohl innerhalb, als auch außerhalb des Korridors laufen kann. Der Modus kann wiederum in zwei Typen unterteilt werden, nämlich Haupt- und Nebenlinien und Haupt- und Zubringerlinien. Bei dem Modus werden i.d.R. mittel-kapazitive Fahrzeuge angewendet, die Anforderungen an Straßenraum und Tragfähigkeit sind relativ gering, er bildet leicht ein Netz und verwirklicht dazu eine hohe Abdeckung.

Er hat eine bessere Anwendbarkeit in einem Korridor mit intensiver Belegung durch ÖV-Linien, ohne eine wesentliche Linienform.

Der Modus hat folgende Vorteile: bessere Anpassungsmöglichkeit an die Straßen und an den Passagierstrom; eine Anwendung leichter Fahrzeuge ist möglich, der Modus kann ohne große Änderungen an die bestehende Straßennetzstruktur angepasst werden, ÖV-Linien können leichter vernetzt werden, um die Umstrukturierung und Erneuerung der bestehenden ÖV-Linien zu erreichen. Darüber hinaus könnte der Abdeckungsbereich des schnellen-ÖVs erweitert und sein Beförderungsanteil erhöht werden, um damit den Wirkungsgrad des Korridors und die Effizienz des Gesamtsystems zu heben. Aber im Vergleich mit „eigener Korridor+ eigene Linie“-Modus, ist die Beförderungsgeschwindigkeit und -Leistung dieses Modus niedriger und die verkehrliche Organisation ist komplexer.

Insgesamt sind die Anwendungsbedingungen beiden Modi unterschiedlich, sie haben eigene Vor- und Nachteile und Anwendungsbereiche, wie in Tabelle 4-17 angegeben.

Tabelle 4-17 Betriebsweisen der schnellen und mittel kapazitiven Linie im Vergleich

Typen		Vorteile	Nachteile	Anwendungsbereich
„eigener Korridor+ eigene Linie“		Korridor überlappt sich erheblich mit ÖV-Linie; Betrieb ist einfach mit hohem Service-Level	Erreichbarkeit ist unzureichend, Umsteigen ist nötig, Ausnutzungsgrad ist nicht hoch.	Korridor mit vorwiegend linienförmige Fahrgastströme; Als Alternative der S oder U-Bahn.
„eigener Korridor+ flexible Linien“	Haupt- und Nebenlinien	Umsteigefrei, Ausnutzungsgrad des Korridor ist hoch	Stark Fahrzeugstrom, verkehrliche Organisation ist schwer	dichte ÖV-Linien auf überlappten Strecke; Korridor mit nicht deutlich linienförmiger Nachfrage
	Haupt- und Zubringerlinien	Breiter Abdeckungsbe- reich, Korridor überlappt sich sehr mit Hauptlinie; deren Betrieb ist einfach mit hoch Service-Level	Umsteigen ist nötig, damit länger Reisezeit für Fahrgäste, Ausnutzungsgrad des Korridors ist nicht hoch	linienförmige Nachfrage der Hauptlinie; Fahrgastquelle oder -ziele ist weiter außer Korridor,

Der Betrieb des BRT ist flexibel, es kann in- und außerhalb der Korridor Grenzen betrieben werden, die Betriebsart der Linien ist vielfältig, die oben genannten Modi deshalb alle anwendbar. Aufgrund der Fokussierung des linienförmigen Verkehrsflusses verwenden die BRT-Systeme in Curitiba (Brasilien) und Bogotá (Kolumbien), sowie die erste Linie in Peking den „eigener Korridor+ eigene Linie“-Modus. Der BRT in Xiamen gehört auch zu diesem Modus durch komplettes Viadukt, wobei der Wechsel vom BRT zur S-Bahn in Zukunft bei der Stadtplanung erwartet wurde. Um den Ausnutzungsgrad des Korridors zu erhöhen, verwenden die BRT Systeme in Hangzhou, Guangzhou, Hefei etc. den „Haupt- und Nebenlinien“ Modus; Einige BRT-Systeme in anderen Städte nehmen den „Haupt- und Zubringerlinien“ Modus auf.

Die Straßenbahn dagegen unterliegt den Beschränkungen der Schienen, deren Betriebsmodus einseitig ist. Deshalb überwiegt bei der Straßenbahn in China der „eigener Korridor+“

eigene Linie“ -Modus. Die Straßenbahnsysteme in Shanghai, Tianjin und Dalian verwenden alle diesen Modus. Nur in wenigen Städten Europas wendet die Straßenbahn den „Haupt- und Nebenlinien“ Modus an, auf Strecken mit hohen Fahrgäströmen in Stadtzentren laufen mehrere Straßenlinien auf demselben Gleis, auf anderen Strecken aber wieder nur eine einzige Linie. Zusammenfassend sind die Betriebsarten der BRT-Linien flexibler als Straßenbahnlinien, dies ist für die Erhöhung des Ausnutzungsgrads des Korridors und den sämtlichen Wirkungsgrad des öffentlichen Nahverkehrs von Vorteil.

4.6.3 Intelligentes Steuerungssystem (IS) im Vergleich

Um das schnelle und mittel-kapazitive Nahverkehrssystem erfolgreich zu betreiben, setzen das BRT- und Straßenbahnsystem beide ein hoch technisches, hoch effizientes, zuverlässiges und praktisches intelligentes Steuerungssystem zur Verwaltung und Kontrolle des ganzen betrieblichen Ablaufs ein, damit die ÖV-Priorität gewährleistet wird, eine vernünftige Betriebsplanung eingehalten werden kann, die Fahrgäste schnell ein- und aussteigen können, die Beförderung sicher und bequem und die Bedienung gut ist. Das Intelligente Steuerungssystem des schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems besteht aus einem genauen, effizienten und integrierten dynamischen Management-System, das die informative Technologie, Datenkommunikationstechnologie, Technologie des elektronischen Sensors, der elektronischen Steuerung und elektronische Datenverarbeitung auf das schnelle und mittel-kapazitive Nahverkehrssystem anwendet, damit sich die Integration der „Fahrgast-ÖV-Fahrzeuge-Linie-Haltestellen“, intelligente Überwachung, Disposition, Verwaltung und Dienste verwirklichen lassen. Das IS ist ein komplexes, integriertes System aus mehreren miteinander verbundenen und wirkenden Teilsystemen. Die Teilsysteme von BRT und Straßenbahn unterscheiden sich nur wenig, aber um ein Intelligentes Steuerungssystem des schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems zu bilden, sollten vorwiegend die Subsysteme wie das dynamische Informations-Service-System, intelligente Dispositionssystem und Steuerung von ÖV-Priorität etc. existieren. Ein dynamisches Informations-Service-System bietet dem Dispositionszentrum und dem Signal-Steuerungssystem durch Sensoren und Kommunikationsausrüstung die dynamische Information und aktualisiert rechtzeitig Informationen wie Nummer, Position, Geschwindigkeit, Ankommen und Verspätung der ÖV-Fahrzeuge an der Haltestelle. Ein intelligentes Dispositionssystem führt die Überwachung und Kontrolle der ÖV-Fahrzeuge durch Fahrzeugausstattung und Information-Transfers-System durch. Das Signalsteuerungssystem für die ÖV-Priorität verwirklicht die Priorität der ÖV-Fahrzeuge durch einen Sensor, Satelliten-Positionierungs-Technologie etc. Die Ansätze des Signalsteuerungssystems unterscheiden sich in passive Priorität, aktive Priorität und Echtzeit-Priorität.

Das intelligente Steuerungssystem des BRT schließt das Netzwerk-Übertragung-Subsystem, betriebliche Disposition-Subsystem, Fahrzeug-Stellungsfeststellung-Subsystem, Automobil-elektronik-Subsysteme, elektronische Haltestelleinformation-Subsysteme, Parkplatz-Management-Subsystem, Signal-Priorität-Subsystem, das Depot-Video-Monitoring-Subsystem, das Unternehmen-Management-Information-Subsystem, integrierte intelligente Management-Plattform etc. ein. Es bietet dem intelligenten System des BRT eine stabile, zuverlässige Hard-und Software-Support-Plattform [125].

Das intelligente Steuerungssystem der Straßenbahn umfasst ein Glasfaser-Kommunikation-Netzwerk-Subsystem, ein Fahrzeug-Ortungssystem, sowie ein Videoüberwachungs-Subsystem, drahtlose digitale Kommunikations-Subsystem, das Fahrzeug-Terminal-Subsystem, Haltestelle-Fahrgastinformationssystem, Weiche-Steuerungssysteme, Signalanlagen und -Leitstellen, Strom-Steuerungssysteme und Software-Systeme [126].

Durch den Vergleich wird deutlich, dass sich die IS-Subsysteme von BRT und Straßenbahn zwar unterscheiden, substantiell jedoch auch Gemeinsamkeiten aufweisen. Beiden beruhen auf der modernen Netzwerk-Technologie als Unterstützung und enthalten ein Monitoring-System, Fahrzeug-Positionierung-System, Parkleitsystem, Signal-Steuerung-System als Management-System; beide besitzen auch elektronische Fahrzeug-Subsysteme und Haltestellen-Subsysteme als Fahrgast-Service-System. Gleichzeitig ist das IS der Straßenbahn komplexer als das vom BRT, weil die physikalischen Strukturen von BRT und der Straßenbahn sich unterscheiden und das IS der Straßenbahn mit zusätzlichen Weichen- und Stromsteuerungssystemen ausgestattet sein muss.

4.7 Vergleich der Anpassungsmöglichkeit

Der öffentliche Nahverkehr sollte sich der Orientierung der Stadtentwicklung, den Bedürfnissen der wirtschaftlichen Entwicklung und Verkehrsentwicklung etc. anpassen. Die schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme spielen verschiedene Rollen und wirken unterschiedlich im gesamten städtischen Nahverkehrssystem wegen der Unterschiede in der Größe der Stadt, der verkehrlichen Nachfrage, der Raumordnung und anderer Faktoren. Sie können sowohl als Erweiterung und Ergänzung der U- oder S-Bahn, als auch als Rückgrat des öffentlichen Nahverkehrs verwendet werden; je nachdem, wie die Faktoren in konkreten Fällen sind. Daher sollten bei der Wahl eines öffentlichen Verkehrssystems Faktoren die Stadtentwicklungsplanung, städtische Größe, das Niveau der wirtschaftlichen Entwicklung, Verkehrsaufkommen, städtische Verkehrsinfrastruktur, sowie Stadtimage etc. berücksichtigt werden.

4.7.1 Vergleich der Anpassungsmöglichkeit der Stadtgröße und des Wirtschaftsniveaus

Die Investitionen des Baus eines mittelstufigen BRT- und Straßenbahnsystems sind groß. Ihr Bau erfordert eine hohe Investition. Außerdem muss die Regierung während der Betriebsphase den Betriebszustand ständig subventionieren. Deshalb ist es notwendig, dass eine Stadt, die ein schnelles und mittel-kapazitives ÖV-System einsetzen will, eine gewisse wirtschaftliche Kraft aufweisen kann. Die Investitionskosten des mittelstufigen BRT- und Straßenbahnsystems sind unterschiedlich, damit ist deren Anforderung an die Wirtschaftskraft der Stadt auch nicht gleich. Mit welchem Niveau der Wirtschaftskraft kann die Stadt das schnelle und mittel-kapazitive System aufbauen? Bisher gibt es kein einheitliches Argument und auch die Experten und Fachleute haben unterschiedliche Ansichten. Daher wird in dieser Arbeit ausgehend von der Analyse und dem Vergleich der Größe und der wirtschaftlichen Stärke der chinesischen Städte, die das schnelle und mittel-kapazitive System eingeführt haben oder zurzeit bauen, beurteilt, welches schnelle und mittel-kapazitive System, BRT oder Straßenbahn, sich durch eine höhere wirtschaftliche Anpassungsmöglichkeit auszeichnet.

Tabelle 4-18 listet Größe, Bevölkerungszahl und wirtschaftliches Niveau der chinesischen Städte mit BRT in Betrieb auf. Es wird deutlich, dass acht Städte davon Hauptstädte der Provinz und fünf andere auch wirtschaftlich entwickelte Städte sind. Alle dreizehn Städte haben Gemeinsamkeiten: eine relativ hohe Bevölkerungsanzahl sowie ein starkes Wirtschaftsniveau. Im Baujahr des BRT lagen die Bereiche der Bevölkerungsanzahl zwischen 2,49 und 23,89 Mio., die bebauten Fläche zwischen 104 und 1289 km², BIP (Bruttoinlandsprodukt) zwischen 131,1 und 1060,4 Mrd. CNY, die Steuereinnahmen zwischen 18,6 und 74,5 Mrd. CNY. Der Anteil der Steuereinnahmen an BIP beträgt zwischen 6,2% und 17,4%. Diese Größe und Wirtschaftskraft liegt an der Spitze unter chinesischen Städten in China. Dies beweist auch, dass die Faktoren städtische Größe, Bevölkerungsanzahl, und Wirtschaftsniveau beim Bau des BRT eine wichtige Rolle spielen. Auf vorhandenen Statistikdaten liegen die untere Grenze der Größe von 104 km², der Bevölkerungsanzahl von 2,49 Mio., BIP von 131,1 Mrd. CNY und der Steuereinnahmen von 14,8 Mrd. CNY in der Stadt mit BRT.

Tabelle 4-18 Größe und Wirtschaftsniveau der chinesischen Städte während der Bauzeit des

BRT

Stadt	Baujahr [127]	Bevölkerungs- Anzahl (Mio.) [128]	Fläche [129](km ²)	BIP (Mrd. CNY)	Steuereinnahmen (Mrd. CNY)
Peking	2004	14,93	1289,3	428,33	74,45
Hangzhou	2006	7,73	344,48	344,099	30,139
Changzhou	2008	5,11	112,5	220,22	18,52
Chongqing	2008	23,89	667,5	509,666	57,724
Dalian	2008	6,13	258	385,82	33,91
Xiamen	2008	2,49	127	156,002	22,023
Jinan	2008	6,63	315,3	301,74	18,6
Zhengzhou	2009	7,52	321	330,04	30,19
Yancheng	2010	7,26	125	226,626	19,135
Zaozhuang	2010	3,73	103,7	136,204	13,741
Guangzhou	2010	12,70	844	1060,448	87,265
Hefei	2010	5,70	225	270,25	25,943
Ürümqi	2011	3,11	236	131,1	14,799

Tabelle 4-19 Größe und Wirtschaftsniveau von Städten mit Straßenbahnen in Betrieb und in Bau in China

Stadt	Zustand	Bau- jahr	Bevölkerungs- anzahl [130](Mio.)	Fläche [129] (km ²)	BIP [128] (100 Mio. CNY)	Steuereinnahmen[128] (100 Mio. CNY)
Dalian	In Betrieb	2002	5,58	258	140,60	20,01
Tianjin	In Betrieb	2006	10,75	571,5	433,77	92,56
Shanghai	In Betrieb	2007	13,79	885,7	1200,12	210,26
Shenyang	In Bau	2012	7,23	347	591,49	62,01
Foshan	In Bau	2011	7,19	145	565,15	30,60

In Tabelle 4-19 sind Größe, Bevölkerungszahl und wirtschaftliches Niveau der chinesischen Städte mit Straßenbahn in Betrieb oder in Bau dargestellt. Wie man sieht, sind drei Städte davon die Provinzhauptstädte und zwei andere auch wirtschaftlich gut entwickelte Städte. Die fünf Städte haben Gemeinsamkeiten: relativ hohe Bevölkerungszahl, starkes Wirtschaftsniveau unter allen Städten in China. Beim Bau der Straßenbahn liegen die Bereiche der Bevölkerungszahl zwischen 5,58 und 13,79 Mio., der bebauten Fläche zwischen 145 und 886 km², BIP zwischen 140,6 und 1200,1 Mrd. CNY, der Steuereinnahmen zwischen 20,01 und 210,3 Mrd. CNY. Diese Größe und Wirtschaftskraft liegt an der Spitze der chinesischen Städte. Dies beweist auch, dass die Faktoren städtische Größe, Bevölkerungszahl, Wirtschaftsniveau beim Bau der modernen Straßenbahn eine wichtige Rolle spielen. Diesen Erfahrungen gemäß liegen die Städte mit Straßenbahn in China bisher mindestens von 145 km², mit einer Bevölkerung von 5,58 Mio., BIP von 140,6 Mrd. CNY, Steuereinnahmen von 20 Mrd. CNY.

Aus den niedrigsten Kennwerten der Größe, Wirtschaftsniveau etc. der Städte mit bereits umgesetzten oder im Bau befindlichen schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystemen sind die minimalen Werte der Indikatoren der Bevölkerungsanzahl und des Wirtschaftsniveaus in den Städten mit BRT unterhalb dies der Straßenbahn. Daher sind die Anforderungen des Baus des BRT auf Stadtgröße und Wirtschaftslevel niedriger als die des Baus einer modernen Straßenbahn.

4.7.2 Vergleich der Anpassungsmöglichkeit an den Fahrgaststrom

Verschiedene Nahverkehrssysteme passen zu verschiedenen Fahrgastströmen. BRT und Straßenbahn bilden dabei keine Ausnahme. Die Investitionen von den beiden sind bei weitem höher als die des herkömmlichen bodengebundenen Verkehrssystems. Um die Ressourcen nicht zu verschwenden, müssen die beiden Systeme mit entsprechenden Fahrgastströmen übereinstimmen. Wenn die Leistungsfähigkeit von BRT oder Straßenbahn überschritten wird, kann die Fahrtnachfrage im Korridor nicht befriedigt werden. Falls aber der Fahrgaststrom zu gering wäre, würden die Unternehmen die Frequenz der Bedienung reduzieren, um die Kosten zu senken, dadurch würde aber der Ausnutzungsgrad des Korridor zu gering werden und diese Verschwendung knapper Ressourcen der Straße würde zu dem vermehrten Einwand von Autofahrer führen, dies wäre der Entwicklung des BRT oder Straßenbahn nicht förderlich. Der Analyse der Beförderungsleistung in Abschnitt 4.3.1 gemäß liegt die theoretische Transportkapazität des BRT bei 4.800 bis 30.000 Pers./h. Richtung. Um über dem maximalen Wert zu liegen, ist es nötig, zwei eigene Spuren in jede Richtung und 4 bis 5 Haltepositionen an eine Haltstelle zu errichten. Aber die Errichtung von zwei Busspuren in jede Richtung hat strikte Anforderungen an die Breite der Straße und die Anzahl der Fahrstreifen und wirkt stark auf andere Verkehrsteilnehmer. Ein BRT-Bus mit einem Gelenk ist 18 m lang, wenn 4 bis 5 Haltepositionen für diesen Bus errichtet würden, würde die Länge der Station 100 m übersteigen. die ÖV-Station erreicht selten einen so großen Umfang. Nur das BRT in Bogotá hat eine so lange Station. Für die meisten Städte sind BRT-Systeme mit einer eigenen Spur in jede Richtung und 2 bis 3 Haltepositionen an einer Station ausgestattet. Bei Strecken an eigenen großen Stationen wird auch ein zusätzlicher Fahrstreifen fürs Überholen eingerichtet. Derartige BRT Systeme können die grundlegende Verkehrsnachfrage innerhalb des städtischen Korridors erfüllen. Es ist geeignet für Fahrgastströme zwischen 8.000 und 25.000 Pers./h/Richtung.

Die theoretische Beförderungskapazität der Straßenbahn liegt bei 4.500~30.000 Pers./h/Richtung. Um die Obergrenze zu erreichen, muss die Straßenbahn in einem dichten Takt von 2 min fahren. Ist der Straßenbahnzug 88 m lang, 2,65m breit mit einer zulässigen Belastung von 8 Pers./m², so erreicht ihre Kapazität 1000 Pers./Zug. Aber im tat-

sächlichen Betrieb kann die Frequenz, aufgrund der Begrenzung der Betriebsumgebung, - Weise, nicht so hoch sein und so lange Straßenbahnen lassen sich selten einsetzen. Der Takt kann bei 3 bis 5 Minuten liegen, die Kapazität einer Straßenbahn ist zwischen 420 bis 550 Pers. Daraus ergibt sich für die Straßenbahn ein Fahrgaststrom von 8.000 bis 11.000 Pers./h/Richtung.

Zusammenfassend ist der Geltungsbereich des Fahrgaststroms von BRT breiter als von Straßenbahn, da das BRT auch zu Korridoren mit großen Fahrgastströmen passt; dadurch hat das BRT eine bessere Anpassungsmöglichkeit an Fahrgastströme.

4.7.3 Die Anpassungsmöglichkeit an den vorhandenen Straßenzustand im Vergleich

Der Aufbau eines schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems stellt bestimmte Anforderungen und Bedingungen an die städtische Infrastruktur, wie z. B. Fahrbahnbreite, Kreuzung, Längsneigung etc. Besonders in der Altstadt oder dem dichten bebauten Stadtgebiet ist es nicht geeignet, wegen Beschränkungen von Straßenbreite und anderen Rahmenbedingungen, dort BRT oder Straßenbahn einzuführen.

(1) Fahrbahnbreite

Die Fahrbahnbreite hat einen großen Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit. Die Norm der Breite der städtischen Fahrstreifen beträgt 3,5 m. Wenn sie kleiner als der Wert ist, begrenzt sie die Freiheitsgrade der Fahrzeuge und reduziert dadurch die Geschwindigkeit. Laut den Forschungsergebnissen von *US Transportation Research Board*^[3] muss die Spurbreite mindestens 3,3 m betragen, optimal zwischen 3,6 m und 3,9 m für BRT-Fahrzeuge von 2,5 bis 2,6 m Breite. Aus der Sicht der Verbesserung der Geschwindigkeit und der Verkehrssicherheit sollte die Spurbreite des BRT mehr als 3,5 m betragen, neben Haltestelle kann sie zu 3,2 m reduziert werden. Auf der Strecke in einer alten Stadt und einem dichten gebaute Gebiet muss ein BRT-Streifen auch mindestens 3,3 m breit sein.

Die Fahrbahnbreite der Straßenbahn wird beeinflusst von der Geschwindigkeit, den Leitungsmasten, dem Abstand zwischen Gleisen und anderen Faktoren. Die Breite der Fahrzeuge der modernen Straßenbahn liegt im Bereich von 2,1 bis 2,65 m. Die erforderliche mindeste Fahrbahnbreite ist nicht fest, sondern hängt von einigen Faktoren ab. Zum Beispiel ist die Fahrbahnbreite der Zweischienenstraßenbahn nach dem französischen Fahrzeug „Typ TanslohrSTE3“ mit einer Breite von 2,2 m unterschiedlich, je nachdem, wie die Position der Leitungsmasten ist. Für zweigleisiges Straßenbahnsystem, ihre zwei Gleise nebeneinander liegen, wenn sich die Masten zwischen den Gleisen befinden, braucht die Straßenbahn einen ca. 5,8 m breiten lichten Raum, wenn die Masten aber auf der Außenseite der zwei Gleis-

se stellen lassen, ist ca. 5,4m breit Raum notwendig. Daraus mit Rechnung ergibt sich, dass die Breite der Zweischienenstraßenbahn für Fahrzeug mit Breite von 2,6 m 6,2 bis 6,6 m beträgt, Die Breite der Linie einer Richtung beträgt 3,1 bis 3,3 m.

Daher sind die Anforderungen der Straßenbahn an die Fahrbahnbreite niedriger als die des BRT; die Straßenbahn ist damit besser geeignet für die von den Straßenverhältnissen beschränkte Altstadt oder dicht bebaute Gebiet als das BRT in China.

(2) Bedingungen an den Knotenpunkten

Ob sich der minimale Wenderadius der Straßenbahn der Form der Straße anpasst, ist hauptsächlich vom minimalen Kurvenradius der Straße an der Ecke der Kreuzung abhängig. Grundlegenden Leistungsparameter der Straßenbahn „Typ FLEXITY Outlook“ von Bombardier [131] gemäß beläuft sich der minimale Wenderadius der modernen Straßenbahn auf 15 bis 25 m. Hingegen ist der minimale Wenderadius von BRT-Gelenkbus zwischen 10,5 m und 12,5 m. Unter dem „*Der fachliche Standard des Volksrepublik Chinas —die Norm der Straßenplanung (CJJ37-90)*“ [132] werden die folgenden empfohlenen Werte für den minimalen Radius dem Rand der Kreuzung gegeben: 20 bis 30 m für die Hauptstraßen, 15 bis 20 m für die untergeordnete Hauptstraßen, 10 bis 20 m für andere Straßen. Die moderne Straßenbahn läuft i.A. auf untergeordnete Hauptstraßen oder Hauptstraßen. Daraus folgt, dass beim Bau der Straßenbahn der Rand der Kreuzung umgestaltet werden muss. Aber der minimale Radius des Randes der Kreuzung einer untergeordneten Hauptstraße oder Hauptstraße entspricht dem minimalen Radius der BRT-Fahrzeuge, damit ist keine Umgestaltung nötig. Deshalb hat das BRT-System eine bessere Anpassungsmöglichkeit an die Kreuzung als die Straßenbahn wenn es rechts abbiegen muss.

(3) Längsneigung der Straße

Der Reibungswert zwischen Stahlrad und Schienen ist relativ klein im Vergleich mit dem Reibungswert zwischen Gummireifen und Straße. So ist die Steigfähigkeit der Straßenbahn von sich aus schwächer als die des BRT. Die moderne Straßenbahn kann eine Längsneigung von 7 % überwinden, manche können sogar 8 %. Laut dem „*Der fachliche Standard des Volksrepublik Chinas- die Norm der Straßenplanung (CJJ37-90)*“ sind die Empfehlungswerte der Längsneigung einer Straße mit zulässiger Geschwindigkeit über 30 km/h unter 7%. Diese Straßen sind untergeordnete Hauptstraßen (Klasse I, II) und Nebenstraßen (Klasse I). Auf diesen Straßen kann die Straßenbahn fahren. Das BRT kann eine Längsneigung von 10 % bewältigen, das heißt alle Straßen sind grundsätzlich von BRT-Fahrzeugen befahrbar. Daher gibt es beim BRT weitere Anpassungsmöglichkeit an Längsneigung als bei Straßenbahn.

4.7.4 Anpassungsmöglichkeit an das Stadtbild

Der Gestaltung der modernen Straßenbahn wird großen Wert durch die Hersteller beige-messen. Die gesamte Form ist eben, der Übergang von der vorderen Seite bis zum Körper und zur hinteren Seite ist glatt. Das Erscheinungsbild des Fahrzeugs ist hell mit einer ent-sprechenden Außenfarbe, die lange hält und gut haftet. Die moderne Straßenbahn verschö-nernt die Stadt, da ihre Fahrzeuge durch ihr schönes Aussehen eine zusätzliche dynamische Landschaft in der Stadt bilden. Stromlinienform und schöne Farben sind beim Publikum beliebt. Das Design von Fahrzeugen ist in einigen Städten sehr einzigartig v.a. in Frankreich, wie beispielsweise die Straßenbahn in Straßburg, deren Kopf Kugel-förmig und deren Aus-sehen bunt ist, sie läuft glatt und komfortabel und ist schon Visitenkarte dort. Wenn man die-se Fahrzeuge sieht, erkennt man diese Stadt. Die Gruppierung der Straßenbahn ist i.d.R. länger als die von BRT-Fahrzeugen, dies macht sie wie eine bunte Schlange, die sich auf der Straße schlängelt. Die Bürger von Straßburg halten die neue, moderne Straßenbahn für ihr liebevolles "Haustier". Außerdem die Wiese auf Gleis, Wiese und Bäume entlang der Gleise sind auch gutes Bild für Stadt. Zuletzt bringen die großen Glasfenster der Straßen-bahn eine gute Innenbeleuchtung, sodass die Passagiere ein transparentes Raumgefühl haben und die Stadtlandschaft entlang der Gleise genießen können. Das Aussehen des BRT ist nicht so auffällig wie das der Straßenbahn, obwohl sich BRT-Fahrzeuge vom normalen Bus-Fahrzeug unterscheiden, ist der Unterschied nicht so groß. Eingeschränkt vom Erschei-nungsbild und Betriebsart, spielt das BRT nicht so große Rolle bei der Verschönerung der Stadt und Verstärkung des Stadtbildes. An diesem Punkt ist die Straßenbahn daher vorteil-hafter als BRT.

4.8 Zusammenfassung

Aus dem detaillierten qualitativen und quantitativen Vergleich des mittelstufigen BRT und der moderne Straßenbahn anhand der fünf Aspekte- technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management und Anpassungsmöglichkeit ergibt sich, dass

(1) die Beförderungskapazitätsbereiche von BRT und Straßenbahn gleich sind;

(2) BRT der Straßenbahn in Bezug auf Geschwindigkeit, die Investitionskosten, Betrieb und Verwaltung, Anpassungsmöglichkeit an Wirtschaftsniveau, an Fahrgaststrom, an Kreuzung, an der Längsneigung der Straßen überlegen ist ;

(3) Hinsichtlich der Bedienungsqualität, des Energieverbrauchs und Umwelt-schutzes, der Anpassungsmöglichkeit an die Breite der Fahrbahn und des Stadtbilds ist die Straßenbahn jedoch günstiger als BRT.

Es ist ersichtlich, dass die mittelstufigen BRT-und Straßenbahnsysteme eigene Vor-und Nachteile besitzen. Ein optimales schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem, BRT oder Straßenbahn sollte nach der Besonderheiten und Bedürfnissen einer konkreten Stadt gewählt werden.

5 Vergleich und Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme

Die vergleichende Analyse in Kapitel vier ergibt, dass das BRT- und Straßenbahn-system in mancher Hinsicht ähnlich sind, z. B. Beförderungskapazität, gleichzeitig haben jedoch die beiden in mancher Hinsicht Vor- und Nachteile, wie das BRT hat Vorteile bei der Geschwindigkeit, den Investitionskosten und bei anderen Aspekten, hingegen ist die Straßenbahn bei Service-Qualität, Energieverbrauch und Umweltschutz etc. vorteilhafter. Während des Vergleichs und der Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems müssen Entscheidungsträger eins davon auswählen. Welche Faktoren sollen dabei Berücksichtigung finden, wie werden Entscheidungen getroffen? Welche Ansätze werden angewandt?

5.1 Der Gedankengang des Vergleichs und der Auswahl

Das BRT und die Straßenbahn haben einen weiten Anwendungsbereich. Eine Stadt kann ihre eigenen Gegebenheiten betrachten und auswählen, BRT oder Straßenbahn oder beide anzuwenden, je nach dem städtischen Charakter und den konkreten Umständen der Verkehrskorridore der Stadt. Da es in der Stadt vielfältige Verkehrsströme gibt, die schwer zu analysieren sind, wird ein Korridor als Untersuchungseinheit genommen. Das für diesen Korridor geeignete schnelle und mittel-kapazitive Verkehrsmodus wird mit einer angemessenen Methode anhand der Vorteile und Nachteile des BRT und der Straßenbahn auf der Grundlage der Analyse der städtischen Binnennachfrage und Einflussfaktoren verglichen. Das Auswahlverfahren der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme wird in Abbildung 5-1 gezeigt.

5.2 Einflussfaktoren

Die Faktoren zur Auswahl eines Verkehrssystems sind zahlreich. Sie können in interne Faktoren und externe Faktoren unterteilt werden.

5.2.1 Analyse der externen Faktoren des Bedarfs

Welches schnelle und mittel-kapazitive Nahverkehrssystem soll denn angewendet werden? Es soll zuerst Gegebenheiten und Charakteristiken eines konkreten Korridors in der Stadt analysiert werden, dann zeigen sich die der tatsächlichen Situation passenden Nahverkehrssysteme. Folgende wichtige interne Faktoren sollen berücksichtigt werden.

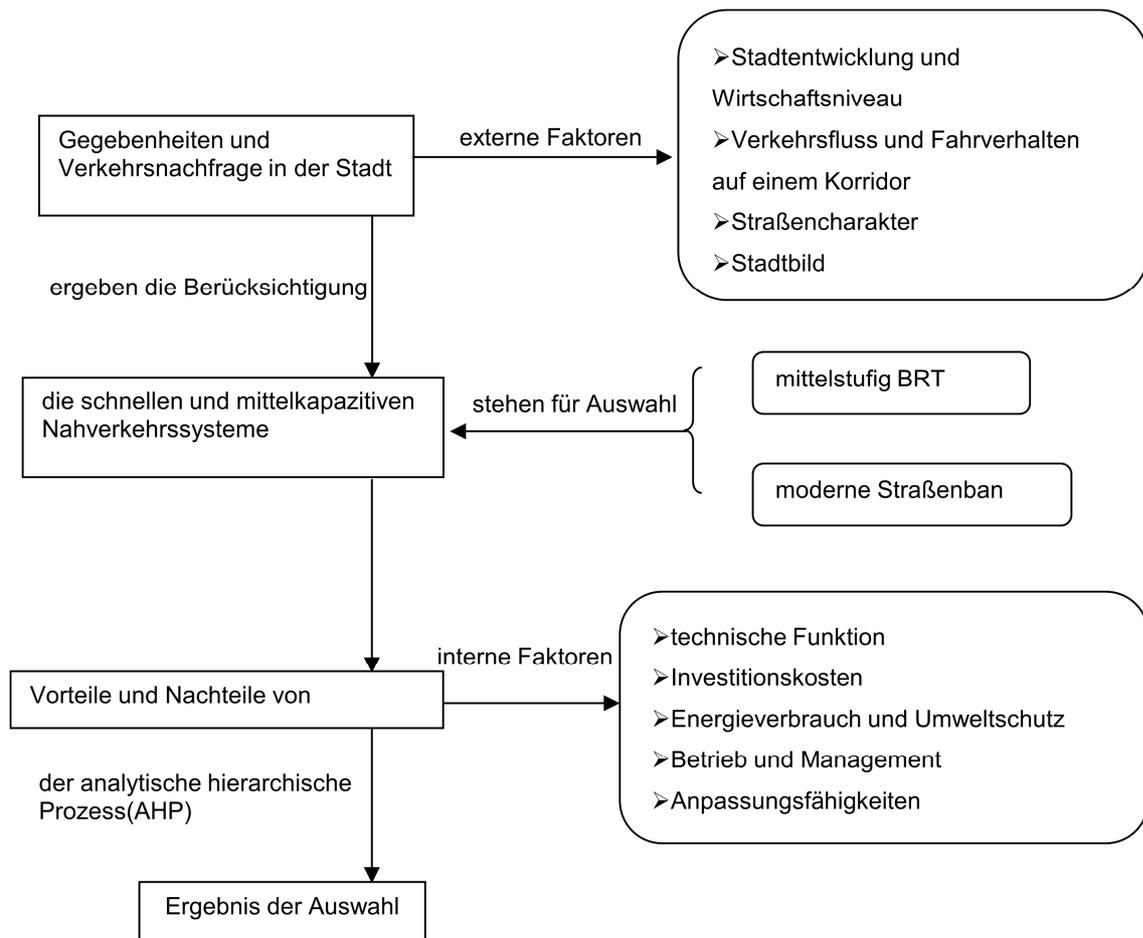


Abbildung 5-1 Das Auswahlverfahren der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme

(A) Städtisches Entwicklungsniveau und Wirtschaftskraft

Das städtische Entwicklungsniveau und die Wirtschaftskraft wirken direkt auf den Umfang des Bau- und Entwicklungs- Standes des öffentlichen Nahverkehrs. Die verschiedenen Nahverkehrssysteme entsprechen den verschiedenen Entwicklungsstadien einer Stadt. Wäre die Stadt klein und das Wirtschaftsniveau niedrig, würde das herkömmliche Nahverkehrssystem allein die Nachfrage der Fahrten der Stadtbewohner befriedigen; Die Ausdehnung der Stadt ist von der vergrößerten Entfernung der Fahrt zu betrachten. Es würd eine schnelle, mittel- oder groß-kapazitive Nahverkehrssystem gebraucht, wenn die Verkehrsnachfrage über das Beförderungslimit des konventionellen Verkehrs bei einer bestimmten Phase der Stadtentwicklung hinausgeht, während die Wirtschaftskraft die Mindestanforderungen für Bau von U- oder S-Bahn vom chinesischen *Ministerium für Bau und Entwicklung* und der *Reformkommission* noch nicht erreicht ist (siehe auch Abschnitt 7.2.2 (A)). Hierbei sind BRT oder Straßenbahn in Betracht der Stadtentwicklung zu ziehen. Die Einführung sowohl des BRT als auch der Straßenbahn hat folgende Eigenschaften: relativ große Investition, langer Zyklus, große Verwaltungskosten beim Betrieb. Außerdem setzt die Regierung in China die Strategie „ÖV-Priorität“ um, um Fahrgäste anzuziehen. Ein niedriger Tarif ist eine Maßnahme davon. Deshalb können Fahrgeldeinnahmen allein den ÖV-Unternehmen nicht ausreichend Ein-

nahmen bescheren. Daher müssen die Kommunen jedes Jahr bestimmte Zuschüsse anbieten. Die Stadt muss die entsprechende Wirtschaftskraft für finanzielle Absicherung des Verkehrssystems haben. Die Umsetzung des BRT oder der Straßenbahn setzt genug Stadtentwicklungsniveau und Wirtschaftsstärke voraus. Wie zum Beispiel: Die Gesamtinvestition des BRT in Guangzhou errechnet sich von 2,05 Mrd. CNY, der Tarif ist 2 CNY / Pers., Zuschuss aus den Stadthaushalt betrug 50,56 Mio. CNY im Jahr 2010.

Deshalb sollte zunächst das Entwicklungsniveau und die Wirtschaft der Stadt analysiert werden bei dem Vergleich und der Auswahl der BRT und Straßenbahn. Auf der Grundlage des vorhandenen Budgets wird vom Stadthaushalt ein schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem beschlossen und nach der wirtschaftlichen Stärke wird auch sein Niveau beschlossen. Hierbei soll man nicht extrem nach hohen Standards dieses Verkehrssystems streben. Sonst wird es zur schweren Belastung des Haushalts, schadet dadurch der nachhaltigen Entwicklung der Städten und des Nahverkehrs.

(B) Verkehrsfluss und Fahrverhalten innerhalb eines Korridors

Die Einführung des BRT oder der Straßenbahn beansprucht einen bestimmten Raum direkt vom Straßenraum und verdrängen dadurch andere Verkehrsträger. Um eine angemessene Bedienung des integrierten Verkehrssystems der Stadt zu gewährleisten, sollte die Entwicklung des BRT oder der Straßenbahn die notwendigen Nachfragebedingungen erfüllen. Die Nachfrage soll nicht zu niedrig, auch nicht zu hoch sein.

Die Faktoren, die die Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems und dessen Niveau beeinflussen, enthalten die Größe des Fahrgaststroms beim Istzustand und Prognosezustand zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft des betroffenen Korridors oder der Stadt, Fahrverhalten und räumliche Verteilung des Fahrgaststroms. Die Größe des Status quo und der langfristigen Prognose des Fahrgastaufkommens führen wesentlich die Entscheidung eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems und seines Niveau. BRT und Straßenbahn haben einen klaren Anwendungsbereich. Liegt der Verkehrsfluss unterhalb dieses Bereiches, würden ÖV-Ressourcen teilweise verschwendet und verursacht starke Beschwerde von anderen benachteiligten Verkehrsträgern hervor, ist ungünstig für die langfristige Entwicklung eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems; Wenn aber die Verkehrsnachfrage über diesen Bereich hinausgeht, würde die Verkehrsnachfrage nicht abgedeckt. Der Verkehrsstrom wird sich teilweise auf andere Verkehrsarten verlagern, so verliert der ÖV seine Anziehungskraft. Nach der prognostizierten zukünftigen Verkehrsnachfrage soll die Möglichkeit der Konversion in ein Verkehrssystem großer Kapazität (U-, S-Bahn) in Betracht gezogen werden. BRT oder Straßenbahn sind manchmal als Über-

gangslösung gedacht, sammeln die Verkehrsnachfrage für eine mögliche künftige U- oder S-Bahn. Wenn möglich soll bei der Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems der Spielraum für die Verwandlung zum schnellen Nahverkehrssystem hoher Kapazität erhalten. BRT in Xiamen ist das Vorbild, es nutzt komplette Hochlage, die für Light Rail der Zukunft vorbereitet ist.

Die räumliche Verteilung und Verhalten des Fahrgaststroms entscheidet den Betriebsmodus der Linie im Korridor. Wenn z.B. der Fahrgaststrom sich linienförmig verteilt oder der Bedarf an beiden Enden des Korridors stark und konzentriert ist, ist der „eigene Korridor und eigene Linie“ Modus zumutbarer. Wenn sich aber der Strom auf einige Strecken des Korridors konzentriert, teilweise entlang des Korridors läuft und dann nach außen fließt, dann passt der „eigene Korridor und flexible Linien“ Modus. Die Betriebsmodi von BRT und Straßenbahn variieren. BRT kann sowohl den „eigenen Korridor und eigene Linie“ als auch „eigenen Korridor und flexible Linien“ anwenden während bei der Straßenbahn wird meistens nur ein „eigener Korridor und eigene Linie“ angewendet.

Daher sollen die zukünftige Prognosen, räumliche Verteilung und das Fahrverhalten bei dem Vergleich und der Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems vollständig berücksichtigt werden. Das ausgewählte schnelle und mittel-kapazitive Nahverkehrssystem muss solche Anforderungen unbedingt erfüllen.

(C) Straßencharakter

Die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme spielen verschiedene Rollen wegen ihrer Transportkapazität zwischen S-, U-Bahn und konventioneller Verkehrsarten. Aber nach Erfahrung laufen einige Abschnitte ihrer Korridore auf Strecke der Straße mit hohem Verkehrsaufkommen. Solche Strecken liegen meistens in Stadtzentren oder der Altstadt. Die Straßen dort sind normalerweise eng auch wenn sie verbreitert werden. Aufgrund des starken Verkehrs ist der Raum für den Einsatz einer eigenen Spur sehr begrenzt. Würde dort keine eigene Spur für BRT oder Straßenbahn gebaut, würden die Systeme nicht mehr schnell und effizient sein. Daher ist der Straßencharakter ein wichtiger Faktor des Vergleichs und der Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems. Selbstverständlich ist die Einschränkung in den Vorstädten oder am Stadtrand gering. Die Straßenverhältnisse, die auf die Auswahl wirken, sind hauptsächlich Straßenbreite, Kurvenradius, Neigung und Lichtraum. Weil die Leistungen der Fahrzeuge und entsprechenden Anlagen von BRT und Straßenbahn unterschiedlich sind, stellen sie verschiedene Anforderungen an die Straßenverhältnisse. Die Anforderungen von BRT an Kurvenradius, Neigung, Lichtraum sind relativ niedrig. Die Straßenverhältnisse passen direkt BRT; hingegen hat die Straßen-

bahn bestimmte Forderungen nach Kurvenradius, Neigung, Lichtraum wegen der Stahlräder und Stahlgleisen und Oberleitungsmast. Der minimale Kurvenradius sollte größer als 25 m sein, die maximale Längsneigung sollte weniger als 7 % sein. Die meisten gewählten Straßen können auch Anforderungen der Straßenbahn erfüllen, aber es gibt doch einige Straßen, die die Änderungen und Umgestaltungen wegen der Durchführung der Straßenbahn benötigen.

Daher sollen die Straßenverhältnisse v.a. in Stadtzentren und Altstadt beim Vergleich und der Auswahl eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems in Betracht gezogen werden. Das Umgestalten der Straßen in Stadtzentren und der Altstadt ist ziemlich schwer, hingegen in den Vorstädten oder am Stadtrand können die Straßen einfach um- oder neugebaut werden, die für Umsetzung eines schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems geeignet sind.

(D) Stadtbild

Der öffentliche Verkehr sollte im Einklang mit der Positionierung der gesamten Stadt und ihrem Image sein. Die Straßenbahn zeigt ein anderes Stadtbild als das BRT. Moderne Straßenbahn hat eine schnittige, moderne und dynamische Erscheinung und ihr Aussehen kann nach Eigenschaften einer Stadt "maßgeschneidert" werden. Sie hat einen geringen Stromverbrauch und verursacht geringe Verschmutzungen, so dass die Straßenbahn die städtischen Merkmale und Lage vollständig reflektieren kann, erzeugt ein modernes, ökologisches, umweltfreundliches Stadtimago.

5.2.2 Die internen Faktoren auf der Angebotsseite

Die Eigenschaften der Alternativen der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme sollten die einzelnen Anforderungen der Verkehrskorridore erfüllen. Sie enthalten technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management, Anpassungsmöglichkeit. Die Eigenschaften des BRT und der Straßenbahn werden in Kapitel 4 detailliert verglichen. Der Schluss davon ist, dass BRT besser als Straßenbahn in Bezug auf Geschwindigkeit, Investitionskosten, Betrieb und Verwaltung, Anpassungsmöglichkeit an das Wirtschaftsniveau, an den Fahrgaststrom, an die Kreuzung, an die Längsneigung der Straßen ist, während die Straßenbahn günstiger als das BRT hinsichtlich der Bedienungsqualität, des Energieverbrauchs und des Umweltschutzes, der Anpassungsmöglichkeit an die Breite der Fahrbahn und des Stadtbildes ist.

Während des Vergleichs und der Auswahl sollen aufgrund der Nachfrage und Eigenschaften des Verkehrskorridors die angemessenen wichtigen Faktoren bestimmt werden und auch

deren Gewichtung. Durch umfassende vergleichende Analyse und Berechnung erhält man ein besseres schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem, das den Anforderungen des Korridors entspricht und besser in Einklang mit den Eigenschaften des Korridors zu bringen ist.

5.3 Der Ansatz des Vergleichs und der Auswahl

Der Vergleich und die Auswahl des schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems werden in eine mathematische Formel gefasst:

$$F = \max \sum_{i=1}^n \omega_i f(x_i) \quad 5-1$$

mit: F : Optimales Modell

x : Vektor der Auswahl, BRT oder Straßenbahn;

ω : Gewichtung der Zielvektor

$f(x)$: Zielvektorfunktion, ergibt sich aus Vergleich des BRT und Straßenbahn

i : Indikator.

Aufgrund der Unterschiede der Städte und Transportkorridore sollen eine Reihe von Einflussfaktoren berücksichtigt werden bei Auswahl von BRT oder Straßenbahn und die Gewichtung der einzelnen Faktoren variiert sich. Das ausgewählte Verkehrssystem soll mehrere Zielwerte, wie die Werte von technischer Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management, Anpassungsmöglichkeit etc. erreichen. Der Vergleich und die Auswahl des schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems ist eigentlich die Bewertung der Alternativen, BRT oder Straßenbahn. Daraus wird eine optimale Lösung abgeleitet. Es handelt sich folglich um eine Entscheidungsfrage mit mehreren Zielen und einer begrenzten Anzahl von Alternativen.

Der Entscheidungsprozess der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme hat folgende Charaktere:

- (1) Anzahl der auswählbaren ÖV-Systeme ist begrenzt;
- (2) Es gibt keine Gemeinsamkeiten zwischen den Zielen und auch kein einheitliches Maß für Abwägung. Die Eigenschaften der Ziele sind ganz unterschiedlich. Maßeinheiten sind anders. Die Ziele sind schwer miteinander zu vergleichen, wie der Wert von Leistungsfähigkeit ist mit Personen gemessen, von Investitionskosten aber mit zehntausend CNY gemessen;
- (3) Der Widerspruch zwischen den Zielen. Die Anhebung eines Zielwertes kostet oft Verlust von anderen Zielen, wie beispielsweise Verbesserung der technischen Funktion führt die Steigerung der Investitionen und Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit.
- (4) Die Unterschiede der äußeren Umgebung sind Städte und Transportkorridore. Denn BRT und Straßenbahn, die beide zu dem schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystem zählen,

sind deswegen in vielerlei Hinsicht ähnlich. Aber wegen der Unterschiede der Städte und der Transportkorridore (der äußeren Umgebung) tritt eine verschiedene Präferenz oder Fokus der Ziele auf, daraus ergibt sich, dass sich ein bestimmtes Verkehrssystem besser als ein anderes für eine bestimmte Stadt oder einen bestimmten Korridor eignet.

Die Entscheidungsfindung mit mehreren Ziele und einer begrenzten Anzahl von Alternativen verwendet oft Methode, entweder Ansatz der *einfachen additiven Gewichtung* oder Ansatz der *hierarchischen additiven Gewichtung Methode* (nämlich der *Analytischen Hierarchieprozess*, Kurzwort: *AHP*). Unter Berücksichtigung der Bedingungen für die Verwendung der beiden oben genannten Methoden und Faktoren zur Auswahl von BRT und Straßenbahn wird die Methode *AHP* in dieser Arbeit eingesetzt.

5.4 Die Konstruktion der hierarchischen Struktur

5.4.1 Bau der einzelnen Ebenen

Bei der Methode der hierarchischen additiven Gewichtung sollte man zuerst die ein komplexes Problem betreffenden Faktoren nach bestimmten Prinzipien und Merkmalen in verschiedene Ebenen einteilen, dadurch lässt sich das Modell mit einer hierarchischen Struktur aufbauen. Hierbei wird das komplexe Problem nach den Faktoren zur Auswahl von BRT oder Straßenbahn in vier Ebene zerlegt. Die vier Ebenen sind Ziele-Ebene (übergeordnetes Ziel), Kriterien-Ebene (Teilziele), Indikator-Ebene und Alternative-Ebene. Obere Ebenen beherrschen die unteren Ebenen, die unteren Ebenen unterstützen die oberen Ebenen.

5.4.1.1 Aufbau der Zielebenen (Übergeordnete Ebene und Teilzielebene)

Aus der Analyse der Einflussfaktoren ist zu sehen, dass das ausgewählte schnelle und mittel-kapazitive Nahverkehrssystem die Anforderungen von einer Stadt oder einem Korridor, wo es geplant ist, erfüllen muss. Das heißt, ein bestimmtes Ziel ist zu erreichen. Das Ziel von Vergleich und Auswahl des schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssystems ist alles vor allem ein mit der Stadt oder den Korridor kompatibles schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem. Übergeordnete Ziel werden in mehrere Teilziele zerlegt. Das ausgewählte Nahverkehrssystem soll den Bedarf eines Korridors befriedigen, nämlich seine Eigenschaften wie technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management sollen im Einklang mit den Bedürfnissen und Merkmalen des Korridors stehen. Wegen der Unterschiede zwischen verschiedenen Städten oder Korridoren variiert der Fokus, der bei Auswahl eines ÖV-Systems zu berücksichtigen ist, was sich bei Gewichtung der Ziele zeigt. Beispielsweise ist die wirtschaftliche Machbarkeit nicht bedeutend für eine Stadt mit starker Wirtschaftskraft beim Vergleich und Auswahl der ÖV-Systeme während eher ein entscheidendes Ziel für eine Stadt ist, deren Wirtschaft nicht sehr entwickelt ist, aber dennoch Bedarf an einem schnellen und mittel- kapazitiven Nahverkehrssys-

tem hat und dieses einrichten möchte.

Daher sollen die Ziele, die das ÖV-System erreicht soll, aufgelistet werden. Sie ist auf die Anforderungen der konkreten Umstände der Städte und Transportkorridore gerichtet. Je mehr Teilziele es gibt, umso mehr Auswahlkriterien treten bei der Analyse und Berechnung auf, umso schwerer wird der Vergleich und die Auswahl der Alternativen. Deshalb müssen sich die aufgelisteten Teilziele anpassen lassen z.B. unnötige Ziele und Nebenziele zu entfernen, ähnliche Ziele zu kombinieren, sekundäre Ziele als Einschränkungsbedingung zu stellen. Daraus ergibt sich die Kriterien-Ebene, die die Vorschriften für die Entscheidungsfindung trifft. Die Gewichtung der einzelnen Teilziele wird festgesetzt.

5.4.1.2 Die Gründung der Indikatoren-Ebene

(A) Prinzip der Auswahl der Indikatoren

Der Zweck der Teilziele konkretisiert sich durch Indikatoren, das heißt, die Indikatoren sollen die Eigenschaften und Merkmale oberer Teilziele spiegeln. Die Indikatoren müssen umfassend, rational, wissenschaftlich und praktisch gewählt werden. Die Wahl sollte folgende Prinzipien einhalten:

(1) im Einklang mit den Ziele in der letzten Ebene

Ob ein Indikator die Faktoren reflektieren kann und in welchem Umfang, das ist das Bewertungskriterium, ob der Indikator ausgewählt wird. Daher müssen sich die Teilziele detailliert analysieren lassen, ob die Indikatoren dadurch im Einklang mit Teilzielen bleiben.

(2) die Integrität

Der einzelne Indikator vertritt nur eine Seite eines Teilziels, nicht ganz ein Ziel. Die Gruppe in allen ausgewählten Indikatoren für ein Teilziel sollte jedoch die Besonderheiten des Teilziels vollständig reflektieren

(3) Nicht-Kompatibilität

Die ausgewählten Indikatoren sind unvereinbar wenn sie gegenseitig nicht ersetzbar sind oder sich nicht umfassen.

(4) Einfachheit

Während der Wahl sollte es so einfach und unkompliziert wie möglich sein. Damit kann einerseits eine Überschneidung wegen der Komplexität vermieden werden und man kann die Schlüsselinformation aus den komplexen Informationen erfassen und aussortieren; andererseits kann das den Arbeitsaufwand erheblich reduzieren und eine einfache Berechnung und Analyse ermöglichen somit lässt sich die Erwägung und Auswahl zwischen den Systemen zügig durchführen.

(5) wissenschaftliche Grundsätze

Die ausgewählten Indikatoren müssen auf der Theorie beruhen und können damit bestimmte

Merkmale und Informationen eines Teilziels objektiven, rationalen, wissenschaftlich darstellen.

(6) die Durchführbarkeit

Die ausgewählten Indikatoren müssen mit einer genauen Definition, so typisch und praktisch wie möglich versehen sein. Sie können durch bestehende Methoden berechnet werden.

(7) Anwendbarkeit des Bewertungsansatzes

Methode des Vergleichs und der Auswahl haben ihre eigenen Geltungsobjekte und die Anwendungsbereiche, das heißt, nicht für jeden Indikator gilt die gleiche Methode. Deshalb müssen die Anwendbarkeit und der Umfang des Ansatzes beim Wählen der Indikatoren in Betracht gezogen werden sollten

(B) Auswahl der Indikatoren

Der Vergleich und die Auswahl des BRT und der Straßenbahn soll aufgrund aller Aspekte wie technische Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management, Anpassungsmöglichkeit usw. umfassend analysiert werden. Dadurch wird ein für die Rahmenbedingungen und Charakter der Stadt oder des Korridors besser geeignetes Verkehrssystem ausgewählt. Die vom umfassenden Vergleich betroffenen Indikatoren sind zahlreich, aber nicht jeder muss berücksichtigt werden, deren Bedeutung variiert je nach den Umständen der Stadt oder dem Korridor, für den ein Verkehrssystem gewählt werden soll. Nach den Umständen der Städte oder der Korridore werden verschiedene Indikatoren gewählt, auch ein gleicher Indikator wird daran nicht dasselbe Gewicht verliehen. Um möglichst allen Städten Hinweise auf den Vergleich und die Auswahl des BRT und der Straßenbahn anbieten zu können, versucht die Autorin in der Arbeit so ausführlich wie möglich alle Indikatoren für die Auswahl aufzuführen. Im praktischen Fall werden bedeutende Indikatoren für eine konkrete Stadt mit ihren Eigenschaften und Bedürfnissen ausgewählt. Die ausgewählten Indikatoren sollen i.d.R. nicht mehr als neun sein, wenn sie zu viele wären, würden sie große Schwierigkeit für das Urteil der Matrizen miteinander verursachen.

Aus dem Inhalt des Kapitels 4 sollte der Vergleich und die Auswahl des schnellen und mittelkapazitiven ÖV-Systems fünf Teilziele (technische Funktion Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management, Anpassungsmöglichkeiten) befriedigen. Die fünf Teilziele lassen sich in konkrete Indikatoren zerlegen.

(1) technische Funktion

Die technische Funktion ist das wichtigste Teilziel, es entsteht aus der Leistungsfähigkeit, Geschwindigkeit, Bequemlichkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Erreichbarkeit und anderen wichtigen Indikatoren.

(2) Investitionskosten

Für die wirtschaftlich entwickelten Städte sind die Investitionskosten immer ein wichtiges Teilziel aber nicht ein Schlüsselindikator. Für eine Stadt, die wirtschaftlich nicht so gut entwickelt ist, jedoch ein verbessertes Verkehrssystem benötigt, sind die Investitionskosten entscheidend. Denn die Städte haben differenzierte Konzepte für Bau und Betrieb, so variiert die Zusammensetzung der Investitionskosten dort. Manche Städte übernehmen alle Kosten des Projekts wie Kosten für Baumaßnahmen, Kosten für mechanische und elektrische Anlagen, Anschaffungskosten der Fahrzeuge etc., hingegen tragen manche Städte nur einen Teil der Kosten, wie in Guangzhou übernahm die Regierung nicht die Anschaffungskosten der Fahrzeuge.

(3) Energieverbrauch und Umweltschutz

Weil die Energiekrise nach und nach ein wichtiges Thema wird und das Bewusstsein für den Umweltschutz sich ständig verstärkt, stehen die Städte unter zunehmendem Druck auf die Energieeinsparung und Senkung der Umweltverschmutzung zu achten. Damit werden Energieverbrauch und Umweltschutz ein zunehmend wichtiges Teilziel werden. Sie enthalten Indikatoren wie Energieverbrauch, Lärm, Luftverschmutzung.

(4) Betrieb und Management

Qualität von Betrieb und Management ist direkt von der Betriebseffizienz des BRT und der Straßenbahn abhängig, ist ebenfalls ein wichtiges Teilziel. Die Indikatoren dafür sind Art von Betrieb und Verwaltung, Betriebsweise der Linie, intelligente Steuerungssystem.

(5) Anpassungsmöglichkeiten

BRT und Straßenbahnen haben unterschiedliche Eigenschaften, passen in verschiedenen Städten und Transportkorridore. Die Anpassungsmöglichkeit besitzt vier wichtige Indikatoren: die Anpassungsmöglichkeit an die städtischen Größe und das Wirtschaftsniveau; die Anpassungsmöglichkeit an die Verkehrsströme; die Anpassungsmöglichkeit an die Rahmenbedingungen der Straße; die Anpassungsmöglichkeit an das Stadtbild.

Alle oben erwähnten Indikatoren wurden schon im Kapitel 4 ausführlich vorgestellt und es erfolgte eine vergleichende Analyse zwischen BRT und Straßen. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle nicht noch einmal darauf eingegangen.

5.4.1.3 Aufbau der Alternativebene

Diese Ebene enthält alle für die Realisierung des Ziels angebotenen Alternativen, die

i.A. begrenzt sind. Hier bilden die angebotenen schnellen und mittel-kapazitiven öffentlichen Verkehrssysteme die Ebene, nämlich BRT und Straßenbahn.

5.4.2 Bildung der hierarchischen Struktur

Hier wird die hierarchische Struktur der Auswahl von BRT und Straßenbahn konstruiert, sieht Abbildung 5-2:

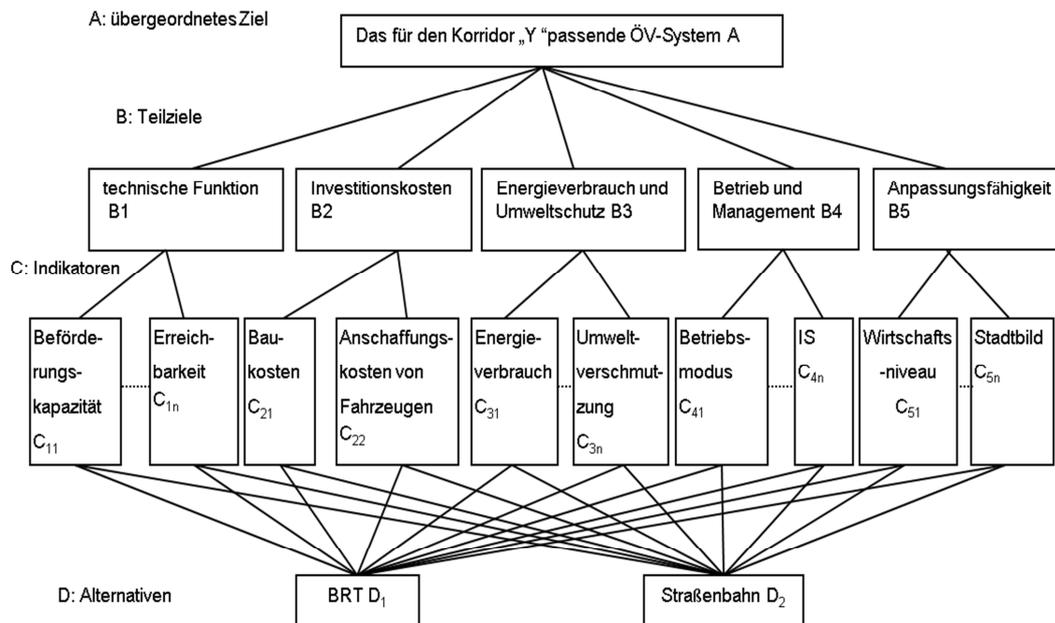


Abbildung 5-2 hierarchische Struktur zur Auswahl des BRT und der Straßenbahn

5.5 Konstruktion der Urteilmatrix

Während in einer umfassenden Bewertung eine Reihe von Indikatoren betrachtet wird, sind die einzelnen Indikatoren nicht gleich wichtig für das Bewertungsobjekt aus der Sicht des Evaluierungsziels. Um die Bedeutung und den Status von verschiedenen Indikatoren im Indikatoren-System klar zu machen soll man den Indikatoren verschiedene Gewichtungskoeffizienten nach der Bestimmung des Indikatoren-Systems verleihen. Aus diesem Grund können die Elemente in jeder Ebene in der hierarchischen Struktur gegeneinander verglichen und Urteilmatrizen aufgebaut werden. Durch *AHP* werden vorwiegend die relativen Bedeutungen der einzelnen Elemente in jeder Ebene beurteilt. Die Urteile werden durch Einführung der angemessenen Skala quantifiziert in Form einer Matrix. Relative Bedeutungen (Gewicht der Indikatoren) einer Urteilmatrix ergeben sich durch Vergleich der Bedeutungen der Elemente miteinander innerhalb einer Ebene.

Die Werte der Elemente in der Urteilmatrix kann durch den empirisch gewichteten Ansatz oder mathematisch gewichteten Ansatz festgestellt werden. Der empirisch gewichtete Ansatz ist durch Beratung von Experten geschaffen. Dessen Vorteil ist, dass die Werte durch Beur-

teilung der Experten nach ihrer eigene Erfahrungen direkt gegeben werden. Dieser Ansatz ist einfach durchführbar. Der mathematisch gewichtete Ansatz beruht auf den sachverständigen Erfahrungen und Mathematik, die Werte können nicht damit direkt erzeugt werden, aber sich ergebende Werte sind wissenschaftlich überzeugend. Unter Berücksichtigung der Unterschiede des Charakters der Städte oder der Korridore und Aufgrund der Merkmale der Bewertungsindikatoren von BRT und Straßenbahn werden die Kombination des empirischen gewichteten Ansatz und mathematischen gewichteten Ansatzes angewendet, um die Urteilsmatrizen von der hierarchischen Struktur des Vergleichs und der Auswahl von BRT und Straßenbahn zu produzieren. Die Urteilsmatrizen sind v.a. Urteilsmatrizen A (Teilzielebene zu Zielebene); Urteilsmatrizen B (Indikatoren-Ebene zu Teilzielebene); Urteilsmatrizen C (Alternative Ebene zu Indikatoren-Ebene).

5.5.1 Konstruktionsprinzip der Urteilsmatrix

Das Prinzip der einzelnen Urteilsmatrix ist dasselbe. Die Unterschiede von Urteilsmatrizen liegen in der Festlegung ihrer Werte. Deshalb nimmt man den Aufbau der Matrix zwischen Zielebene und Teilzielebene als Beispiel, um die allgemeine Bauweise der Urteilsmatrix darzustellen.

Ein in einem Korridor „Y “ passendes Nahverkehrssystem (A) in der Zielebene verfügt über die technische Funktion (B1), die Investitionskosten (B2), Energieverbrauch und Umweltschutz (B3), Betrieb und Management (B4), Anpassungsmöglichkeit (B5) in der nächsten Ebene. Unter Ziel A werden die entsprechenden Gewichte den Elementen B1, B2, B3, B4, B5 nach der relativen Bedeutung von B_i zu A verliehen. Die Gewichtungen ergeben sich aus dem gegenseitigen Vergleich von B_i und ihrer Bedeutung zu A. Die relativen Bedeutungen werden durch das Verhältnis von 1-9 konkretisiert. Die Festlegung der Gewichtung soll je nach den spezifischen Bedingungen und Besonderheiten der Städte und Transportkorridore durch Untersuchung, Beratung von Sachverständigen erfolgen. So kommt die Urteilsmatrix der Zielebene vor wie in Tabelle 5-1 gezeigt.

Tabelle 5-1 die Urteilsmatrix der Zielebene A

A	B1	B2	B3	B4	B5
B1	B11	B12	B13	B14	B15
B2	B21	B22	B23	B24	B25
B3	B31	B32	B33	B34	B35
B4	B41	B42	B43	B44	B45
B5	B51	B52	B53	B54	B55

die Urteilsmatrix kann sich auch so formulieren lassen:

$$A = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} & B_{35} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} \\ B_{51} & B_{52} & B_{53} & B_{54} & B_{55} \end{bmatrix}$$

Urteilmatrix hat folgende Eigenschaften: ① $B_{ij} > 0$ und ② $B_{ij} = 1/B_{ji}$ (i nicht gleich j) ③ $B_{ii} = 1$. Solch eine Matrix nennt man positive und negative Matrix. Wenn für die derartige Matrix die Gleichung $B_{ij} \cdot B_{jk} = B_{ik}$ für jede i, j, k. gilt, wird sie eine konsistente Matrix. In der praktischen Problemlösung, ist das Matrix-Urteil nicht unbedingt konsistent, Es ist notwendig, die Konsistenz der Matrix zu prüfen.

5.5.2 Festlegung der Werte der Urteilmatrix

Die Elemente in Urteilmatrix werden in der Regel auf eine Verhältnis-Skala quantifiziert. Häufig wird Skala 1-9 verwendet, die Skalen sind in Tabelle 5-2 angegeben.

Tabelle 5-2 Die Skalen der Urteilmatrix und ihre Sinne

Nr.	Stufe der Wichtigkeit	Gegebene Werte B_{ij}
1	Element i, j gleich wichtig	1
2	Element i ist etwas wichtiger als j	3
3	Element i ist viel wichtiger als j	5
4	Element i ist sehr viel wichtiger als j	7
5	Element i ist absolut wichtiger als j	9
6	Element i ist nicht so wichtig als j	1/3
7	Element i ist weniger wichtig als j	1/5
8	Element i ist viel weniger wichtig als j	1/7
9	Element i ist sehr viel weniger wie j	1/9

Anmerkung: $B_{ij} = (2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8)$ geben die Wichtigkeit zwischen $B_{ij} = (1, 3, 5, 7, 9, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9)$ an.

Weil jede Stadt und jeder Transportkorridor darin verschiedene Eigenschaften haben, so dass die entstehenden Werte der Urteilmatrix voneinander verschieden sind. Die Elemente der Indikatoren-Ebene werden in dieser Arbeit durch den Vergleich von BRT und Straßenbahn detailliert analysiert, dadurch werden die Urteilmatrizen C voll unterstützt. Gegenseitig werden keine eingehenden Überprüfungen bei den Urteilmatrizen A zwischen Zielebene und Teilzielebene und B zwischen Teilzielebene und Indikatorebene in dieser Arbeit gegeben. Deshalb werden bei dem spezifischen Vergleich und der Auswahl die Werte von Urteilmatrizen A, B mit Hilfe des empirischen gewichteten Ansatzes bestimmt während Urteilmatrizen zwischen Indikatoren-Ebene und der Alternativebene mit dem mathematischen gewichteten Ansatz festgelegt werden.

Die spezifischen Indikatoren von BRT und Straßenbahn werden im Hinblick auf die techni-

sche Funktion, Investitionskosten, Energieverbrauch und Umweltschutz, Betrieb und Management usw. (siehe Kapitel 4) durch die detaillierte und umfassende Untersuchung qualifiziert und quantifiziert. Anhand der Untersuchung lassen sich die relativen Vor- und Nachteile des BRT und der Straßenbahn und deren Umfang beurteilen. Mit Hilfe der Ergebnisse der vergleichenden Analyse können die Werte oder ein Wertebereich der Urteilsmatrizen C ermittelt werden.

(1) Leistungsfähigkeit

Zweistufige BRT und Straßenbahn haben den annähernd gleichen Umfang von Leistungsfähigkeit. Dieses Element bekommt in der Urteilsmatrix damit Wert „1“.

(2) Betriebsgeschwindigkeit

Das BRT-Fahrzeug ist kürzer als die Straßenbahn und muss nicht wie die Straßenbahn auf dem Gleis fahren, dessen Fahren wird weniger gestört und die Bedienung ist flexibler. Die durchschnittliche Betriebsgeschwindigkeit vom BRT ist um 13% schneller als die der Straßenbahn in China. Daher werden die Werte zwischen 2 und 3 dem entsprechenden Element in der Urteilsmatrix zugeordnet.

(3) Bedienungsqualität

mittelstufige BRT und Straßenbahn sind beide mit moderner Hardware und intelligenten Software-Management-Einrichtungen versehen, deren Bedienungsqualität erreicht bereits ein höheres Niveau, gibt den Passagieren ein bequemerer, sicherer, zuverlässigeres Gefühl als konventionelle Nahverkehrssysteme. Die vergleichende Analyse ergibt, dass die moderne Straßenbahn sowohl bei Bequemlichkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit als auch bei der Erreichbarkeit besser ist als das BRT. Trotz der Unterschiede zwischen Bedienungsqualität von beiden besitzen die beiden Nahverkehrssystem ein hohes Serviceniveau, das heißt der Unterschied existiert zwar ist aber gering. Daher lässt sich der Wert des Matrixelementes für 1/2 bis 1/3 beurteilen.

(4) Energieverbrauch

Die Zweischienenstraßenbahn ist mit Stahlrädern und Schienen, der Rollreibungskoeffizient von Stahlrädern ist etwa 0,001; spurgeführte gummibereifte Straßenbahn ist hingegen mit Gummireifen und einer Schiene für der Orientierung, deren Rollreibungskoeffizienten ist gleich wie beim BRT-Fahrzeug. Der Energieverbrauch des Fahrzeugs ist direkt proportional zu der Geschwindigkeit. Wenn die Geschwindigkeit niedrig ist, nähern sich die Verbräuche von BRT und Straßenbahnen, aber mit Steigerung der Geschwindigkeit vergrößern sich die Abstände der Verbräuche bis die

Zweischienenstraßenbahn die Höchstgeschwindigkeit erreicht. Deren Verbrauch beträgt dann nur gut Hälfte des BRT-Fahrzeugs. Deshalb erhält dieses Matrixelement den Wert von 1/2 bis 1/5.

(5) Lärm

Geräusch ist direkt proportional zur Geschwindigkeit. Je schneller das Fahrzeug ist, desto größer ist der Lärm. Das BRT ist durchschnittlich 34% schneller als die Straßenbahn, Lärm des BRT ist um ca. 20% mehr als der Straßenbahn. Deshalb wird das Element in der Matrix für 1/2 bis 1/3 beurteilt.

(6) Luftverschmutzung

Alle BRT-Fahrzeuge nutzen Brennstoffe (Diesel, Benzin, Erdgas etc.) in China für den Auftrieb, erzeugen dadurch mehr oder weniger direkte Emissionen von CO, NOx, HC, PM und anderen Schadstoffen, während die Straßenbahn hat keine direkten Emissionen. Daher, ist der Wert des Matrixelementes 1/8 bis 1/9.

(7) Investitionskosten

Der Bau der Straßenbahn betrifft mehr und komplexere Unterprojekte als der Aufbau des BRT in der gleichen Umgebung und unter gleichen Bedingungen. Die zusätzlichen Unterprojekte wie die Schienen, die Stromversorgung ist relativ teuer. Außerdem ist die moderne Straßenbahn ca. 10-mal teuer als das BRT-Fahrzeug. Selbst wenn man die Lebensdauer der Fahrzeuge mit einbezieht, ist der Wert einer Straßenbahn 2- bis 3-mal höher als das BRT-Fahrzeug. Hierbei beurteilt man den Wert des Matrixelementes für 5 bis 7.

(8) Betrieb und Management

BRT koordinieren und verbinden sich leichter mit konventionellem bodengebundenem Verkehr, so dass es möglich ist, ein organisch, einheitliches Ganzes entstehen zu lassen, was für die Entwicklung und den Wirkungsgrad des gesamten öffentlichen Nahverkehrs förderlich ist. Die Straßenbahn wird entweder alleine von einem ÖV-Unternehmen oder durch eine Schienengesellschaft mit U- oder S-Bahn zusammen betrieben und verwaltet. Egal mit welcher Form gehört die Straßenbahn ohnehin zu einer anderen Verwaltungseinheit als herkömmliche Nahverkehrssysteme. die getrennten Verwaltungen verhindern reibungslose Kommunikation, Koordination, Konvergenz zwischen den beiden. Manchmal machen sie destruktiven Wettbewerb wegen des eigenen Interesses, das ist nicht günstig für die gesamte Entwicklung des städtischen Nahverkehrs. Es ist ersichtlich, dass die einfachere Integration des BRT

mit anderen Arten des öffentlichen Verkehrs macht das BRT hierbei vorteilhafter als die Straßenbahn. Diese Matrixelemente bekommen den Wert von 3 bis 5.

(9) Betriebsweise der Linie

Der Betrieb des BRT ist flexibel, BRT können sowohl in einer eigenen Spur als auch außerhalb davon fahren. Der Betriebsmodus der Linie ist vielfältig. Die Varianten „eigener Korridor+ eigene Linie“ und „eigener Korridor+ flexible Linien“ („Haupt- und Nebenlinien“ oder „Haupt- und Zubringerlinien“) sind alle möglich für die BRT. Straßenbahn ist gegenüber auf Schienen beschränkt, deren Betriebsart ist relativ homogen, meistens werden sie im „eigener Korridor+ eigene Linie“ Modus betrieben. Daraus ist der Betrieb der Linie von der BRT flexibler als die Straßenbahn, die Umstellung und Verwaltung von BRT ist damit einfacher. Auf der Grundlage seiner Flexibilität wird dieser Wert in Matrix zu 5 bis 7 gelegt.

(10) Intelligente Steuerung (IS)

Intelligente Steuerung des BRT ist aufgrund der verschiedenen physikalischen Struktur der beiden nicht so kompliziert wie die der Straßenbahn. Die Straßenbahn besitzt zusätzliche Systeme wie Weichensteuerung und Stromkontrolle. Mit anderen Worten, die IS der Straßenbahn ist komplizierter als die der BRT, das Koordinieren ist schwerer. Deshalb beurteilt man diesen Wert in der Matrix als 3 bis 5.

(11) Anpassungsmöglichkeit an die Stadtgröße und den Wirtschaftsniveau

Die praktischen Werte der Stadtgröße und die Wirtschaftsniveaus für den Bau des BRT sind alle unter denen für die Straßenbahn, das heißt die Anforderungen des Baus des BRT in Bezug auf die Stadtgröße und das Wirtschaftsniveau sind niedriger als die des Baus einer modernen Straßenbahn. Aber es gibt bisher noch keine konkrete Vorgabe für die Grenzwerte der Stadtgröße und des Wirtschaftsniveau beim Bau der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme. Nur aus den vorhandenen Daten schätzt man, es gibt zwar Unterschied aber sie sind gering. So werden die Werte 2 bis 4 diesem Matrixelement verliehen.

(12) Anpassungsmöglichkeit an den Fahrgaststrom

BRT eignet sich für Verkehrsmenge zwischen 8.000 – 25.000 Pers./h/Richtung während die Straßenbahn ist für Fahrgaststrom von 8.000 ~ 15.000 Pers./h/Richtung geeignet ist. Sie haben gleiche Untergrenze, aber die Obergrenze des BRT ist um 67% höher als die der Straßenbahn. So ergibt sich 2 bis 4 für die Matrix.

(13) Die Anpassungsmöglichkeiten an die Rahmenbedingungen der Straße

Die Anpassung der Fahrbahnbreite, Kreuzungen, Längsneigung usw. zählen zu der Anpassung an die Rahmenbedingungen der Straße. Die Anforderung an Fahrbahnbreite durch die Straßenbahn ist niedriger als von BRT. Der Anwendungsbereich ist damit breiter als die des BRT. BRT kann vielfältig eingesetzt werden in Bezug auf die Gestaltung der Kreuzungen und der Längsneigung einer Straße. Umgestalten der Kreuzung und Umstellen der Längsneigung ist billiger als die Verbreiterung der Straße in Bezug auf die Einführung von BRT oder Straßenbahn in China. Verbreiterung einer vorhandenen Straße erfordert Grunderwerb, Abriss und die Umsiedlung und ist besonders schwer in den Stadtzentren oder dem gewerblichen Bereich zu implementieren. Deshalb nimmt man an, dass die Anpassung der Fahrbahnbreite wichtiger ist als die der Kreuzungen und der Längsneigung. Das Element in Urteilsmatrix, das der Anpassungsmöglichkeit an die Rahmenbedingungen der Straße entspricht, erhält den Wert von 2 bis 3.

(14) Anpassungsmöglichkeiten an das Stadtimage

Obwohl das mittelstufige BRT und die Straßenbahnen moderne Fahrzeuge einsetzen, spielt das BRT wegen der Beschränkung des Erscheinungsbildes und der Betriebsweise eine nicht so große Rolle wie die Straßenbahn bei der Verschönerung der Stadt. BRT spielt für das Stadtbild eine geringere Rolle als die Straßenbahn. Durch viele Oberleitungen der Straßenbahn kann die Sicht gestört werden. Aber bei einer einzelnen Linie verursachen sie keine eingeschränkte Sicht. Das Element in Matrix wird mit Wert von 1/5 bis 1/3 beurteilt.

5.5.3 Prüfung der Konsistenz der Urteilsmatrix

Die Lösungen der charakteristischen Wurzeln (λ_{\max}) der Urteilsmatrix und Eigenvektoren (ω) ergeben sich aus der folgenden Gleichung:

$$A\omega = \lambda_{\max}\omega \quad 5-2$$

Die Lösung der Eigenvektoren wird normalisiert. Die normalisierten Werte werden die sortierten Gewichte der Elemente von B1, B2, B3, B4 unter Kriterium A. Der Ansatz heißt Ansatz der charakteristischen Wurzeln. Die charakteristische Wurzel λ_{\max} existiert und es gibt nur eine einzigartige λ_{\max}

Die Konsistenz muss nach dem Ergebnis von λ_{\max} geprüft werden, um zu gewährleisten, dass kein logischer Widerspruch vorkommt. Die Schritte stehen unten:

a) Berechnung des Konsistenz-Index, $C.I.$, $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, n ist die Anzahl der Zeile oder

Spalte der Urteilsmatrix;

b) durchschnittlich zufällige Konsistenz-Index, $R.I.$, der durchschnittliche zufällige Konsistenz-Index ergibt sich aus den arithmetischen Mittelwerten von Konsistenz-Indizes von mehreren zufälligen Urteilsmatrizen (mehr als 500), hierbei werden die durchschnittlichen zufälligen Konsistenzindizes aus 500 Matrix mit gleicher Anzahl der Zeilen und Spalten abgeleitet.

Tabelle 5-3 durchschnittlichen zufälligen Konsistenzindizes aus 500 Matrixen mit „m“ Zeilen und Spalten ($0 < m < 10$)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R.I.$	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,49

c) Berechnung der Konsistenzverhältnis, $C.R.$, $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$, wenn $C.R. < 0,1$, ist angenommen,

dass Konsistenz der Urteilsmatrix i.A. akzeptabel ist. Wenn aber $C.R. \geq 0,1$, muss die Urteilsmatrix angemessen modifiziert werden.

5.6 Durchführung des hierarchischen Prozesses

Der hierarchische Prozess wird in die einzelnen hierarchischen Prozesse und den gesamten hierarchischen Prozess aufgeteilt.

5.6.1 Der einzelne hierarchische Prozess

Die Berechnung der relativen Bedeutungen von allen Elementen innerhalb einer Ebene zu einem bestimmten Element der letzten Ebene eines nach dem anderen wird als einzelnen hierarchischen Prozess bezeichnet. Mit anderen Worten, der einzelne analytische hierarchische Prozess ist eine Reihe von Gewichtung der Elemente einer bestimmten Ebene im Zusammenhang mit einem Element letzter Ebene nach der Berechnung der Urteilsmatrix. In der Theorie kann der einzelne hierarchische Prozess auf das Problem der Berechnung der maximalen charakteristischen Wurzel und deren Merkmalsvektor der Urteilsmatrix zurückgeführt werden. Diese Rechnung braucht i.a. keinen hohen Grad an Genauigkeit zu verfolgen, weil die Urteilsmatrix selbst etwas ungenau ist. Außerdem stehen die gegebenen Gewichtungen der Faktoren bei Anwendung des *AHP* für den Ausdruck eines qualitativen Konzepts. Deshalb werden die Angleichung des größten Eigenwerts und seines entsprechende Eigenvektors mit der iterativen Methode auf dem Computer durchgeführt.

Der Algorithmus ist wie folgt:

(1) Rechnung die Multiplikation M_i aller Elemente in Matrix

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad 5-3$$

(2) Berechnung der Wurzel n, \overline{W}_i ,

$$\overline{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad 5-4$$

(3) Normalisierung des Vektors $\overline{W} = [\overline{W}_1, \overline{W}_2, \dots, \overline{W}_n]^T$.

$$W_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{j=1}^n \overline{W}_j} \quad 5-5$$

Der normalisierte Vektor $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ ist eine Lösung von Merkmalsvektor.

(4) Berechnung der maximalen Eigenwurzel der Urteilmatrix λ_{\max} ,

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad 5-6$$

Mit: $(AW)_i$ vertritt das Element i in Vektor AW .

5.6.2 Der gesamte hierarchische Prozess

Entlang der hierarchischen Struktur von oben nach unten können die relativen Wichtigkeiten der Elemente der untersten Ebene (alternativ Programme) in Elemente des höchsten Niveaus (das übergeordnete Ziel) umgerechnet werden, nämlich der gesamte hierarchische Prozess. Mit anderen Worten ist der gesamte hierarchische Prozess auf das übergeordnete Ziel gerichtet. Der gesamte hierarchische Prozess ist von höchster Ebene gleichzeitig der gesamte hierarchische Prozess der gesamten stufigen Struktur.

Für den gesamten hierarchischen Prozess soll die Konsistenz geprüft werden. Die Prüfung erfolgt von oben nach unten. Aber neue Forschung zeigt, dass Konsistenz des analytischen hierarchischen Prozesses nicht nötig ist, das heißt, die Prüfung der Konsistenz des gesamten hierarchischen Prozesses kann oft weggelassen werden [133].

5.7 Zusammenfassung

Der Vergleich und die Auswahl der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme sollen in einem Korridor zur Umsetzbarkeit in einer Stadt als Untersuchungsebene durchgeführt werden. Aufgrund der Analyse des Verkehrsbedarfes und der Einflussfaktoren der Stadt werden die relativen Vor- und Nachteile der Verkehrsträger dargestellt und mit Hilfe einer angemessenen Methode ein für den Korridor geeignetes schnelles und mittel-kapazitives Nahverkehrssystem ausgewählt.

In diesem Abschnitt wird zunächst der Gedankengang des Vergleichs und der Auswahl beschrieben, dann sind die internen Bedarfsfaktoren und externe Versorgungsfaktoren zu analysieren. Der Vergleich und die Auswahl des schnellen und mittel-kapazitives Nahverkehrsystems zählt zur Entscheidungsfindung mit begrenzten Alternativen und mehreren Zielen. Damit wird *AHP* als Hilfsmittel vorgeschlagen. Die Zielebene, Teilzielebene, Indikatorebene und Alternativen-Ebene werden für Struktur des *AHP* gebaut, außerdem werden auch die Urteilmatrizen gebildet. Die Ergebnisse des Kapitels 4 werden entsprechend der Wertbereiche der Urteilmatrix zwischen Indikatorebene und die Alternativebene definiert. Schließlich werden die Methodik und die Vorgehensweise des *AHP* vorgestellt.

6 Erfahrungen und Fehler der Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme in China

Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung und Verbesserung des öffentlichen Verkehrs in China, bekommen die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme die Chance sich schnell auszubreiten. Besonders sind die BRT in nur acht Jahren schon in vierzehn Städten gebaut und in Betrieb gesetzt. In ein paar Städten bilden sie sogar ein verbessertes Netzwerk. Sie spielen eine zunehmende Rolle im gesamten öffentlichen Nahverkehrssystem. Nach der zehnjährigen Entwicklung haben die schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssysteme schon einige Erfolge erzielt während viele Fehler und Fragen aufkommen. Um sie effizient, schnell, gesund und nachhaltig zu entwickeln, muss man die Erfahrungen (Erfolge und Probleme) zusammenfassen und analysieren, sodass man damit Hinweise auf Weiterentwicklung der schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssysteme anbieten kann.

6.1 Zusammenfassung der Entwicklung von BRT

6.1.1 Entwicklungserfahrungen des BRT

- i. **Der gesamte Betrieb von BRT-Systemen ist i.a. in gutem Zustand. Sie passen sich den Verkehrsbedürfnissen in China gut an.**

Der Bau eines schnellen Verkehrssystems zielt auf eine Erhöhung der Effizienz, des Bedienungsniveaus und des gesamten Nutzens des städtischen Nahverkehrssystems; auf die Verkürzung der Reisezeit der Fahrgäste; auf die Verbesserung der Verkehrslage und des Stadtimages; auf eine Erhöhung der Anteile von Fahrten mit ÖV und kontinuierliche Erfüllung des Bedarfs der Fahrten des Publikums ab. Ob BRT solche Zwecke wirklich erreicht, kann durch Zufriedenheit der Bürger bestätigt werden. Zufriedenheit ist ein psychologischer Zustand, der die Freude von Fahrgästen zeigt, nachdem ihre verkehrsmäßigen Bedürfnisse gut erfüllt sind. Der Bau des BRT dient der Befriedigung der wachsenden Reisenachfrage der Bevölkerung. In Tabelle 6-1 wird die Zufriedenheit des Publikums mit BRT-Systemen in acht großen Städten in China aufgeführt.

Tabelle 6-1 Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem BRT

Städte	Zufriedenheitsgrad	Städte	Zufriedenheitsgrad
Dalian	94,3%	Changzhou	75,4%
Xiamen	90,3%	Zhengzhou	63,2%
Peking	88%	Ürümqi	28,6%
Jinan	81,9%	Guangzhou	14,9%

Hinweis: Der Zufriedenheitsgrad bezieht sich auf den Prozentsatz der Anzahl der zufriedenen Bürger mit einem BRT zu der Gesamtzahl der Befragten in der Umfrage. Der Zufriedenheitsgrad wurde in „zufrieden“, „kaum zufrieden“ und „gar nicht zufrieden“ klassifiziert. Die Daten der Tabelle stammen aus dem „Fragebogen Star-Website“.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Bürger der meisten Städte i.A. zufrieden mit dem

BRT sind. Nur in Ürümqi und Guangzhou sind die meisten Bürger mit dem BRT nicht zufrieden, da viele direkte Verbindungen der Buslinien aufgehoben werden und die Autofahrer klar gegen den BRT sind. Die meisten BRT-Systeme funktionieren gut und verwirklichen grundlegend die Zwecke des Baus des BRT. Der vom Ausland importierte BRT-Modus hat sich i.A. schnell und leicht in den chinesischen Städten eingepasst.

ii. Eine vernünftige Positionierung der Funktion und wissenschaftliche Gestaltung der Linien ist die Voraussetzung für ein erfolgreiches BRT.

Die BRT-Systeme haben einen breiten Anwendungsbereich. Sie können sowohl als Rückgrat des Nahverkehrs in kleinen und mittleren Städten, als auch als Ergänzung oder Übergang zum U- oder S-Bahn-System in mittleren und großen Städten dienen. Die chinesischen Städte haben bei den Überlegungen der Gestaltung des Liniennetzes den Charakter des Verkehrsflusses in ihrem Verkehrskorridor stark einbezogen. Die BRT-Systeme haben entsprechend dem Charakter verschiedene funktionelle Lagen bekommen. Deren funktionelle Positionen haben weiter auf die Betriebs- und Verwaltungsmodi gewirkt. Die BRT-Systeme in China haben eine gute Betriebswirkung, z.B. der gesamte öffentliche Nahverkehr in Beijing hat die U-Bahn als Rückgrat genommen. Die Durchführung des BRT hat die Beziehung zwischen U-Bahnlinien und der Erschließung und Nutzung der Grundstücke verstärkt. Deshalb ist die funktionelle Lage des BRT in Peking die Erweiterung, Ergänzung, Verbindung und Übergang der U-Bahn und die Bedienung der sekundären städtischen Verkehrskorridore. Die dortige BRT-Linie 1 hat sich auf der Süd-Achse der Straße gestaltet und mit einigen wichtigen U-Bahnhaltestellen verknüpft. Deshalb hat sie betrieblich gute Wirkungen erzielt. Bei Stoßzeit ist die Betriebsgeschwindigkeit 23,5 km/h. Dies ist höher als die Geschwindigkeit des konventionellen Busses mit 16 km/h vor der Eröffnung der BRT-Linie. Das Fahrgastaufkommen von dieser Linie beträgt jährlich 32,94 Mio. Dies nähert sich dem Fahrgastaufkommen von U-Bahn-Linie 13 mit 42,64 Mio. und ist gleichzeitig fast das zwei fache Aufkommen der U-Linie 8 (16,49 Mio.) in Peking [121]. Ein weiteres Beispiel: Die BRT-Linie in Zaozhuang hat die alte und neue Stadt gebunden und die Aufgabe zur Verbesserung des Verkehrs zwischen der alten und neuen Stadt, sowie zur Beschleunigung der synchronischen Entwicklungen der drei Stadtbezirke (Taizhong, Xuancheng, Taierzhuang) beigetragen. Die funktionelle Position der BRT-Linie ist das Rückgrat des städtischen Nahverkehrs. Die Linie ist so gestaltet, dass sie die gruppierten Außenbezirke und die urbanen Zentren mit der hohen Servicequalität verbunden hat. Aufgrund der langen Distanz zwischen der alten und neuen Stadt ist der Haltestellenabstand auf der Strecke groß eingestellt. Die durchschnittliche Betriebsgeschwindigkeit im Stadtzentrum beträgt 30 km/h. Das BRT rangiert hier auf dem zweiten Platz innerhalb aller BRT in China und liegt knapp unter dem BRT in Chongqing mit einer Geschwindigkeit von 31 km/h. Das BRT-System hat ein gutes Ergebnis im Betrieb erzielt.

iii. Umstellung der BRT-Systeme auf die chinesischen Städten ist der Schlüssel zum Erfolg von BRT.

BRT stammt aus Südamerika und verbreitete sich dann weltweit. In seiner kontinuierlichen Entwicklung, kommen Verbesserung, einheitliche bauliche Normen und technische Vorschriften vor. Darin sind Ausrichtung der Spur, Gestalten der Haltestellen, Einsetzung der Fahrzeugtyp und Betrieb sowie Management klar definiert und deren Standard konkret gestellt. Die chinesischen Städte haben die Normen und Vorschriften von Ausländern nicht originalgetreu und vollständig übernommen, sondern nach den Merkmalen der jeweiligen Stadt, in Bezug auf die spezifischen Nachfragen nach dem Personennahverkehr der BRT-Systeme, umgestellt. Die BRT-Systeme konnten sich an die konkreten Entwicklungen des städtischen Nahverkehrs anpassen. Beispielsweise nutzt bei der Einstellung der Eigenspur jede Stadt verschiedene Form aufgrund der Struktur der Straße und Reisegewohnheiten der Allgemeinheit. Changzhou legte die Busspur des BRT ohne physische Trennung mitten die Straßen, Spuren werden nur durch doppelte Gelblinien getrennt. Hingegen befinden sich die Eigenspuren von BRT in Hangzhou auf dem seitlichen Fahrstreifen der Straße und werden durch die Verwendung von reflektierenden Spikes von den anderen Fahrspuren getrennt. In Xiamen ist die Eigenspur unter Berücksichtigung der künftigen Konversion zu S-Bahn auf Viadukt gestellt.

iv. Der flexible Modus von Betrieb und Management sichert den Erfolg des BRT.

Die Kapazität der Eigenspur und der Betriebseffekt des BRT sind direkt mit dem Modus von Betrieb und Management verbunden. Dies liegt an frühen Phasen der Entwicklung. Mit anderen Worten entscheidet der Betriebs- und Management-Modus die Leistungsfähigkeit der Spur und Betriebsleistung, bevor ein vollständiges BRT-Liniennetz entsteht. Verschiedene Modi werden zur Kontrolle der Anzahl der Eigenspur passierenden Fahrzeuge pro Stunde angewendet, so dass die Spur nicht zu leer oder zu voll ist. Die BRT-Systeme der chinesischen Städte stecken in den Kinderschuhen, da noch keine kompletten Liniennetze geformt und begrenzte Linien und Fahrzeugmenge vorhanden sind. Um die BRT-Spur auszulasten und ihre Leistungen auszuschütteln, gebrauchen die meisten Städte den „eigene Korridor+ flexible Linie“-Modus. Nur einzelne Städte nutzt einen „eigen Korridor +eigen Linie“ Modus, wie z.B. Xiamen. Egal welche Betriebsarten eingesetzt werden, sie haben die Eigenschaften der Städte mit ihren Fahrströmen angepasst. Die BRT hat damit gut funktioniert. Das Ziel der Planer für BRT ist erreicht.

6.1.2 Die auftretende Probleme der BRT-Systeme Chinas

Nachdem die BRT in Betrieb genommen worden sind, haben viele Experten Umfragen und Analysen [134],[135],[136] zu betrieblichen Charakteren und Wirkungen der BRT-Systeme durchgeführt. Es kommen verschiedene Probleme unter BRT-Systemen in unterschiedenen

Städten vor. Durch Untersuchungen und Analyse vor Ort werden die Probleme der BRT-Systeme in China wie folgt zusammengefasst:

i. Die meisten Städte haben kein Liniennetz für BRT gebildet, sodass die BRT-Systeme ihre Transportkapazität nicht voll ausspielen können.

Seit 2004 die erste BRT-Linie in China in Betrieb genommen wurde hat sich das BRT schnell ausgebreitet. 14 Städte haben nun BRT-Systeme in Betrieb. Dabei gibt es aber bestimmte Probleme in Bezug auf die Weiterentwicklung eines Systems. Die meisten Städte besitzen nur ein bis zwei Eigenkorridore. Aus verschiedenen Gründen haben die Systeme keine Weiterentwicklungen und kein komplettes Netz mit großem Umfang gebildet. Tabelle 6-2 zeigt die Menge der BRT-Korridore der chinesischen Städte.

Tabelle 6-2 Anzahl der BRT-Linie der chinesischen Städte

Städte	eigene Korridore	Städte	eigene Korridore
Jinan	6	Yancheng	2
Kunming	5	Chongqing	1
Hangzhou	3	Guangzhou	1
Wrumuqi	3	Heifei	1
Xiamen	3	Zhengzhou	1
Peking	2	Dalian	1
Changzhou	2	Zaozhuang	1

Nach den Erfahrungen der betrieblichen Wirkung ausländischer Städte, haben die BRT-Systeme in Curitiba und Bogotá die besten Effizienzen und Betriebseffekte auf der Welt. Beide haben sechs Eigenkorridore. Es kann angenommen werden, dass sechs Eigenkorridore ein vollständiges Liniennetz mit breiter Abdeckung formen können. Aus Tabelle 6-2 ist zu sehen, dass Kunming und Jinan fünf bis sechs Korridore gehabt haben. Die beiden haben schon ein grundlegendes Netz, so dass sie weite Deckungsbereiche und hohe Beförderungsfähigkeiten erreichen. Die restlichen BRT-Systeme besitzen ein bis drei Korridore, somit haben sich keine Netze gebildet, die Beförderungsleistung ist begrenzt und die Netzvorteile werden nicht ausspielt.

ii. Die BRT-Fahstreifen wurden teilweise nicht angemessen angelegt. Die Resonanz in der Öffentlichkeit ist groß.

Die Qualität der angelegten BRT-Fahstreifen wirkt direkt auf die weitere Entwicklung der BRT. Die wissenschaftlich geplante und rationell gestaltete Fahrspur der BRT ist in der Lage, nicht nur die Entwicklung von BRT zu fördern, sondern auch den Reisebedarf der Allgemein-

heit zu decken, die Verkehrsstaus in den Städten zu lösen und das Stadtbild zu erheben. Umgekehrt, die unvernünftige Ausrichtung der Streifen führt zum Ungleichgewicht in der Verteilung der Nutzung des Straßenraums. Dies verursacht zwei weitere extreme Phänomene. Ein Phänomen ist, dass es nur einem dünnen Fahrzeugstrom auf der Eigenspur gibt. Der Ausnutzungsgrad der Spur ist gering, was Beschwerden von Autofahrern hervorruft, das Stadtimage beeinträchtigt und somit die Entwicklung des BRT behindert. In China wurden die BRT-Spuren grundlegend entlang der Korridore mit starker Verkehrsbelastung verlegt. Solche Korridore laufen teilweise auf Straßen in der Innenstadt oder Altstadt. Die Straßenressourcen mit meistens vier Fahrstreifen oder sogar weniger sind sehr beschränkt. Wenn zwei davon für BRT gezeichnet werden, werden alle anderen Verkehrsträger auf die zwei verbleibenden allgemeinen Fahrstreifen gedrängt und entsprechend stark belastet. Aber die BRT-Spur ist aus verschiedenen Gründen nicht ausgelastet, scheint unnatürlich „leer“ gegenüber den allgemeinen Fahrstreifen. Wie zum Beispiel: Am Anfang der Inbetriebnahme von BRT in Hangzhou war der Anteil zwischen dem Fahrzeugstrom von Autos und BRT-Bussen im Missverhältnis. Auf der Strecke „Wulinmen“ der Straße „Tianmushan“ betrug der Verkehrsstrom 230.000 Kraftfahrzeuge pro Tag auf vier Fahrstreifen während auf BRT-Spur täglich 260 Busse fahren. Nach diesem Verhältnis passiert ein BRT-Fahrzeug in die Straße während im gleichen Zeitraum aber 885 Fahrzeuge auf vier normalen Fahrstreifen fahren. Nach der Rechnung durch den Fahrplan des BRT bleiben die zwei Eigenspuren 6,5 Stunde leer pro Tag. Auf gleichen Abschnitten sind die BRT-Spuren leer, während die normalen Spuren mit dichtem Fahrzeugstrom voll sind.

Das andere Phänomen ist, dass irrationale Routenplanung zu übermäßigem Fahrzeugstrom auf der BRT-Spur führt. So stehen oft mehrere BRT-Fahrzeuge, beispielsweise ein Zug an der Haltestellen oder einem Knotenpunkt. Das wirkt sich auf mehreren Seiten negativ. Die Fahrgäste sind sehr unzufrieden damit. BRT in Guangzhou hat den „Eigen Korridor +flexible Linie“ Modus aufgenommen. Es gibt insgesamt 31 Linien im Korridor und das Fahrgastaufkommen beträgt 26.900 Passagiere pro Richtung und Stunde. 2010 machte eine bekannte Website in China eine Online-Meinungsumfrage für BRT in Guangzhou [137]. 39.656 Personen beteiligten sich daran. Aus den Abstimmungsergebnissen sieht man, dass nur 1,63% der Beteiligten mit BRT in Guangzhou zufrieden waren, während 85,13% davon enttäuscht waren und es für einen Misserfolge hielten. Die Gründe dafür sind auf der einen Seite, die Straße „Zhongshan“ ist die meist überlastete Straße in Guangzhou. Außerdem gibt es dort einen starken Fahrgaststrom, der offensichtlich die Kapazität eines BRT weit überschreitet. Trotzdem wurde die BRT-Spur hier geplant und umgesetzt. Auf der anderen Seite wurden 31 BRT-Linien im dichten Takt geplant, was den Korridor in Stoßzeiten durch die übermäßigen BRT-Busse überfüllt. Manchmal sammelten sich mehr als 40 Busse in Warteschlangen an Knotenpunkten oder an Haltestellen.

iii. Die Priorität kann nicht verwirklicht werden. BRT als „schnelles ÖV-System“, das aber nicht schnell ist.

China hat beim Bau von BRT eine Reihe von Maßnahmen, wie gesonderten Spuren oder das Signal „Priorität“ an der Kreuzung als Gewährleistung der Priorität des BRT, sodass BRT-Systeme schnell fahren können. Aber es gibt auch Probleme. Die Durchführung der Priorität war nicht kräftig genug, da die Priorität meist einseitig war. Die Einstellung der Eigenspur war außerdem nicht vollständig. Obgleich alle BRT-Systeme Eigenspuren haben, ist die BRT-Spur ausschließlich für BRT-Fahrzeuge. Jedoch ist sie nicht von anderen Fahrstreifen isoliert. Es gibt keine echte Isolation zwischen BRT-Spur und normal Fahrstreifen. Die meisten Städte haben die Trennung nur mit einem linearen Zeichen angedeutet, ohne völlige physische Isolation. Andere Fahrzeuge können beliebig auf die BRT-Spur einfahren. Dies stört damit BRT-Busse. Außerdem besitzt die BRT-Spur nur teilweise Eigenrecht. BRT-Fahrzeuge müssen auf einige Strecken mit den allgemeinen Autos gemischt fahren. So kann die angestrebte Geschwindigkeit nicht erlangt werden. Zugleich existieren große Sicherheitsrisiken.

Planfreie Lösungen oder Signalpriorität an der Kreuzung sind Teile der wichtigen Maßnahmen und zugleich Bedingung eines „schnell BRT“. Aber diese Priorität wurde nur zum Teil durchgesetzt. Begrenzt von der Struktur des Straßennetzes, vom BRT-Entwicklungsmodell und dem Verständnis der Öffentlichkeit zu BRT, können die Signalprioritäten nur in wenigen Städten umgesetzt werden wie z.B. Peking, Guangzhou und Dalian. Xiamen ist die einzige Stadt, die durch Hochlage die Priorität am Knotenpunkt gewährleistet. Tabelle 6-3 zeigt die Signalpriorität und Betriebsgeschwindigkeit der BRT von chinesischen Städten.

Tabelle 6-3 Signal Priorität und Betriebstempo [138] der BRT in China

Städte	Ob Signalpriorität	durchschnittliches Tempo[km/h]	Städte	Ob Signalpriorität	durchschnittliches Tempo[km/h]
Peking	ja	14~21	Hefei	nein	16
Guangzhou	ja	17~19	Jinan	nein	14
Dalian	ja	23~25	Urlumuqi	nein	10~12
Xiamen	planfrei	27	Zhengzhou	nein	16~18
Chongqing	nein	31	Changzhou	nein	18
Kunming	nein	14	Zaozhuang	nein	30
Hangzhou	nein	18	Yancheng	nein	18

Hinweis: Die durchschnittliche Geschwindigkeit ist die durchschnittliche Betriebsgeschwindigkeit von der Innenstadt während der Stoßzeiten.

Aus Tabelle 6-3 ist zu sehen, dass 72% BRT von chinesischen Städten keine Signalpriorität besitzen. Die durchschnittliche Geschwindigkeit von solchen BRT ist niedriger als die von BRT mit Signalpriorität an Knotenpunkten. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten von

den meisten BRT schwanken zwischen 14 und 18 km/h. Das ist unterhalb der Grenzschnelligkeit zur Warnung der Verkehrsüberlastung der Straße (20 km/h) in internationalen großen Städten.

iv. Umsteigen ist nicht bequem genug.

Das einfache Umsteigen in andere Nahverkehrssysteme ist ein wichtiger Maßstab für ein erfolgreiches BRT. Ein Hauptmerkmal von BRT ist „Schnelligkeit“, die Einsparung der Gesamtzeit für die Öffentlichkeit. Wenn Umsteigen zu viel Zeit kostet, die Gesamtzeit ist sogar eher gestiegen, dann werden die Vorteile von BRT „Schnelligkeit“ ebenfalls nicht gezeigt. Es gibt drei Gründe, die Umsteigen schwer machen. Erstens, BRT kann nicht mit dem normalen Nahverkehr auf derselben Haltestelle umsteigen. Die Fahrgäste müssen durch Fußgängerbrücke oder Überquerung in einen anderen Nahverkehr umsteigen. Zweitens, die Haltestellen von BRT entfernen sich weit von der Haltestellen von normalen Bussen oder Schienenverkehr. Die Passagiere können erst nach einem relativ langen Fußweg umsteigen. Drittens, es gibt neben BRT-Haltestellen keine Park & Ride-Anlagen. Städte, wie Peking, Guangzhou, Zhenzhou etc., haben die Befragung zur „Bequemlichkeit des Umsteigens“ von BRT umgesetzt. Die Ergebnisse sind so: 63% der Fahrgäste in Peking finden, die Bequemlichkeit des Umsteigens bei BRT sollte deutlich verbessert werden^[121]. 87,61% der Fahrgäste in Guangzhou (insgesamt 39.656 Menschen haben an den Abstimmungen der Umfrage teilgenommen) beurteilen das Umsteigen von BRT zu einer anderen Verkehrsart als schwer^[135]. Die Passagiere in Zhengzhou sind extrem unzufrieden mit dem Umsteigen zwischen BRT und anderen Verkehrssystemen. Dies weist darauf hin, dass die Bequemlichkeit des Umsteigens zwischen dem BRT und anderen Nahverkehrsmitteln noch weiter verbessert werden muss.

6.2 Die Zusammenfassung der Entwicklung der Straßenbahn

6.2.1 Die Entwicklungserfahrungen der Straßenbahn

i. In ihrer Anfangsphase

Die Straßenbahn hatte eine frühe Entwicklung in China und kann bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts zurückverfolgt werden. Die moderne Straßenbahn begann jedoch spät und langsam. Die erste modernisierte Straßenbahn erschien im Jahr 2002 in Dalian. Sie ist durch Modernisierung des alten Straßenbahnsystems verwirklicht. Eine von Grund auf neue Einführung der Straßenbahn ist 2006 im Bezirk Binhai in der Stadt Tianjin passiert. Diese Straßenbahn hat neue Technologien und Ausrüstungen, wie Spurführung, neu Fahrzeuge, intelligente Steuerung durch Scheduling-Systeme verwendet. Bisher besitzen nur drei Städten (Dalian, Tianjin und Shanghai) eine moderne Straßenbahn. Die Linienzahl und -Länge ist niedrig. Die drei Städte haben jeweils nur eine Linie in Betrieb. Die Länge ist zwischen 10 bis

30 km. Es ist ersichtlich, dass die moderne Straßenbahn in China noch in der Pilotphase befindet.

ii. Große Anwendungsbereiche

Auf der Basis der Entwicklungserfahrungen der modernen Straßenbahn in China und im Ausland ist sie in breiterem Rahmen anzuwenden. Sie gelten für folgende Gegenden: mit einem potenziellen Fahrgaststrom bis zu 10.000 Pers. Pro Stunde und Richtung in Spitzenstunden und der wirtschaftlichen Entwicklung zu einem gewissen Maß innerhalb des Stadtgebietes der kleinen und mittelgroßen Städte; zwischen den wichtigen Stadtbezirken oder dem Stadtzentrum und Umland der großen Städte; innerhalb der Satellitenstadt oder Erschließungszone des Außengebiets einer Metropole (z.B. Straßenbahn in der industriellen Erschließungszone „Zhangjiang“ der Metropole Shanghai); zwischen einer Reihe von neu bebauten Gebieten mit verschiedenen Funktionen innerhalb eines neuen Stadtteils (z.B. Straßenbahn in dem neuen Stadtteil „ Binhai“ der Stadt Tianjin). Die moderne Straßenbahn kann entweder als Rückgrat in einer mittelgroßen Stadt mit einer Wirtschaftsfähigkeit oder als Ergänzung der U-oder S-Bahn in den sekundären Verkehrshauptkorridoren in Großstädten oder Metropolen. Die konkreten Entwicklungszustände der Straßenbahn sind von der wirtschaftlichen Entwicklung, Straßennetzstruktur, Bedingungen der vorhandenen Straßen, Verkehrsstärke des städtischen Personenverkehrs abhängig.

iii. Eine Entwicklungsrichtung des zukünftigen öffentlichen Verkehrs in China

Moderne Straßenbahnen sind mit vielen Vorteilen wie großer Beförderungsfähigkeit, hoher Geschwindigkeit, niedrigem Energieverbrauch und keine direkte Emission usw. ausgestattet und haben einen großen Geltungsbereich. Dies ist breit, v.a. von den entwickelten Ländern in Europa, bestätigt worden. Die erfolgreichen Probetriebe der Straßenbahn in Shanghai und Tianjin belegen auch, dass die moderne Straßenbahn den Bedarf der Öffentlichkeit nach Reise gut stillen und die Wirtschaft entlang der Straßenbahnlinie fortziehen kann. Nicht zuletzt hat sie erheblichen ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Nutzen. Die moderne Straßenbahn ist deshalb machbar in China.

Während die globale Erwärmung, Umweltverschmutzung, Energieverknappung und anderen Problemen immer vorrangiger werden, hat man eine wachsende Sorge um die Umwelt und Energie. Deshalb strebt man im Verkehr nach „grünen“, umweltfreundlichen, energieeffizienten Systemen. Die Merkmale der modernen Straßenbahn (Umweltfreundlichkeit, Ökologie, Energieeinsparung) passen gerade der entwickelten modernen Gesellschaft. Außerdem bieten der erfolgreiche Verlauf in Europa und Anwendung in zwei chinesischen Städten (Shanghai und Tianjin) praktische Unterstützung für die Entwicklung und Förderung der modernen Straßenbahn in China an und ebnen Ihren Weg. Die Straßenbahn ist ein öffentliches

Nahverkehrssystem mit großem Potenzial. Sie wird eine wichtige Variante des ÖPNV mit voller Perspektive in China. Jetzt setzen mehr und mehr große und mittelgroße Städte in China Straßenbahnen in Bau oder Planung, wie z.B. Suzhou, Bezirk „Nanhai“ in Stadt Foshan etc. Dies zeigt auch die Vitalität und das Entwicklungspotenzial der modernen Straßenbahn.

6.2.2 Auftretende Probleme der Straßenbahnsysteme Chinas

Die Entwicklung der Straßenbahn hat in China vor kurzem begonnen und steht in der frühen experimentellen Entwicklungsphase. Es existieren die gleichen Probleme und Schwierigkeiten wie BRT (das steht in der Anfangsphase, entwickelt sich rasant, und zählt auch zu den schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystemen). Beispielsweise ist das Liniennetz noch nicht geformt, die Einstellung der Linie ist nicht zumutbar, die Priorität ist nicht ausführt, das Umsteigen ist nicht leicht etc. Darüber hinaus gibt es noch folgende Probleme wegen des individuellen Unterschieds und ungleicher Entwicklungsstufen wie BRT.

i. Fehlende systematische Forschung, die entsprechende Fachliteratur ist noch unzureichend.

Das moderne Straßenbahnsystem ist ein komplexes technisches System, bezieht sich auf vielfältigen Inhalt und Details und besteht aus Fahrzeugen, Routenplanung, Verkehrsorganisation, intelligenter Steuerung etc. Jeder Teil betrifft wiederum mehrere Aspekte und technische Theorien. Die Straßenbahn erzielt zwar ein gutes Betriebsergebnis in Europa und deren Untersuchungen dort sind eingehend und vollständig, die systematisierte Theorie und Technik ist vollkommen ausgebildet, aber aufgrund der Differenz der Geografie und der öffentlichen Reisegewohnheiten gilt die gesamte technische Theorie der Straßenbahn nicht direkt für chinesischen Städte. Bei der Entwicklung der modernen Straßenbahn in China sollen die theoretischen Technologien an die entsprechenden Charakteristika und die Nachfrage der chinesischen Städte angepasst werden. Im Moment besitzen nur Dalian, Shanghai, Tianjin die modernen Straßenbahnen. Obwohl die drei Städte einige Erfahrungen gesammelt haben, sind angesichts der Probephase mit einer Linien und geringer Länge die entstehende Theorie und Technologie nicht repräsentativ, müssen noch ständig überarbeitet und verbessert werden. Einige Bereiche sind noch erforscht wie zum Beispiel: Planung des Liniennetzes, Analyse der Betriebseffizienz etc. Bis zur systematisch verallgemeinerten Theorie der Systeme und Technologien gibt es noch eine weite Lücke. Aus der Literaturrecherche lässt sich ableiten, dass ganz wenig chinesische Literatur über moderne Straßenbahn vorhanden ist. Die vorliegende Forschungsliteratur fokussiert sich eher auf die Anpassungsmöglichkeit, Material über die Planung des Liniennetzes, Analyse der Betriebseffizienz, Verbindung mit anderen öffentlichen Verkehrssystemen. Forschungsliteratur ist schwer zu finden.

ii. Mangel an einschlägigen Gesetzen und Verordnungen und der entsprechenden

Unterstützung durch die Politik

Da die Straßenbahn entweder auf zwei Schienen oder mit einer Spurführung auf der Straße verläuft, hat dieses System den Charakter sowohl von Stadtverkehr als auch von Schienenverkehr. Allein die Verordnungen und Regeln des städtischen öffentlichen Nahverkehrs oder der Eisenbahn kann die Straßenbahn bei Planung und Betrieb nicht anpassend umsetzen. Wenn die Straßenbahn bis zu einem gewissen Zustand die Entwicklung erreicht, bedürfen Straßenbahnsysteme spezifischen, anwendbaren Gesetzen und Vorschriften, um ihre Entwicklung zu führen und zu regeln. Die Straßenbahn in Deutschland ist mit einer lang andauernden Geschichte ziemlich fortgeschritten. Sie besitzt deswegen entsprechend vollständige Gesetze und Verordnungen. *„Verordnung über den Bau und Betrieb der bahn“* (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung- BOStrab) ist eine Spezifikation für Bau und den Betrieb der deutschen Straßenbahn im Sinne des Personenbeförderungsgesetz. Darin gibt es allgemeine Anforderungen an den Bau der Betriebsanlagen und Betrieb sowie Technische Aufsicht. Die noch spezifischen Regeln stehen in ergänzenden Verordnungen. Die *„BOStrab-Trassierungsrichtlinien“* bestimmen den genauen Inhalt von Trassierung, von Einstellung der Parameter der Trassierung (Ausrichtung der Sicherung, Geschwindigkeit, Fahrdynamik und Komfort) bis zur Wirtschaftlichkeit des Baus und Betriebs. Angemessene Parameter werden angewendet, damit die Linie technischen Werten gerecht und Wirtschaftlichkeit mit den örtlichen Gegebenheiten kompatibel sein kann. *„Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs“* (E A Ö) ist eine technische Referenz der Verkehrsplanung. Der auf die Straßenbahn gerichtete Inhalt gibt Anweisung für Radius der Trassierung, Oberleistung, Haltestelle, Knotenpunkt, Querpunkt außer Haltestelle, Gleise, Wartebereich usw. *„Die standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs“* zeigt die Leitlinie für die Machbarkeit der Investition von Straßenbahnprojekten.

Die Straßenbahn in China hat vor kurzem erst begonnen. Es gibt wenige Gesetze und Vorschriften, die die Straßenbahn betreffen. Anleitungen oder Richtlinien dafür existieren in zwei Gesetz und Vorschrift. Eins ist das Gesetz und die Verordnung für öffentlichen Nahverkehr im Rahmen des Stadtverkehrs, das andere ist die Verordnung für Schienenverkehr. Diese beiden Arten von Gesetzen und Verordnungen erwähnen die Straßenbahn nur beiläufig. Die umfassenden, klar definierten Anforderungen an Planung, Bau, Betrieb der Straßenbahn bleiben unberührt. Sie können die Entwicklung der Straßenbahn leider nicht effektiv führen.

iii. Der Bau benötigt große Investition, aber die Finanzquelle ist einseitig.

Der Bau der modernen Straßenbahn ist ein großes Projekt einschließlich des Anlegens der Bahnkörper, Haltestellen, Fahrzeug, unterstützender Einrichtungen, Umgestalten der Straßen etc. Der Bau benötigt hohe Investitionen, dauert aber kurz, normalerweise nur 1 bis 2

Jahre. Für die 9,156 km lange Straßenbahn in Shanghai wurden insgesamt 750 Mio. CNY Kosten geschätzt, durchschnittlich 81 Mio. CNY pro Kilometer. Die Bauzeit wurde auf ein Jahr gesetzt. Im derzeitigen politischen System kommen Investitionen der ÖPNV-Projekte Chinas vollständig aus dem Staatshaushalt. 750 Mio. CNY Innerhalb eines Jahres zu investieren ist eine ziemlich große Ausgabe für eine Stadt mit nicht so hoher Finanzkraft. Deshalb müssen solche Städte auf die Straßenbahn verzichten, obgleich die Straßenbahn wohl die optimale Verkehrsart im Sinne der Verkehrsnachfrage und des Zustands der Straße dort wäre.

6.3 Vorschläge zur Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme

Nach den Merkmalen und Funktionen des BRT und der Straßenbahn aufgrund der Bedürfnisse und der Probleme von BRT und Straßenbahn in der verschiedenen Entwicklungsstadien, sind mittelstufige BRT und moderne Straßenbahn die potentialen Entwicklungsrichtungen. Folgende Vorschläge sollten dabei eingehalten werden:

- i. Der Vergleich und die Analyse sollen wissenschaftlich sein, sodass eines der schnellen und mittel-kapazitiven Nahverkehrssysteme vernünftig ausgewählt werden kann.**

Im Rahmen des gesamten öffentlichen Personenverkehrs liegen die schnell und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme zwischen U-, S-Bahn und konventionellen Verkehrssystemen. Sie haben relativ viel niedrigere Kosten als U und S-Bahn aber eine viel bessere Qualität als das normale Bussystem. Ihre Anwendungsbereiche sind breit, sie gelten sowohl für Kleinstädte als auch Großstädte. Deshalb haben ihre Entwicklungen eine glänzende Zukunft in der stark zunehmenden Verkehrsnachfrage Chinas.

Aus der Analyse in Kapitel 4 ist zu ersehen, dass die BRT und Straßenbahnen ihre eigenen Vor- und Nachteile haben. Sie gelten damit für verschiedene Städte und Transportkorridore. Bei Vergleich und Auswahl sollen die Entscheidungsträger die Stärken und Schwächen von dieser oder jener Verkehrsart nicht überbewerten, sondern mit einer systematischen Ansicht umfassend und objektiv beurteilen. Auf dieser Basis sollte ein geeignetes schnelles und mittel-kapazitives Verkehrssystem nach städtischen Eigenschaften, Charakter des Fahrgaststroms und der öffentlichen Akzeptanz und anderer Faktoren gewählt werden.

- ii. Die Straßenbahn soll rationell geplant und gestaltet werden und ein Liniennetz soll gebildet werden.**

Um den Betrieb von den schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystemen effektiver zu machen, sollen Planer ihre vertikalen Entwicklungen verstärken, nämlich mehrere Linien in-

nerhalb einer Stadt bauen, sodass ein Netz entstehen und der Netzeffekt entstehen kann. Die Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme soll wissenschaftlich geplant und vernünftig ausgerichtet werden. Erstens müssen innerhalb einer Stadt die Verkehrskorridore rational ausgesucht werden. Die Eigenspur für die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme werden in passenden Korridoren angelegt. Der Fahrgaststrom in diesen Korridoren liegt innerhalb der Beförderungskapazität von BRT oder Straßenbahn, das heißt ihre Funktionen können richtig ausgespielt werden. Wenn der Fahrgaststrom zu klein oder groß wäre, entstehen entweder Verkehrsstau oder Verschwendung der Beförderungskraft. Zweitens soll die Gestalten des BRT oder der Straßenbahn im Stadtzentrum rational ausgerichtet werden. Besonders im Zentrum der Metropole gibt es aufgrund der hohen Bevölkerungs- und Straßendichte nicht genug Straßenbreite für die Einführung des BRT oder der Straßenbahn. Um die bereits ausgeglichene Verkehrsstruktur nicht zu beeinträchtigen, sollen Planer hier streckweise Tunnel oder Hochlagen für BRT oder Straßenbahn bauen, die Fahrbahn und Haltestellen können darauf oder darunter legen. Drittens soll bei der Ausrichtung der BRT- oder Straßenbahn- Linien konventionelle Buslinien auch mit berücksichtigt werden. Die normalen Buslinien, die den gleichen Verlauf wie BRT oder Straßenbahn haben müssen entfernt werden, damit unnötiger Aufwand vermieden wird.

iii. Die erforderlichen Maßnahmen sollen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme Priorität bekommen.

Der Kern der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme ist der räumliche und zeitliche Vorrang. Räumlicher Vorrang ist v.a. die Anlegung der eigenen Fahrspur. Die Anlegung der Eigenspur bedeutet nicht unbedingt räumlichen Vorrang. Der Vorrang muss durch eine Reihe von geeigneten Maßnahmen gewährleistet werden. Erstens müssen die Eigenspur abgeschlossen (Polar, Geländer, etc.) oder offen (Verkehrskennzeichen usw.) sein und dadurch von anderen Fahrspuren getrennt werden. Gleichzeitig muss man Werbung für die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme machen und Strafen für illegales Eindringen von anderen Fahrzeugen durchführen. Zweitens soll die Auswahl des Betriebsmodus nach dem Charakter der Stadt und des Fahrgaststromes flexibel und rational sein. Außerdem sollen die Linien im Eigenkorridor einheitlich verwaltet und disponiert werden, damit Wartschlangen an Knotenpunkt oder Haltestellen vermieden werden.

Zeitlicher Vorrang ist durch planfreie Kreuzungen oder Signale etc. gewährleistet. Die Form planfreier Kreuzungen kann die Verzögerungen an Kreuzungen aufheben. Dadurch ist der Vorrang in vollem Umfang gewährleistet. Aber planfreie Kreuzungen verlangen enorme Kosten und einen großen Platzbedarf. Deshalb ist vorzuschlagen, die Signalpriorität an Knotenpunkten einzusetzen. Bei großen Knotenpunkten mit komplizierter Verkehrssituation kann falls erforderlich, eine gesonderte Signalphase eingeführt werden, um den Vorrang von BRT

oder Straßenbahn am Knotenpunkt zu sichern. Leider existieren in China keine gesonderten Signale für BRT und Straßenbahn. Die Signalpriorität ist eine relative Priorität und nicht auf BRT und Straßenbahn gerichtet, sondern auf eine Fahrtrichtung an der Knotenpunkt. Wenn das gesonderte Signal eingeführt wird, muss das System der Lichtsignalanlagen einer Stadt komplett gewechselt werden. Bisher hat keine Stadt Chinas das Vorhaben. Bei Einsetzen der Priorität an Kreuzungen, besonders wenn die kreuzenden Straßen die gleiche Klasse haben, sollte die Verteilung der Signalphase entsprechend der tatsächlichen Situation eingehend untersucht werden. Das Ziel soll es sein, dass die Wirkung auf die Verzögerungen der Kraftfahrzeugen auf den gekreuzten Straßen möglichst gering ist, während die schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme die Signalpriorität erhalten.

iv. Park und Ride-Anlagen zur Verbesserung der Bequemlichkeit des Umstieges sollen einheitlich geplant werden.

Umstieg von schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystem enthält den Umstieg zwischen BRT oder Straßen Linien, Umsteigen in normal Bus, U-, S-Bahn, Autos oder Fahrrad und andere öffentliche Verkehrsträger. Um BRT oder Straßenbahn effizienter zu betreiben, die Reisezeit der Fahrgäste zu reduzieren, die Attraktivität des BRT oder der Straßenbahn zu erhöhen, sollten die Planer von Anfang an den Umstieg berücksichtigen. Haltestellen von BRT oder Straßenbahn müssen gut gestaltet sein zur Realisierung des leichten Umstieges. Es gibt drei Maßnahmen hierfür: an Haltestellen mit hohem Umstieg, können die Haltestellen der normalen Buslinie neben die Haltestelle von des BRT oder der Straßenbahn gelegt werden; die Park- und Ride- Anlage werden neben Haltestellen von BRT oder Straßen angelegt, falls genug Bedarf besteht und es freien Platz gibt; die Haltestelle von BRT oder Straßenbahn soll so nah wie möglich neben Bahnhof der U-oder S-Bahn angelegt werden.

v. Schaffung und Verbesserung relevanter Gesetze und Verordnungen

Systematische und spezifische Gesetze und Verordnungen können die Entwicklung der schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssysteme leiten und fördern. Moderne Straßenbahnen in China befinden sich noch in der Anfangsphase, deswegen mangelt es an einschlägigen Gesetzen und Vorschriften. Straßenbahnen haben zwar sowohl Ähnlichkeit mit dem normalen öffentlichen Verkehrssystem als auch mit dem Schienenverkehr, aber gibt es immer noch Unterschiede bezüglich besonderer Merkmale. Die Gesetze und Vorschriften von dem normalen öffentlichen Verkehrssystem oder Schienenverkehr passen nicht ganz zu der Straßenbahn. Um eine gesunde und nachhaltige Entwicklung der Straßenbahn zu gewährleisten, muss der Planer die einzigartige Beschaffenheit der Straßenbahn prüfen. An die Ergebnisse der erfolgreichen Straßenbahnen der entwickelten Länder soll ein kompletter Satz von Gesetzen und Vorschriften in Bezug auf konkrete Umstände in China angelehnt werden.

6.4 Zusammenfassungen

BRT und moderne Straßenbahn wurden früher im Ausland entwickelt und es wurden viele Erfahrungen gesammelt. Dagegen kommen sie erst seit kurzem in China vor. Aber sie sind schnell gewachsen, es wurden auch gewisse Erfahrungen gesammelt, wie zum Beispiel, dass BRT einen guten gesamten Betrieb haben, sie passen sich gut an chinesische Städte an. Vernünftige Positionierung ihrer Funktion und wissenschaftliche Ausrichtung der Linie sind die Prämisse für Erfolg. Umstellen des BRT auf Umstände der chinesischen Städte ist der Schlüssel für Erfolg. Ein flexibles Betrieb- und Management-Modell ist die Gewährleistung für Erfolg. Straßenbahnen verfügen über einen breiten Anwendungsbereich, sie sind die Entwicklungsrichtung des ÖV in der Zukunft. Selbstverständlich gibt es gleichzeitig einige Probleme. Die meisten BRT haben bisher kein Liniennetz. Einige BRT-Linien wurden nicht gut eingestellt. Verkehrsplaner haben die Priorität nicht ernsthaft realisiert. Das Umsteigen von BRT in andere Verkehrsmittel ist nicht leicht usw. Die Straßenbahn hat außerdem noch zusätzliche Probleme. Es mangelt ihr an systematischer Forschung. Es fehlen einschlägige Gesetze und Vorschriften und unterstützende Politik. Die Finanzquellen sind einseitig etc.

Die mittelstufige BRT und die Straßenbahn sind die zwei Entwicklungsrichtungen des ÖV mit hohem Potential. Die chinesischen Städte suchen nach einem effizienten, schnellen, gesunden und nachhaltigen öffentlichen Nahverkehrssystem. Zuerst muss ein passendes Verkehrssystem gewählt werden. Dann sollen auftretende Probleme vermieden oder gelöst werden, wie z. B. die Formen des Liniennetzes, die Priorität, die Bequemlichkeit des Umstiegs, Gründung und Verbesserung der relevanten Gesetze und Verordnungen usw.

7 Fallstudie in Changzhou

Bis jetzt gibt es zwei BRT-Linien in Changzhou. Die erste Linie wurde 2007 geplant und gebaut und am 1.1.2008 in Betrieb gesetzt. Anfangs bestand die Frage für die Verkehrsplaner, wie ein in der Stadt Changzhou anpassendes schnelles und mittel-kapazitives Verkehrssystem gewählt werden soll. In dieser Arbeit wird der theoretische Ansatz von Vergleich und Auswahl der schnellen und mittleren kapazitiven Verkehrssysteme auf den konkreten Fall der Stadt Changzhou angewendet. Hierbei wird diese Theorie geprüft, ob sie machbar, zuverlässig und wirkungsvoll ist.

7.1 Stadtzustand und Verkehrsnachfrage von Changzhou

7.1.1 Stadtentwicklung und Wirtschaft

(A) Regionale Lage und sozioökonomischen Profile

Changzhou liegt im Zentrum des südlichen Teils der Provinz Jiangsu, in der Mitte der wichtigen Regionbahn „Shanghai bis Nanjing“. Changzhou ist eine Küstenstadt und gehört zu der ökologischen Entwicklungszone des Deltas des Flusses Yangtses. Die Stadt befindet sich 167 km östlich von Shanghai, 138 km westlich von Nanjing, ist in dem Verbindungspunkt der "T"-förmigen Kreuzung von wirtschaftlicher Entwicklungszone an der Küste und entlang des Flusses Yangtse. Die Lage ist äußerst vorteilhaft. Changzhou ist eine volle modernisierte und wirtschaftlich weiterentwickelte industrielle Schwellenstadt. Dort gibt es eine starke wirtschaftliche Basis auf Grund von vielen Unternehmen. Das industrielle Umstrukturierungstempo der Stadt ist schneller als in anderen Städten Chinas. Sie rangiert unter den Top 50 Städten mit einer starken Wirtschaft und kulturellen sozialen Angeboten. Außerdem ist Changzhou unter den Top 40 Städten mit günstigen Investitionsbedingungen.

Changzhou besteht aus zwei kreisfreien Städten „Jin Tan“ „Liyang“ und fünf Bezirken „Wujin“, „Xinbei“, „Tianning“, „Zhonglou“, „Qishuyan“. Auf einer Gesamtfläche von 4.375 km² lebten 3,55 Mio. (im Ballungsraum) Einwohner 2006. Das BIP hat 156 Mrd. CNY erreicht. (Anmerkung: Die wirtschaftlichen und sozialen Grunddaten in diesem Kapitel sind aus Internetseite der Volksregierung der Stadt Changzhou [139]). BIP pro Kopf überschreitet 5000 Dollar, ist um 26,1% gestiegen im Vergleich mit dem Vorjahr; die gesamten Einnahmen der Haushalts betragen 27,73 Milliarden CNY, das entsprach einem Anstieg von 25,8% gegenüber dem Vorjahr. Diese Statistiken zeigten, dass die sozioökonomische Entwicklung in Changzhou rasch ist und die Stadt über beachtlich steigende lokale Ressourcen verfügt. Mit der zunehmenden wirtschaftlichen Stärke ist Changzhou eine moderne industrielle Stadt mit mannigfaltiger Industrie, starkem Binnen- und Außenhandel, verbesserter Infrastruktur und einem mit der Industrie kooperierenden System geworden. Das Bruttosozialprodukt entsteht aus drei wichtigen Geschäftszweigen. Im Jahr 2006 war der Wert der primären Branche 5,95 Mrd.

CNY, das entspricht einer Zunahme von 5,1% im Vergleich zum letzten Jahr. Der Wert der sekundären Branche betrug 95,2 Mrd. CNY, ein Anstieg von 15,9%, davon war die industrielle Wertschöpfung von 780,727 Mrd. CNY und eine Zunahme von 24,8%. Die tertiäre Branche (Service-Zweig) hatte der Mehrwert von 54,85 Mrd. CNY, eine Zunahme von 15,4%. Das Verhältnis der drei Branchen betrug 3.8:61.0:35.2.

(B) Stellung der Stadt und ihre Besonderheit

Nach der geografischen Position und dem Wirtschaftsniveau hat Changzhou ihre Lage definiert als: eine der wichtigsten Zentrumsstädte in der ökologischen Entwicklungszone des Deltas des Yangtses und einer der Kernstädte des Ballungsraumes der Metropolen „Suzhou“, „Wuxi“ „Changzhou“. Seine Lage ist bedeutend, ihre Funktion der Konzentration und Beeinflussung der Umgebung wächst. sie zählt zu den Städten mit stärkstem Wirtschaftslevel innerhalb der Provinz Jiangsu. Sie ist eine der wichtigsten modernen Produktionsstätten in dem Delta des Yangtses. Die Produktionsbranche ist ein großer Anteil der gesamten Wirtschaftsstruktur und ist der Hauptteil der wirtschaftlichen Entwicklung in Changzhou. Ihr Anteil an BIP steigt ständig an, dieser beträgt über 50 % und ist 17% höher als der Landesdurchschnitt. Konkurrenzfähigen Unternehmensgruppen und Produkte sind hier entstanden. Die Produktionsbranche hat ihren Schwerpunkt von der Leicht- und Textilindustrie auf die Schwerindustrie übertragen und ist damit in eine neue Phase eingetreten. Changzhou ist eine bekannte Kultur- und Tourismusstadt, ihre Geschichte reicht 2.500 Jahre zurück und sie hat viele Sehenswürdigkeiten wie historische und kulturelle Viertel. Die Kultur und Ausbildungsbranche ist weit verbreitet. Das Grundausbildungsniveau liegt ganz vorne. Aus diesen Gründen wird die Position Changzhous in der neusten Stadtplanung als eine der wichtigen Zentrumsstädte der ökologischen Entwicklungszone des Deltas des Yangtses als ein wichtiges modernes Produktionszentrum und als bekannte Kultur- und Tourismusstadt.

(C) Sozioökonomische Entwicklungsziele

Strategie der wirtschaftlichen Entwicklung: Die Umsetzung einer offenen Wirtschaft, die Entwicklung der High-Tech-Industrielle, Verstädterung, Wissenschaft, Bildung und eine nachhaltige Entwicklung sind Ziele Changzhous, um sich zu einer der wichtigsten Zentrumsstädte in der ökologischen Entwicklungszone des Deltas des Yangtses zu entwickeln

7.1.2 Verkehrszustand

(A) Der Zustand der Straßen

Das Straßennetz als ein Gerüst der Stadt ist Voraussetzung für einen gut funktionierenden städtischen Personen- und Frachtverkehr. Um der wachsenden Verkehrsnachfrage und den Bedürfnissen der sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung gerecht zu werden, erhöht Changzhou seit 10 Jahren andauernd die Investitionen für ihre Straßeninfrastruktur. Chang-

zhou hat den Neubau, die Renovierung und die Erweiterung mehrerer Hauptstraßen umgesetzt, darunter eine Reihe von städtischen Straßen. Die Gesamtlänge der Straßen ist, in den letzten zehn Jahren, mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 12% gewachsen. Bis Ende 2006 wurden die Straßen insgesamt 3618 km lang, deren Fläche beträgt 4024 km² von einer Netzdichte bis zu 1.9 km/km², Die Fläche pro Einwohner beträgt durchschnittlich 11,46 m², die detaillierter in der Tabelle 7-1 [22]aufgeführt ist.

Tabelle 7-1 technische Index der Straßen in Changzhou

Stufe der Straße	Hauptstraße	Sekundär Hauptstraße	Nebenstraße	andere	insgesamt
Tempo [km/h]	40	30	20	—	—
Anzahl der Fahrstreifen	6~8	4	2	—	—
Breite [m]	36~60	20~30	12~20	—	—
Länge [km]	646	509	1113	1350	3618
Fläche [10 ⁴ m ²]	1609	783	1047	585	4024
Dichte [km/km ²]	0,35	0,27	0,6	0,72	1,94

Aus der Struktur des Straßennetzes ist zu erkennen, dass die Innenstadt ein Muster eines „Ring + Strahlen“ -förmigen Netzes und lokal ein „Raster“ -förmiges Netz hat.

(B) Die Verteilung des städtischen Verkehrs

Mit der raschen Erweiterung der Stadtgröße folgt die Verlagerung der Achse der Stadt von Ost-West nach Nord-Süd, entsprechend der Eigenschaft von Verkehrsflüssen. In Stadtzentren auf radialen Straßen wie „Changxin“, „Laodong“, „Yanling“, „Huaide“, „Changwu“ etc. sind eine große Zahl von Menschen und Autos, diese Straßen sind ganztägig hoch belastet. Während der Umgestaltung der Altstadt und unter der Entstehung des Neubaugebiets, verstärkte sich die Erschließungsintensität der Geschäfts- und der Bürogebiete in den Zentren. Der tertiäre Sektor konzentriert sich weiterhin auf die Zentren. Die Anzahl der Arbeitsplätze ist hier ebenfalls weiter gestiegen. Radikale Verkehrsflüsse in die Stadtzentren sind besonders intensiviert. Außerdem haben die Umstellungen der administrativen Bereiche und die Umsetzung der Integration des ÖPNV in Teilgebiete rasch gestiegene Personenströme und Fahrgastströme auf den Nord-Süd-Stamm durch die ganze Stadt verursacht, wodurch sich die Belastung des Straßenverkehrs erhöht.

Der neue Stadtteil im Umland verlagert einen Teil der altstädtischen Bevölkerung, der ein rasches Verkehrswachstum zwischen Umland und Innenstadt verursacht. Wegen der schrittweisen Verlagerung und Konzentration der neuen Geschäfts- und Industrieunternehmen in den peripheren High-Tech-Zonen und Industriezonen vergrößert auch die tägliche

Reisedistanz der Einwohner.

Die Verteilung der Fahrten 2006 der Bevölkerung in Changzhou wird in Abbildung 7-1[22] gezeigt.

(C) Der Entwicklungsstand des öffentlichen Nahverkehrs

Bis 2006 hat Changzhou 105 Buslinien einschließlich der 51 Buslinien innerhalb der Stadt und 54 Linien zwischen Stadt und Land eröffnet. Die Gesamtlänge der Linien beträgt 1.970,2 km, davon sind die Stadtlinien 615,6 km, Stadt-Land-Linien 1.354,6 km lang. Der öffentliche Nahverkehr hat die Grundversorgung der Reisenden wesentlich abgedeckt.

(1) Liniennetzdichte

Die Stadt Changzhou hatte 2006 insgesamt 105 Buslinien (einschließlich der landwirtschaftlichen und industriellen Linien). Entsprechend den Anforderungen der „übergeordnete Stadtplan von Changzhou (2004-2020)“ sollte die Dichte des öffentlichen Verkehrsnetzes der Innenstadt nicht weniger als 3 bis 4 km/km² und im Randbereichen nicht weniger als 2 -2,5 km/km² erreichen. Die öffentlichen Verkehrsnetzichten der Teilverkehrszellen wurden gemäß einer Analyse in Tabelle 7-2 gezeigt.

Tabelle 7-2 ÖV-Netzichte der Teilverkehrszellen 2006 in Changzhou

Teilverkehrszelle	Innenstadt	Hutang	Xinbei	Ost	West
ÖV-Netzichte [km/km ²]	2,8	1,3	1,7	1,1	1,3
Empfehlungswert[km/km ²]	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0

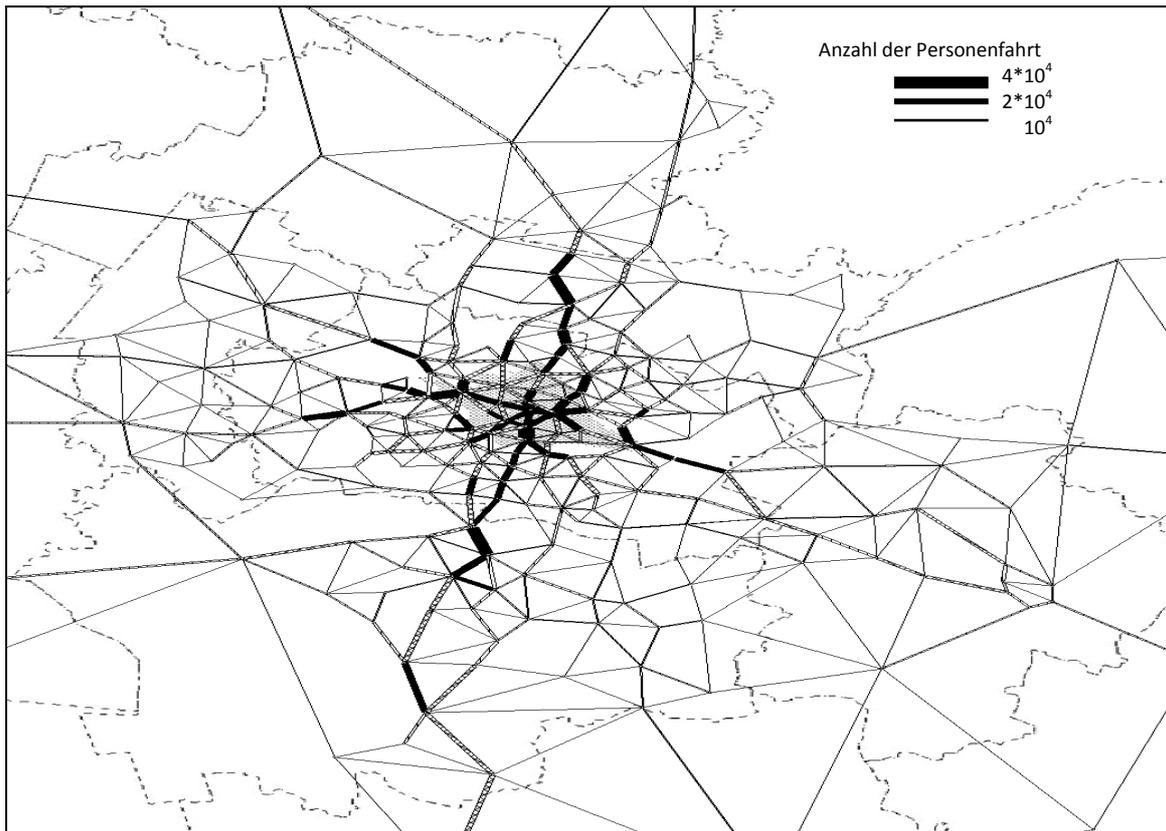


Abbildung 7-1 Erwartungslinie der Fahrten 2006 aller Art der Bevölkerung

(2) Überlagerungskoeffizient der Linien

Der Überlagerungskoeffizient der Buslinie ist i.d.R. in Städten mit gut ausgebautem öffentlichem Nahverkehrsnetz zwischen 1,25 und 2,5. In Changzhou ist er 2,6, in der Innenstadt ca.3,1, davon hat er auf der Straße „Xinfeng“ 21 erreicht und somit den höchste Wert. Auf den Straßen „Guanhedong“, „Heping“, „Yanlingxi“ ist der Überlagerungskoeffizient außergewöhnlich hoch, bei allen ist er höher als 10. Die konkrete Situation sieht man in Abbildung 7-2 [22].

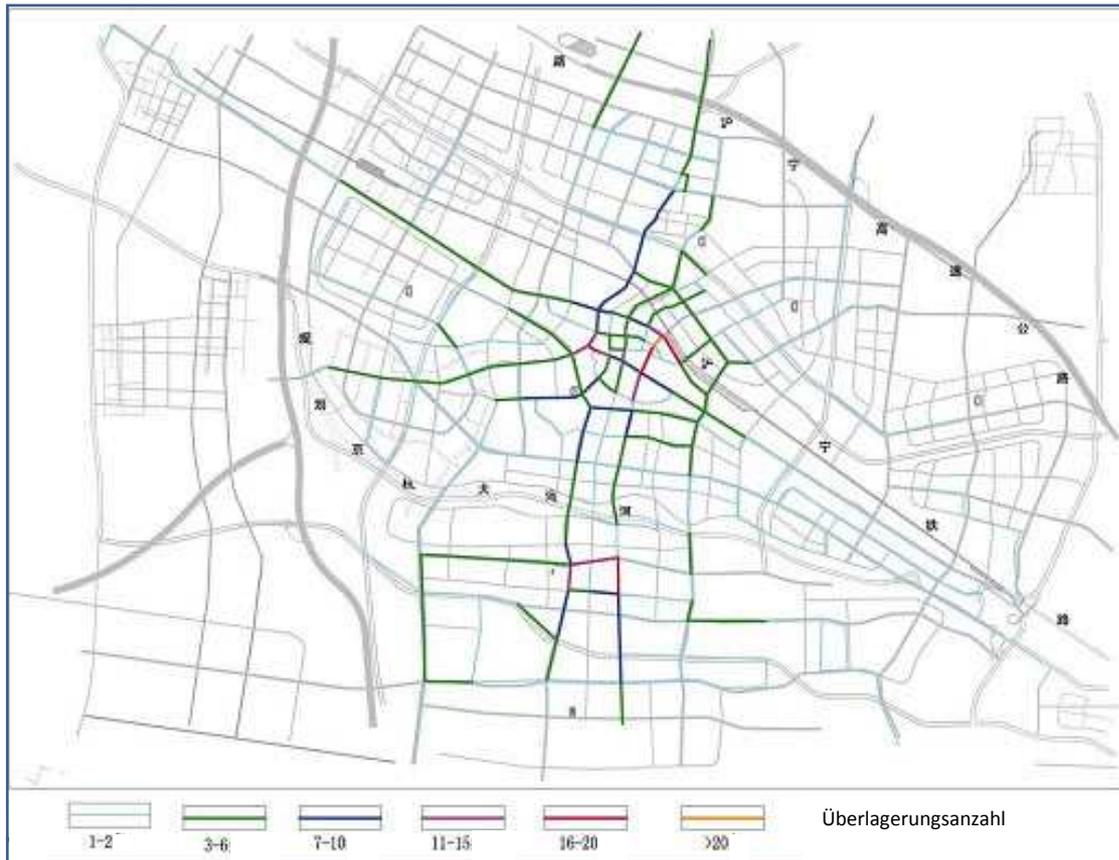


Abbildung 7-2 Karte der Überlagerungen der Buslinien der Kernstadt 2006 von Changzhou

(3) Erschließungsgrad durch Buslinien in der Innenstadt

Bei einer Fußwegentfernung von 300m bis zur nächsten Bushaltestelle können bereits 95% der Kernstadt als erschlossen beachtet werden. Die Existenz von einigen „Flecken“ liegt in erster Linie an der Beschränkung der Straße gegenüber dem Bus, wie die Straßen in den Bereichen „Doheyan“, „Diaoqiao“ der Kernstadt. Eine Übersicht ist in Abbildung 7-3 [22] dargestellt.

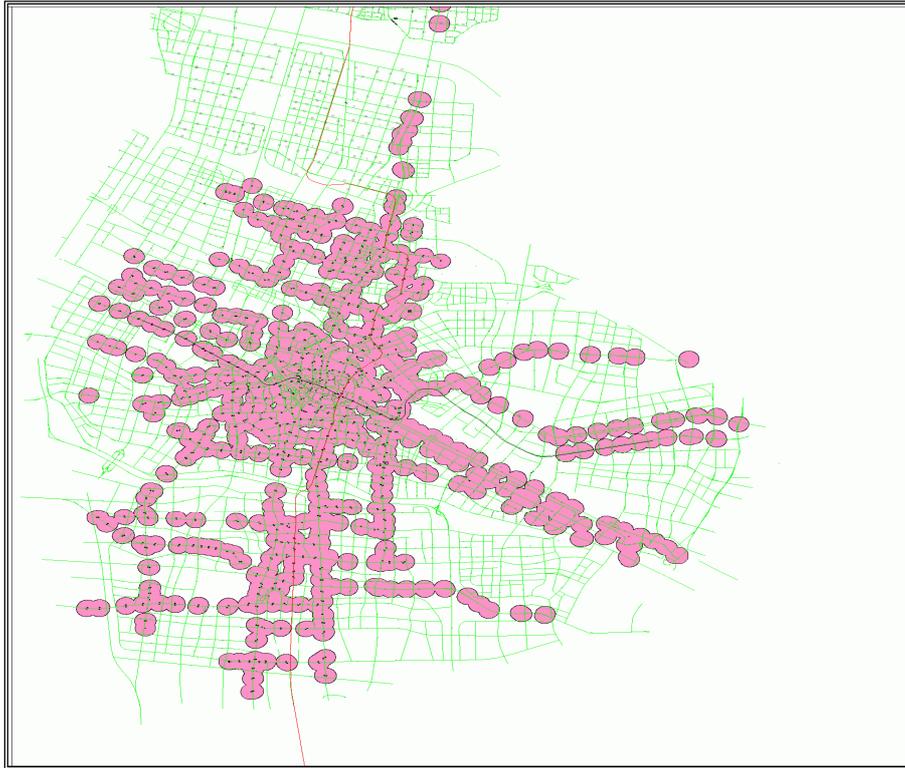


Abbildung 7-3 Schema der Einzugsbereiche in der Kernstadt bei 300m Fußwegentfernung zu den nächsten Bushaltstellen

(4) Die wichtigsten Bus-Korridore und Fahrstromquellen

Aus der Verteilung der Ein- und Ausstiegspunkten des Fahrgaststroms ist zu sehen, dass sich die Fahrgastströme in Changzhou besonders auf die Kernstadt konzentrieren. Die Fahrgastströme in anderen Gebieten sind relativ klein. Die größte Sammlungs- und Verteilungspunkte der Fahrgäste in der Kernstadt sind Gebiete von Kulturzentrum und Hauptbahnhof. Die tägliche Fahrgastmenge ist hier 10,3% des gesamten Fahrstroms nach einer Erhebung, die in Abbildung 7-4 [22] dargestellt ist.

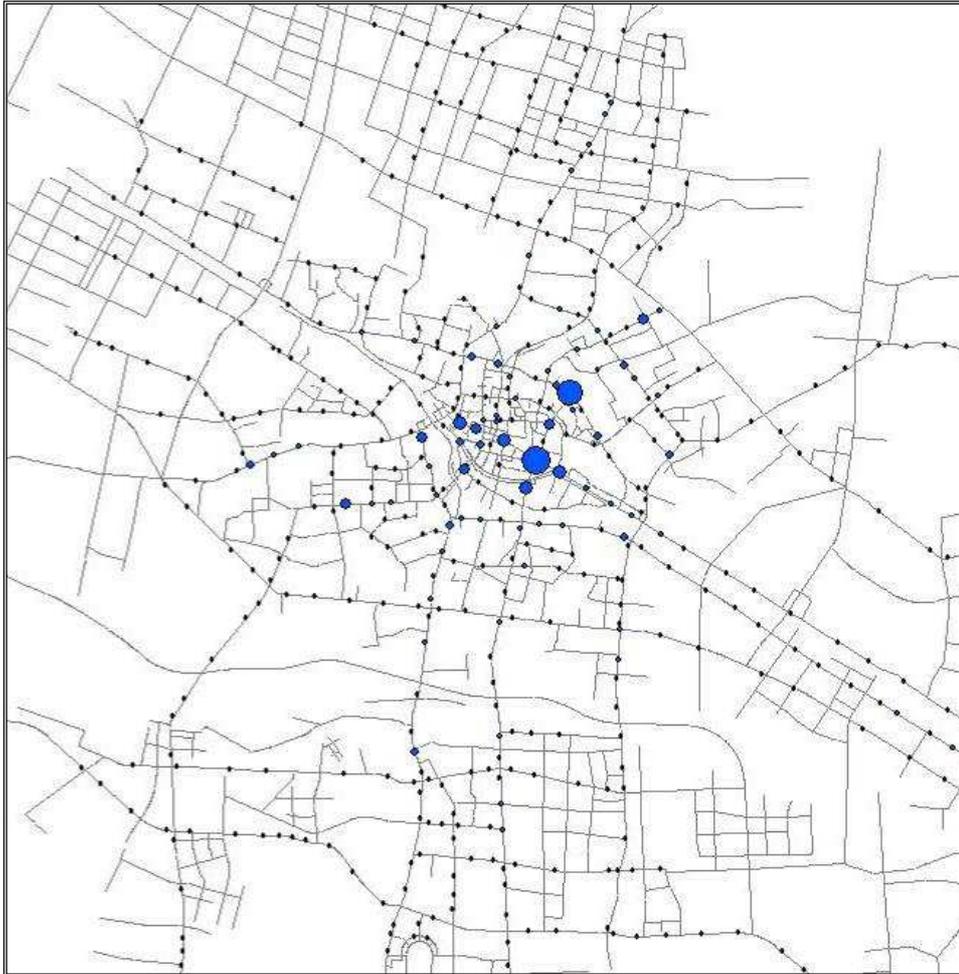


Abbildung 7-4 Sammlungs- und Verteilungspunkte der Fahrgäste innerhalb der Stadt

7.1.3 Fahrverhalten der Bevölkerung

(A) Für typische mittelgroße Stadt

Laut der Erhebungsergebnisse 2006 ist zu ersehen, dass das Fahrverhalten der Bewohner in Changzhou typisch für eine mittelgroße Stadt ist:

- (1) Der Zeitaufwand pro Fahrt oder Weg jeder Art ist durchschnittlich etwa 20 Minuten, wie in Tabelle 7-3 angegeben. Die Fahrzeit beträgt nicht mehr als 37 min, passend der Größe der Mittelstädte.

Tabelle 7-3 Zeitaufwand pro Fahrt oder Weg jeder Art 2006 in Changzhou

Verkehrsart	zu Fuß	Fahrrad	Bus	Taxi
Aufwand [min]	14,66	19,76	36,68	28,82
Verkehrsart	Motorrad	Dienstbus	Auto	andere
Aufwand [min]	19,06	33,28	23,54	19,36
Mittelwert [min]	20,83			

- (2) Der Anteil des Personenverkehrs zu Fuß, mit Fahrrad und Motorrad/Mofa ist relativ

hoch. Das Verhältnis mit Bus ist niedrig wie in Abbildung 7-5(Grunddaten sind aus [23]) gezeigt, das darauf hinweist, dass die Wegstrecke kurz und Größe der Stadt relativ klein ist.

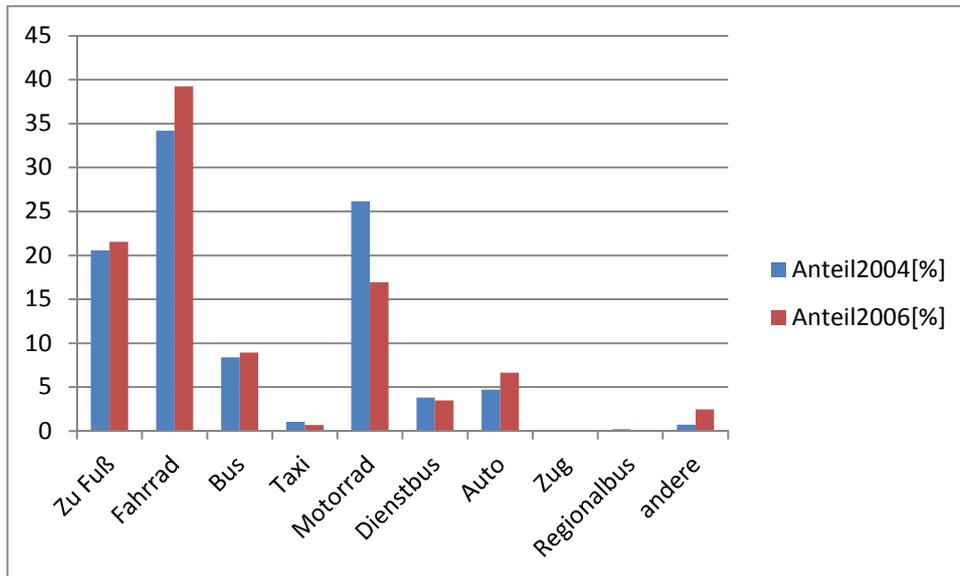


Abbildung 7-5 Das Verhältnis des Modal Split 2004 und 2006

(3) Die Bevölkerung in Changzhou hat eine Fahrten- oder Wegefrequenz von 2,58 pro Tag. Die Abfahrtszeitenverteilung am Tag zeigt offensichtlich zwei Spitzen, morgens und abends. Es gibt keine Nachmittagsspitze, das bezieht sich auf die Lebens- und Arbeitsgewohnheiten. Obgleich die Entfernung von der Arbeit nach Hause kurz ist, haben die Einwohner nicht die Gewohnheit, in der Mittagspause nach Hause zu gehen.

Basierend auf dieser Analyse können wir sehen, dass der aktuelle Modal Split und das Verkehrsverhalten einer mittelgroßen Stadt entsprechen. Aber die Ausdehnung und die Weiterentwicklung der Stadt Changzhou ändert dieses alte Verkehrsverhalten. Dabei nimmt der Bedarf von langen Reisen schrittweise zu.

(B) Wesentliche „Nord-Süd“-bandförmige Verkehrsbeziehungen

(1) allmählich manifestiert sich das Merkmal der Mobilität in Changzhou wesentlich als „Nord-Süd“-bandförmige Form. Aus der Erhebung ist ersichtlich, dass sich der Kfz-Verkehr auf Straßen der Nord-Süd-Richtung, zur Kernstadt hin, und auf peripheren Straßen konzentriert. Bei der Erhebung des Kfz-Verkehrs an einigen wichtigen Schnittstellen ergab sich für die Nord-Süd-Verbindung ein Anteil von etwa 65% des Verkehrsaufkommens.

(2) Mit dem weiteren Ausbau der Stadt in Nord-Süd-Richtung wird eine vergrößerte

Fahrdistanz in der Nord-Süd-Strecke zurückgelegt. Das von Norden nach Süden charakteristische Bandmuster wird weiter gestärkt.

Trotz des von mittelgroßen Städten geprägten Verkehrs- und Fahrverhaltens ist die Entwicklung der Stadt Changzhou von zunehmenden Fahrten über lange Strecken geprägt. Das schon vorgezeigte „Nord-Süd“ charakteristische Bandenmuster ist im Einklang mit der Stadtplanung zur Entwicklung der Stadt zu Nord-Süd Richtung. Dementsprechend sollen sich unbedingt Nord-Süd-Verkehrsverbindungen des öffentlichen Verkehrs bilden, um als Unterstützung der künftigen Entwicklungsrichtung der Stadt zu fungieren.

7.2 Die Notwendigkeit und Durchführbarkeit eines schnellen und mittelkapazitiven öffentlichen Verkehrssystems in Changzhou

7.2.1 Die Notwendigkeit

(A) Um eine wichtige zentrale Stadt im Delta des Yangtses zu werden, soll die Stadt Changzhou ihre Qualität erhöhen.

Changzhou liegt 167 km östlich von Shanghai, 138 km westlich von Nanjing und liegt in zwei Entwicklungszonen im Delta des Yangtses und an der Küste mit einer starken Wirtschaft. Ihre Lage ist daher besonders günstig. Mit der fortlaufenden Entwicklung der gesamten Deltaregion des Yangtses wird Changzhou mit zunehmendem Druck an den Urbanisierungsprozess gebunden.

Mit der rasanten wirtschaftlichen Entwicklung Chinas werden die Städte urbanisiert und der interregionale Wettbewerb intensiviert. Um sich dieser Ära des Wettbewerbs anzupassen, ist es notwendig, dass die Städte die Bedingungen für die Entwicklung verbessern und die Umwelt zu optimieren. Obwohl sich Changzhou in der wirtschaftsgünstigen Deltaregion des Yangtses befindet, ist sie nicht so wettbewerbsfähig wie die anderen Städte Shanghai, Suzhou, Ningbo, Nanjing, Hangzhou in derselben Region. Der Bau des BRT-Systems wird Changzhou einen Schub geben im Kontext der erträglichen Finanzkosten zur erheblichen Verbesserung der städtischen Infrastruktur und des Servicelevels und der damit erhöhten der Qualität der Stadt und ihres Images unter den zentralen Städten der Deltaregion des Yangtses.

Changzhou befindet sich zwischen Nanjing und Shanghai und gehört zu den Metropoli- ten „Suzhou– Wuxi- Changzhou“. Verglichen mit den anderen zwei Städten ist die ökologische Strahlung von Shanghai zu Changzhou relativ schwach. Der Entwicklungsauftrieb Changzhous geht v. a. von der Stadt Shanghai und der durch regionale Arbeitsteilung entstehenden Entwicklungsmöglichkeiten aus. Deshalb spielt die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Stadt Changzhou eine entscheidende Rolle bei der Wirt-

schaftsentwicklung und der Verwandlung in eine Großstadt. Ein für die verkehrlichen und städtischen Merkmale der Stadt Changzhou geeignetes schnelles öffentliches Verkehrssystem kann das Stadtbild effektiv verbessern, die urbane Qualität anheben und Wichtigkeit von Changzhou als zentrale Stadt der Deltaregion des Yangtses fördern.

(B) Im Straßenverlauf vorhandene Engpässe sind für die intensive Nutzung von Straßen-Ressourcen entscheidend.

Changzhou verfügte über ein dichtes Wassernetz. In alten Zeiten wurde die Stadt entlang des großen Kanals „Jinghang“ gebaut. Das Netz von Wasserstraßen war die wichtigste Verkehrsart. Der Kanal und das dichte Wassernetz schenkte ihr eine günstige Verkehrslage. Aber mit der Urbanisierung und Modernisierung Changzhous und der Vergrößerung des Ausmaßes der Stadt und der Ausweitung der Entwicklungsrichtung hat sich ein grundlegender Wandel im Straßenverkehr seit den 80er Jahren letzten Jahrhunderts vollzogen. Der Straßenverkehr wird nun durch die überwältigende Stellung des Personenverkehrs beherrscht. Der Kanal und das dichte Wassernetz sind aber Hindernisse des Straßenverkehrs.

Changzhou ist eine Stadt, die von der Entwicklung der Deltaregion des Yangtses begleitet ist. Ihre Entwicklung profitiert von den umliegenden Städten besonders von der Kommunikation von Shanghai. Die Regionalzuglinie „Shanghai bis Nanjing“ hat eine große Rolle gespielt. Diese verläuft durch die Innenstadt, stört nun aber den Straßenverkehr Richtung Nord-Süd.

Mit der Entwicklung der städtischen Wirtschaft und der Motorisierung widerspricht die Nachfrage von Kraftfahrzeuge den Angeboten der Straße. Diese Konflikte spielen in erster Linie in Engpässe der Schnittpunkte mit dem Fluss oder der Überquerungen der Bahnlinien eine Rolle. Natürlich ist die grundsätzliche Lösung des Mangels der Straßenressource der Bau einer U- oder S-Bahn. Die ist aber wegen vielen Aspekten wie die wirtschaftliche Stärke oder Verkehrsnachfrage des gesamten Korridors außer Betracht gelassen. Dann sind BRT und Straßenbahn ins Spiel gekommen. Die Beiden sind die praktischen Lösungen. Sie können vorliegende Straßen durch ihre hohe Effizienz und Kapazität ausnutzen. Durch Einführung eines Korridors mit hoher Durchfahrbarkeit können die Straßenressourcen an Engpässen effektiv genutzt werden. Aus dieser Perspektive sind BRT oder Straßenbahn gute Alternativen.

(C) Um sich zu einer großen Stadt zu entwickeln bedarf es eines hoch qualitativen öffentlichen Verkehrssystems

Es wurde bereits im Konzept der Stadtplanung erwähnt, dass Changzhou in Zukunft eine große Stadt mit eigenen Charakteren wird. Als Großstadt erscheint es selbstverständlich, einen entsprechenden verkehrlichen Bedarf zu befriedigen. Die Verkehrsstruktur und das -System konnten 2006 natürlich den Bedürfnissen von der Entwicklung der Großstadt nicht gerecht sein. Mit der wirtschaftlichen Entwicklung und Anstieg des Wohlstands ist der Motorisierte Individualverkehr rasch gewachsen. Damit trifft die großen Städte überwiegend das Problem der Verkehrsbelastung.

Die Erfahrungen des städtischen Nahverkehrs haben gezeigt, dass es wichtig ist, ein öffentliches Verkehrssystem einzurichten, welches schnell, effizient, stabil und zeitsparend ist sowie als Rückgrat des gesamten öffentlichen Verkehrs wirkt und dem Bedarf des Personenverkehrs der Stadt gerecht wird. Das ist eine wirksame Maßnahme zur Lösung des hohen Personenaufkommens in großen Städten und zur Erhöhung des Verkehrsflusses der Stadt. Die schnellen und großkapazitiven Verkehrssysteme (U-, S-Bahn) haben zwar den effektivste Ansatz, aber sie benötigen riesige Investition und lange Bauzeiten, deswegen können diese in kurzer Zeit dem verkehrlichen Problem nicht begegnen. Wenn Changzhou ihren verkehrlichen Zustand schnell deutlich verbessern will, ist der effektivste Weg die Einrichtung des BRT- oder Straßenbahnnetzes, damit die bestehenden Straßenressourcen umverteilt werden. Die Leistung der durchfahrenden Personen statt Fahrzeugen im Korridor wird dadurch erhöht. Nicht zuletzt soll das Bedienungsniveau des BRT oder Straßenbahnsystems (wie Erhöhung der Kapazität, der Reisegeschwindigkeit und Bequemlichkeit etc.) mit Hilfe von Technik und Management erhöht werden. Ein Liniennetz soll gebildet werden sodass die Fahrten auf den wesentlichen Richtungen innerhalb der Stadt abgedeckt werden. Nur so kann das schnelle und mittelkapazitive Verkehrssystem als Rückgrat wahrgenommen werden und den öffentlichen Stadtverkehr abwickeln.

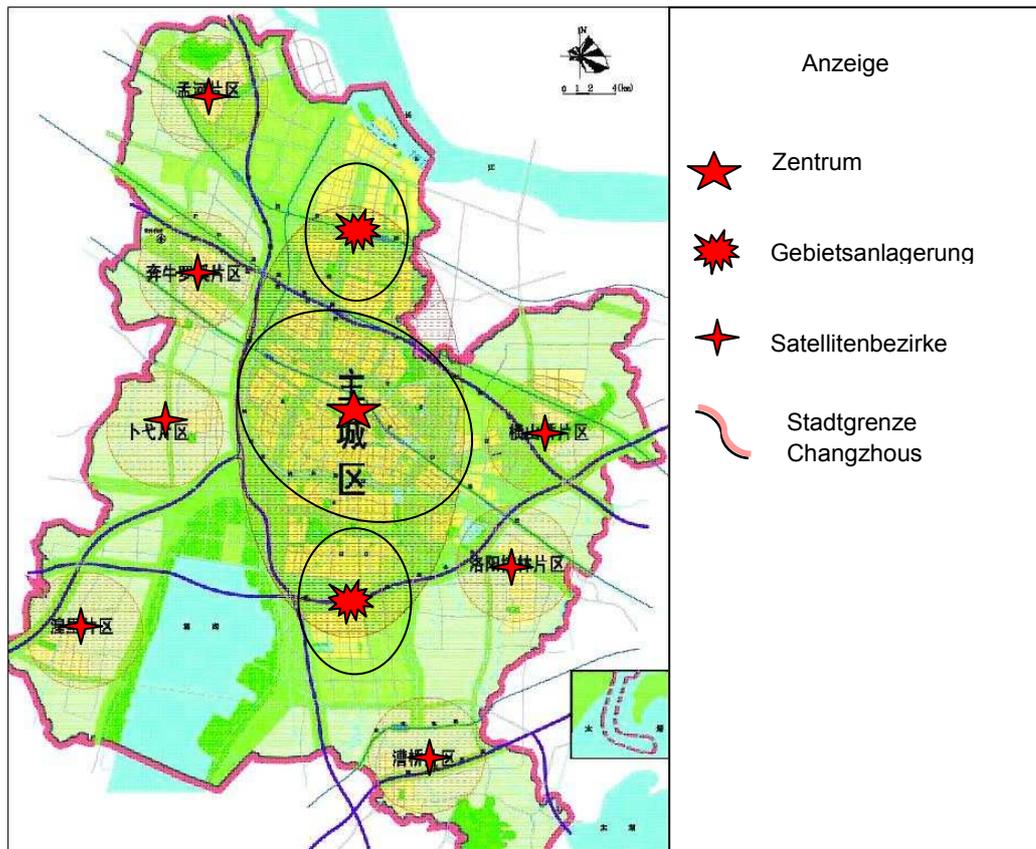


Abbildung 7-6 der Gefüge Changzhous

Es gab 2,2 Mio. Einwohner 2006 im Stadtgebiet von Changzhou. Der übergeordneten Stadtplanung nach soll die Zahl bis 2020 auf 3 Mio. Einwohner ansteigen, davon leben 1,80 Mio. Menschen in dicht bebauten Stadtbezirken. Die Stadt vergrößert sich und ihr Gefüge wandelt sich von der traditionellen Ost-West-Ausrichtung des Stadtkerns hin zu einem bandförmigen Stadtkern in Nord-Süd-Ausrichtung, der durch Gebietsanlagerungen im Norden und Süden des Zentrums sowie durch sieben Satellitenbezirke ergänzt wird. (siehe Abbildung 7-6 [22]) Dem Stadtverkehr stehen offensichtlich schwerwiegende Veränderungen bevor.

Vor 2006 verfügte Changzhou nur über herkömmliche Buslinie, dieser Verkehrsart konnte dem Bedarf der städtischen Entwicklung nicht gerecht werden. Der Sprung der Entwicklung des Stadtverkehrs ruft die Einführung der schnellen, mittel oder groß kapazitiven Systeme. Die schnellen, mittel oder groß kapazitiven Systeme können als Rückgrat das gesamten ÖV-Systems wirken und mannigfaltige ÖV-Wahl bieten, die ÖV-Netz verbessern und die Straßenressource effizient nutzen. Sie sind daher der einzige Weg der Entwicklung des städtischen Nahverkehrs in Zukunft in Changzhou.

(D) Für Realisierung des Ziels der Stadtplanung müssen ein Gerüst des öffentlichen Verkehrsmittels konstruiert werden.

Changzhou setzt ihre Entwicklung in einem strategischen Überlagerungszeitfenster von traditioneller, streifenweiser Ost-West-Struktur auf der breiteren streifweisen Nord-Süd-Struktur. Ihre urbane Gestalt, Struktur und räumliche Anordnung ändern sich allmählich, Stadtgebiet Changzhou besteht aus in Zukunft Kernstadt (ein Körper) und zwei Flügelgebiete in nördliche und südliche Seite der Kernstadt und acht Außenbezirke. Diese Form fordert verstärkte Verbindung zwischen den verschiedenen Gebieten und das Intensivieren der Kernstadt und ihrer Ausstrahlungswirkung. Das ist die notwendige Wahl zur Ausdehnung der Stadtraum und Vergrößerung des städtischen Ausmaßes in Changzhou. BRT oder Straßenbahn, was die Straßenressource intensiv ausnutzt, hat absolut Vorteil hierbei im Vergleich zu konventionellem Nahverkehrssystem.

Das Verkehrssystem muss entwickelt werden, um sich der Strukturbildung der Stadt Changzhou anzupassen. Das ÖPNV-System sollte sich zuerst in der Stadt entwickeln. Die Verbindung zwischen den Teilgebieten und Verstärkung der Kernstadt, besonders die Nachfrage auf der Nord-Süd-Richtung kann nicht durch herkömmliches Bussystem erfüllt werden. Ein öffentliches Schnellverkehrssystem ist ein unverzichtbarer Verkehrsträger für die künftige Entwicklung der Stadt Changzhou, um die Verkehrsbedürfnisse auf Mittel- und Langstrecken zu befriedigen. Die städtebauliche Erfahrung hat gezeigt, dass der frühe Bau eines öffentlichen Schnellverkehrssystems, als Rückgrat des öffentlichen Verkehrs, zur schnelleren Realisierung der gesamten Stadtplanung und Koordination zwischen Landnutzung und Stadtverkehr beiträgt [140].

Der Aufbau eines rationell gestalteten und die räumliche Strategie der übergeordneten Stadtplanung einhaltenden öffentlichen Schnellverkehrssystems hilft der Beseitigung und dem Vermeiden von Defekten im städtischen Transport, in der räumlichen Struktur und Landnutzung sowie in anderen Bereichen. Damit die Stadt ihre Struktur umfassend aktualisieren kann. Die schnelle ÖV-Linie, die das Zentrum und den Außenbezirk miteinander verknüpft, kann die Reisezeit effektiv verkürzen und dazu beitragen, die Bevölkerungsdichte und den Verkehrsdruck im zentralen Bereich zu reduzieren und die räumliche Struktur der Stadt zu verbessern. Die Linie hilft auch, die verschiedenen Funktionen des zentralen Bereichs zu konzentrieren und diese gleichzeitig für entferntere Stadtteile zugänglich zu machen sowie die Entwicklung des zentralen Bereichs und der peripheren Gruppen ausgewogener und vernünftiger voranzutreiben. Die schnell ÖV-Linie innerhalb der Kernstadt kann die Beförderungskapazität von Personen erheblich erhöhen und dazu beitragen, die Funktion des Zentrums zu verbessern.

Daher kann der Bau des Schnellverkehrs nicht nur die strukturelle Mängel des städti-

schen Verkehrs kompensieren, sondern auch die Verbesserung der inneren Struktur der stadträumlichen Gestaltung, Funktion, Bedürfnisse, Industrie und andere Aspekte fördern. Der Ablauf der Verkehrskorridore können die städtischen Funktionen und Landausnutzung einleiten, damit die Entwicklungsrichtung und die Stadtplanung vorangetrieben werden kann.

(E) Verbesserung der städtischen Verkehrsstruktur und Unterstützung der Strategie ÖV-Bevorzugung

Die wirtschaftliche Entwicklung in Changzhou und die Verbesserung des Lebensstandards sind von Steigung des Anteils der motorisierten Fahrten begleitet. Unter Bedingungen des begrenzten Landes innerhalb des Stadtzentrums hat der Straßenverkehr stark zugenommen und es sind mehr überlastete Strecken erschienen. In dieser Situation war die gesamte Verkehrsstruktur ungeeignet. Das Fahrrad ist daher ein wichtiges Verkehrsmittel im städtischen Personenverkehr. Seine Fahrradströme waren übermäßig konzentriert in Stoßzeiten, sodass oft viele Fahrstreifen der motorisierten Verkehre befahren werden und folglich die Geschwindigkeit niedrig war. Motorrad und Mofa als individuelle Verkehrsmittel konnten die Bedürfnisse der Bewohner befriedigen, aber sie hatten negative Auswirkungen auf den Straßenverkehr und Umwelt. Die öffentliche motorisierte Reise hat einen geringen Anteil an der gesamten Reise. Das Mobilitätsverhältnis muss dringend verändert werden

Die Reise mit dem ÖV in Changzhou hat einen zu geringen Anteil. Die Gründe dafür sind, dass das Bedienungsgebiet des ÖV nicht ausreicht und das Serviceniveau sehr niedrig ist. Zudem ist die durchschnittliche Wegelänge im „Ist-Zustand“ relativ kurz (nur ca. 3 km). Diese Entfernung entspricht dem Geltungsbereich von Fußgängern und Radfahrern.

In gewisser Weise kann die Knappheit der Straßenressourcen durch effektive Ausnutzung verringert werden. BRT- oder Straßenbahnsystem ist dem MIV, NMIV und konventionellen ÖV in Bezug auf Beförderungskapazität, Geschwindigkeit und Betriebsweise überlegen. Die Beförderungskapazität ist von 10.000 bis 15.000 Pers./h/Richtung, das Beförderungstempo beträgt 20 bis 30 km/h. Der Bau des BRT oder Straßenbahn ist substantiell für die Umstellung der Straßenressource und auch für eine vernünftige Umverteilung der Ressourcen Straße.

Durch den Bau des schnellen ÖV werden die Straßenressourcen intensiv genutzt, damit die Kapazität der Personen erheblich erhöht wird. Die wirksame Umsetzung der ÖV-

bevorzugten Politik kann die konventionellen ÖV-Linien in einem Verkehrskorridor integrieren und die Wettbewerbsfähigkeit des gesamten ÖV erhöhen, wodurch sich die Verhältnisse der Kfz-Fahrten reduzieren, die Umwelt verbessert und die Verkehrsstruktur optimiert wird.

7.2.2 Machbarkeit

Der Bau des BRT- oder Straßenbahnsystem muss folgende bestimmte Bedingungen zur effizienten Entwicklung erfüllen.

(A) Wirtschaftliche Bedingungen

Die Gesamtbevölkerung Changzhous war 2006 von 3,55 Millionen (im Ballungsraum), das BIP war von 156 Mrd. CNY, BIP pro Kopf überschritt 5.000 USD, ein Zuwachs war von 26,1 % gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen. Die Einnahmen der Haushalte waren von 27,73 Mrd. CNY gegenüber dem Vorjahr eine Steigerung von 25,8 % gestiegen. Diese Statistiken zeigten, dass Changzhou rasche sozioökonomische Entwicklungen hatte und die lokalen finanziellen Ressourcen in gutem Zustand waren. Aus ihre wirtschaftlichen Stärke ist zu sehen, Changzhou fähig ist, ein zumutbares, effektives schnelles öffentliches Verkehrssystem zu bauen. Die Mindeststandards für die Genehmigung des Baus der U-Bahn in einer Stadt von Staatsrats sind: eine Bevölkerung mit mehr als 3 Mio. Einwohner; die BIP mehr als 100 Mrd. CNY und die Einnahme der Stadthaushalte müssen höher als 10 Mrd. CNY. Changzhou hatte diesen Anforderungen deutlich erfüllt.

(B) Straßenzustand

Die Form der Struktur des Straßennetzes in Changzhou 2006 war überwiegend Ring-Strahlförmig und lokal rasterförmig, was für den Bau eines schnellen ÖV geeignet ist und in Einklang mit der Fahrtrichtung der Einwohnern steht. Die Breite der Hauptstraße beträgt 36 – 60 m und die Anzahl der Fahrstreifen beträgt 6 bis 8, sodass die Eröffnung eines schnellen und mittel-kapazitiven ÖV-Systems gewährleistet werden kann.

Die Breite der geplanten verkehrlichen Hauptstraße in Changzhou, deren Funktion hauptsächlich die Erfüllung des Transports ist, soll nicht weniger als 40m breit sein. Die Designgeschwindigkeit beträgt 60 km/h. Die geplante untergeordnete Hauptstraße soll dem Personenverkehr gerecht werden. Ihre Breite soll nicht weniger als 40 m sein. Die Entwurfsgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Die beiden geplanten Straßentypen eignen sich auch für den Bau eines schnellen ÖV-Systems.

Darüber hinaus befindet sich die Bebauung der Peripherie Changzhous gerade in der An-

fangsphase. Das Land hat noch nicht eine hohe Intensität der Entwicklung erreicht. Die Straßenverhältnisse sind relativ gut. Die entsprechenden Straßenressourcen sind einfach an das schnelle ÖV-System zu vergeben.

(C) Die Verkehrsnachfrage

Die eröffnete BRT- und Straßenbahnsysteme in chinesischen Städten lassen die Kapazität i.a. zwischen 8.000-15.000 Pers./h/Richtung legen. Um den rationellen Verlauf des gesamten Verkehrssystems zu gewährleisten und die Ressource nicht aufzuwenden, soll die Kapazität nicht weniger als 5000 Pers./h/Richtung sein. Mit der unteren und der oberen Grenze der Anforderungen passt die Landentwicklungsintensität Changzhous in der Planungsperiode (2020) der Eröffnung des BRT oder der Straßenbahn.

Ende 2006 hatte die Stadt eine Gesamtbevölkerung von 3,55 Mio. Menschen. Dies entspricht einem Anstieg von 0,8 % gegenüber dem Vorjahr. Davon lebten im Stadtgebiet 2,21 Mio. Menschen, ein Anstieg von 1,7 % gegenüber dem Vorjahr. Zusätzlich leben vorübergehend 1,30 Mio. Wanderarbeiter in der Stadt, davon lebten etwa 0,97 Mio. Wanderarbeiter mit einer Unterkunft für mehr als einen Monat. Das Stadtzentrum, das durch ein schnelles ÖV-System hauptsächlich bedient wird, hatte eine Bevölkerung von 2 Mio. Einwohnern. Das heißt, die ÖV-Nachfrage wird von 2 Mio. Einwohnern generiert und befindet sich im Rahmen der Beförderungsbereiche von schnellem ÖV. Darüber hinaus hat sich die Stadtarchitektur in Changzhou Schritt für Schritt ausgedehnt, ist aber für das Ausmaß der Konstruktion nicht so groß und die Entwicklungsintensität ist nicht so hoch, damit ist das erzeugte Verkehrsaufkommen im Planungszeitraum sehr gut geeignet für BRT oder Straßenbahnen.

(D) Bedingungen der politische Strategie

Zur Milderung des in mittleren und großen Städten entstehenden Verkehrsstaues, zur Einsparung der sozialen Ressourcen und zum Bau einer umweltfreundlichen Gesellschaft hat das Ministerium für Bau 2004 „Empfehlung für Bevorzugung der Entwicklung des öffentlichen Stadtverkehrs“(2004 Nr.38) freigegeben. Die „Empfehlung“ drückt explizit aus, dass die bevorzugte Entwicklung des ÖVs einer verbesserten Versorgung der Allgemeinheit dient und stellt zugleich Anforderungen und Ziele auf, dass das gesamte öffentliche Verkehrssystem in Megastädten aus schnellem ÖV (als Rückgrat), regelmäßigen Bussystemen (Hauptteil) und Taxis und anderen öffentlichen Verkehrsmitteln (als Ergänzung) bestehen soll; dass Fahrten zwischen zwei beliebigen Punkten im Stadtgebiet nicht mehr als 50 min. dauern sollen und der Anteil des ÖV an der gesamten Mobilität mindestens 30 % erreichen soll. Im September 2005 hat der Staatsrat die vom Ministerium ausgegebene „Empfehlung“ betont und die Strategie „regelmäßige Bussystem aktiv, städtischen Schienenverkehr ordnungsgemäß und BRT

moderat zu entwickeln“ dazu ergänzt. Aus der Perspektive der staatlichen Politik ist ersichtlich, dass die staatlichen Behörden die Stadt wie Changzhou auffordern und unterstützen, so schnell wie möglich ein schnelles und mittel- oder großkapazitives öffentliches Verkehrssystem zu bilden, um ein menschengerechtes Stadtverkehrssystem mit der Priorität aufzubauen

Changzhou zog mal in Erwägung, gleich eine U-Bahn zu bauen oder ein schnelles und mittelkapazitives Verkehrssystem in kurzer Zeit zu bauen. Der Bau einer U-Bahn ist langfristig gesehen notwendig. Aber Bau einer U-Bahn dauert lange, kostet viel, wirkt langsam und kann die gegenwärtigen Verkehrsprobleme nicht lösen. Letztlich ist die Entscheidungsfindung von der Stadtverwaltung in Changzhou ins Leben gerufen worden, in kurzer Zeit ein schnelles und mittelkapazitives Verkehrssystem als Übergang zu bauen. Ein schnelles und mittelkapazitives Verkehrssystem kann schnell ein Hauptnetz im Planungszeitraum herstellen, sodass es die Stadt nach ihrer Entwicklungsabsicht der Planung zu einem gewissen Grad unterstützen kann. Die U-Bahn wurde schon geplant und der notwendige Platz wurde reserviert. Sie soll als primäres Rückgrat nach den schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystemen (BRT oder Straßenbahn) erstellt werden, um künftige und langfristige Probleme zu lösen. In Zukunft wird die U-Bahn, ein schnelles und mittelkapazitives Verkehrssystem und zusammen mit herkömmlichen Bussystemen eine Vision des integrierten ÖV-Systems konstruieren

Kurz gesagt, sowohl die staatlich Politik als auch die städtisch jüngsten Entscheidungsfindung bietet eine günstige Grundlage für den Aufbau eines schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystems. Die Stadtgröße, das Wirtschaftsniveau, der Straßenzustand, das Verkehrsverhalten und die Verteilung der Fahrgastströme in Changzhou sind geeignet für Bau eines schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystems.

Daraus kann geschlossen werden, dass der Bau von schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystemen in Changzhou möglich ist.

7.3 Vergleich und Auswahl der schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssysteme

7.3.1 Auswahl der Indikatoren

Je nach den Eigenschaften der Stadt Changzhou, dem Niveau der Wirtschaftsentwicklung und der Verkehrsnachfrage werden die Bewertungsindikatoren von Abschnitte 4.3 bis 4.7 und Abschnitte 5.2.1 ausgewählt.

(1) Transportkapazität

Egal, welche Art von ÖV, das Ziel ist, eine wachsende Verkehrsnachfrage der Völker zu er-

reichen. Die Beförderungskapazität ist immer ein entscheidender Indikator. Die Beförderungskapazität von dem gewählten schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystem soll die Nachfrage der Gegenwart und im Planungszeitraum befriedigen.

(2) Geschwindigkeit

Changzhou ist wirtschaftlich sehr weit entwickelt, der Lebensstandard der Bevölkerung ist hoch, die Leute dort haben ein schnelles Arbeits- und Lebenstempo und damit ein striktes Zeitkonzept und hohen Anforderungen an Zeit. Die Bevölkerung wünscht sich ein ÖV-System mit schnellem Tempo damit sie die Reisezeit verkürzen können. Ein ÖV-System mit einer hohen Geschwindigkeit kann das Streben der Menschen nach Schnelligkeit stillen. Die Geschwindigkeit ist dabei ein wichtiger Indikator.

(3) Bedienungsqualität

Mit der Verbesserung des Lebensstandards der Menschen beachtet die Öffentlichkeit mehr und mehr die Qualität der Dienstleistungen des öffentlichen Verkehrs. Schnelle und mittel-kapazitive öffentliche Verkehrssysteme sind bequem, zuverlässig, sicher, der Bedienungsradius ist breit.

(4) Stadtbild

Die Lage der Stadt Changzhou ist eine moderne Herstellungsstätte und eine berühmte Kultur- und Tourismusstadt. Das öffentliche Verkehrssystem ist eine bewegende Visitenkarte der Stadt. Schnelle und mittel-kapazitive öffentliche Verkehrssysteme sollen modern, schnittig und im Einklang mit dem Stadtbild sein.

(5) Energieverbrauch

Mit den Energiekrisen haben die verschiedenen Länder und Städte einen Weg zur nachhaltigen Entwicklung gesucht. Als eine wirtschaftlich hoch entwickelte Stadt ist Changzhou keine Ausnahme und änderte aktiv ihre wirtschaftliche Entwicklung zur nachhaltigen Entwicklung. Hierbei ist es für Changzhou erforderlich, ein verbrauchsarmes und hoch effektives öffentliches Verkehrssystem zu haben.

(6) Luftverschmutzung

Changzhou ist ein moderner Industriestandort. Es gibt zahlreiche großflächige Industrie- und Bergbau-Unternehmen. Die Stadt hat die große Aufgabe der Emissionsminderung. Die Einführung eines schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems mit geringer Emission ist ein Weg zur Reduzierung der Umweltverschmutzung.

(7) Betrieb und Management der ÖV-Linien

Die Fahrgastströme in den verschiedenen Korridoren der Stadt haben differenzierte Charaktere. Dementsprechend sollen flexible Betriebsweisen und Managementmodi angewendet werden, damit die Korridore durchfahrbar und sicher werden sowie ein hohes Servicelevel erreichen können. Der Nachfrage kann man dadurch gut gerecht werden und die Anlagen des schnellen und mittel-kapazitiven Verkehrssystems angemessen ausgenutzt werden.

(8) Investitionskosten

Die Investitionskosten sind ein Kontrollindikator für öffentliche Einrichtungen, auch für städtische ÖV-Systeme. Der Verkehrsentscheidungsträger erhofft ein schnelles und mittelkapazitives öffentliches Verkehrssystem für sinnvolle Investitionen und hohe Effizienz, das mit einem hohen Nutzen-Kosten-Verhältnis einhergeht.

7.3.2 Konstruktion der Urteilsmatrix

(1) Aufbau einer hierarchischen Struktur

Die gewählten Indikatoren sind dezentralisiert. Aus einzelnen Teilzielen wird nur ein Indikator übernommen. Um die Rechnung zu vereinfachen, wird die hierarchische Struktur in drei Ebenen unterteilt, die Teilzielebene wurde dabei weggelassen, denn sie spielt eine geringe Rolle hier. Die Indikatoren werden ihrer Wichtigkeit nach von links nach rechts in Reihe auf Indikatorebene im Zusammenhang mit den Merkmalen der Stadt Changzhou und seinen Anforderungen an das ÖV-System aufgestellt. Die Hierarchie mit gewählten Indikatoren der Auswahl des BRT und der Straßenbahn ist in Abbildung 7-7 dargestellt.

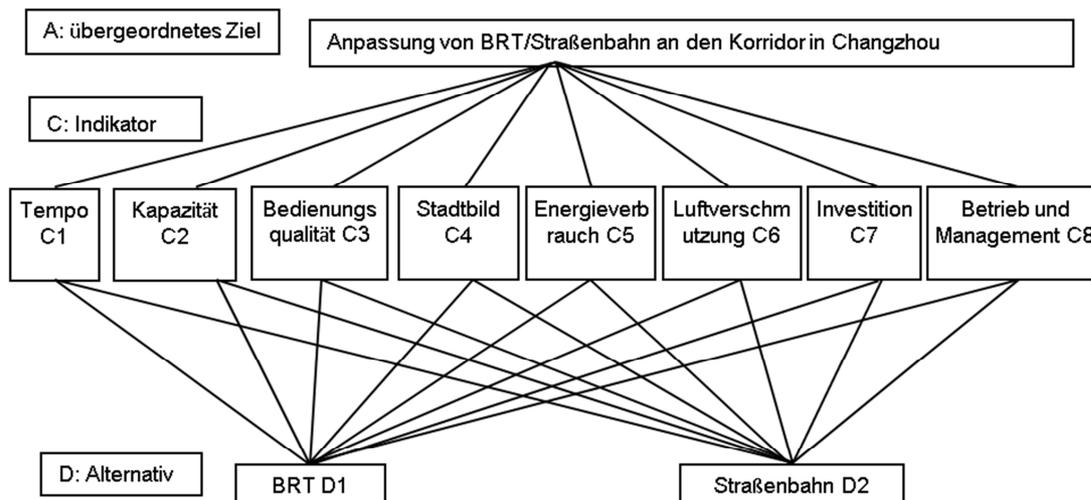


Abbildung 7-7 Hierarchie der Auswahl eines schnellen und mittelkapazitiven Verkehrssystems für Changzhou

(2) Urteilsmatrizen

die Werte werden gemäß dem Istzustand und der Planung der Entwicklung Changzhous den Elementen in Urteilsmatrizen durch Ansatz „Beratung von der Sachverständigen“ gegeben.

Die Urteilmatrix der Zielebene ist wie in Tabelle 7-4 angelegt.

Tabelle 7-4 Urteilmatrix der Zielebene A

A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1	2	3	4	5	6	7	9
C2	1/2	1	2	3	4	5	6	8
C3	1/3	1/2	1	2	3	4	5	7
C4	1/4	1/3	1/2	1	2	3	5	8
C5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	4	7
C6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	3	6
C7	1/7	1/6	1/5	1/5	1/4	1/3	1	3
C8	1/9	1/8	1/7	1/8	1/7	1/6	1/3	1

Nach den Ergebnissen der Forschung im Rahmen von Kapitel 4, wird eine Übersicht der Urteilmatrizen der Indikatorebene B in Tabelle 7-5 bis 7-12 dargestellt.

Tabelle 7-5 die Matrix in Indikatorebene C1

C1	D1	D2
D1	1	4
D2	1/4	1

Tabelle 7-6 die Matrix in Indikatorebene C2

C2	D1	D2
D1	1	1
D2	1	1

Tabelle 7-7 die Matrix in Indikatorebene C3

C3	D1	D2
D1	1	1/2
D2	2	1

Tabelle 7-8 die Matrix in Indikatorebene C4

C4	D1	D2
D1	1	1/4
D2	4	1

Tabelle 7-9 die Matrix in Indikatorebene C5

C5	D1	D2
D1	1	1/3
D2	3	1

Tabelle 7-10 die Matrix in Indikatorebene C6

C6	D1	D2
D1	1	1/8
D2	8	1

Tabelle 7-11 die Matrix in Indikatorebene C7

C7	D1	D2
D1	1	6
D2	1/6	1

Tabelle 7-12 die Matrix in Indikatorebene C8

C8	D1	D2
D1	1	4
D2	1/4	1

7.3.3 Durchführung des hierarchischen Prozesses

Mit der Anwendung „Wurzel-Methode“ aus Kapitel 5 werden die maximalen Eigenwurzel der Matrix und des Vektors wie folgt bestimmt:

das Ergebnis der Berechnung von Urteilmatrix A:

$$W = \begin{bmatrix} 0,324 \\ 0,229 \\ 0,157 \\ 0,113 \\ 0,077 \\ 0,053 \\ 0,030 \\ 0,016 \end{bmatrix},$$

$$\lambda_{\max} = 8,522, \quad C.I. = 0,075, \quad R.I. = 1,41, \quad C.R. = 0,053 < 0,1$$

Für Urteilmatrix C1, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C2, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C3, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,333 \\ 0,667 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C4, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C5, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,25 \\ 0,75 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C6, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,111 \\ 0,889 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C7, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,857 \\ 0,143 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Für Urteilmatrix C8, das Ergebnis der Berechnung:

$$W = \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 2, C.I. = 0, R.I. = 0, C.R. < 0,1$$

Daraus ergeben sich die Resultate des Gewichtens der Ebenen, wie in Tabelle 7-13 gezeigt.

Tabelle 7-13 Tabelle der Gewichte von BRT und Straßenbahn

Indikatoren	Gewichtskoeffizient	BRT	Straßenbahn
Tempo	0,324	0,8	0,2
Kapazität	0,229	0,5	0,5
Bedienungsqualität	0,157	0,333	0,667
Stadtbild	0,113	0,2	0,8
Energieverbrauch	0,077	0,25	0,75
Luftverschmutzung	0,053	0,111	0,889
Investition	0,03	0,857	0,143
Betrieb und Management	0,016	0,8	0,2
Gewichtverteilung	-	0,512	0,488

Es ist aus der Tabelle 7-13 ersichtlich, dass das BRT einen Gesamtanteil von 0,512, höher als Straßen von 0,488 erhält. Das heißt, dass das BRT als schnelles und mittel-kapazitives öffentliches Verkehrssystem für Changzhou besser als Straßenbahn ist. Deshalb ist es richtig, dass Changzhou das BRT als ihr schnelles und mittel-kapazitives öffentliches Verkehrssystem gewählt und eingeführt hat.

7.4 Zusammenfassung

Die Stadt Changzhou in der Provinz Jiangsu wird in diesem Kapitel als Fallstadt angenommen. Zuerst werden die Verkehrsnachfrage und die eigenen Bedingungen der Stadt Changzhou analysiert, dann werden die Notwendigkeit und Machbarkeit eines schnellen öffentlichen Verkehrssystems in Changzhou diskutiert. Nach Wirkung der internen und externen Faktoren von Changzhou und mit Hilfe der Theorie und des Ansatzes für Vergleich und Auswahl werden BRT und Straßenbahn verglichen und bewertet. Es werden Urteilsindikatoren gebildet und einzelne Indikatoren bekommen gewichtweise Werte. Schließlich wird durch Rechnung und Sortieren das Endergebnis ermittelt. Die Folgerung ist, dass das BRT besser zu Changzhou passt als die Straßenbahn im Sinne eines schnellen und mittel-kapazitiven öffentlichen Verkehrssystems, das im Einklang mit der realistischen Wahl in Changzhou steht. Dies hat die in dieser Arbeit angewendete Theorie und Methode indirekt bestätigt.

8 Fazit und Ausblick

8.1 Fazit

Die Verfasserin dieser Arbeit hat zahlreiche Literatur recherchiert und BRT- und Straßenbahnsysteme in und außerhalb von China besichtigt und dokumentiert. Sie hat sich an die Untersuchungserfolge in und außerhalb von China angelehnt. Auf dieser Grundlage hat sie Theorien und Methoden des Vergleiches und der Auswahl des schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssystems tief und systematisch erforscht. Die wichtigen Schlussfolgerungen lauten wie folgt:

1. Die relativen Vor- und Nachteile von BRT- und Straßenbahn werden aufgezeigt durch den umfassenden und detaillierten Vergleich und weiteren Analysen von beiden. Gegenüber der Straßenbahn hat das BRT bei der Beförderungsgeschwindigkeit, den Investitionskosten, dem Betrieb und Management, dem Betriebsmodus der Linien, der intelligenten Steuerung, der Anpassungsmöglichkeit an die Größe der Stadt und die wirtschaftliche Entwicklung, an die Bedingungen der Knotenpunkte und Längsneigungen der Straße etc. große Vorteile. Die Straßenbahn ist wiederum in Hinsicht auf die Bedienungsqualität, den Energieverbrauch, den Lärm, die Luftverschmutzung, die Anpassung an die Fahrbahnbreite und das Stadtimago usw. wettbewerbsfähiger. BRT und Straßenbahn gleichen sich in der Beförderungskapazität.
2. Der Vergleich und die Auswahl des schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssystems zählen zu der Entscheidungsfrage mit mehreren Zielen und begrenzten Alternativen. Dies wird durch den Analytischen Hierarchischen Prozess (AHP) gelöst.
3. Durch die umfassende qualitative und quantitative Untersuchung von technischer Funktion, der Investition, dem Betrieb und Management und der Anpassungsmöglichkeit usw. des BRT und der Straßenbahn werden die detaillierten Indikatoren und ihre Bewertungsbereiche für den Vergleich des BRT und der Straßenbahn ermittelt. Auf diesem Grund wird auch Indikatoren-Ebene gebildet und auch ihre Urteilmatrizen.
4. Die Entwicklungserfahrungen des schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssystems in und außerhalb von China werden analysiert und zusammengefasst. Die schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssysteme in China werden erforscht, deren Probleme werden gründlich geprüft. Unter Berücksichtigung der städtischen Entwicklung in diesem Stadium und dem künftigen Entwicklungsbedarf werden Vorschläge zur Entwicklung des schnellen und mittel kapazitiven Verkehrssystems in China gezeigt.

5. Durch die empirische Forschung in der Stadt Changzhou werden Theorien und Methoden zum Vergleich und der Auswahl der schnellen und mittel -kapazitiven Verkehrssysteme verifiziert.

8.2 Innovationen

Die wesentlichen Neuerungen der Dissertation sind die Folgenden:

1. Die theoretischen Berechnungen und praktischen Statistiken werden kombiniert, um Qualität, Investitionskosten, Betrieb und Management, Anpassungsmöglichkeit usw. von BRT und Straßenbahn, die zu den schnell und mittel -kapazitiven Verkehrssystemen gehören, komplett und systematisch zu vergleichen und zu analysieren und somit die jeweiligen Vorzüge der verschiedenen Indikatoren bestimmen zu können.

2. Der Analytische Hierarchieprozess (AHP) wird hierbei verwendet, um schnelle und mittel kapazitive Verkehrssysteme zu vergleichen und auszuwählen. Beruhend auf den wichtigsten Einflussfaktoren werden die Modelle und die nötigen Ebenen aufgebaut und eine entsprechende Berechnungsmethode gegeben.

3. Gemäß der relativen Stärken und Schwächen der BRT-und Straßenbahnindikatoren werden die Werte jedes Elements der Urteilmatrix von der Indikatoren-Ebene im Vergleich- und Auswahl-Modell mit mathematischer Gewichtung festgestellt. Dann werden die Werte oder Wertebereich der einzelnen Elemente vorgeschlagen.

4. In Bezug auf die Entwicklungserfahrungen in und außerhalb Chinas und die gezeigten Probleme in China werden Vorschlägen und Ideen für die zukünftige Entwicklung des BRT und der Straßenbahn in China gegeben.

8.3 Ausblick

Auch wenn in dieser Arbeit einige Erfolge und Fortschritte vorgestellt werden konnten, erfordern die begrenzten Erkenntnisse und die Einschränkung des Materials weitergehende Studien. Diese schließen die folgenden Aspekte ein:

1. Das schnelle und mittel-kapazitive Verkehrssystem enthält viele Inhalte, die auf vielfältige Aspekte und auf vielen Ebenen verglichen und analysiert werden können. Diese Arbeit hat die wichtigen Teile von BRT- und Straßenbahn-System, wie zum Beispiel technisch Funktion, Investitionskosten, Betrieb und Management sowie Anpassungsfähigkeit verglichen. Es gibt aber noch andere Aspekte, die noch weiter untersucht werden sollten. Die Betriebskosten, Einfluss von subjektiver Akzeptanz von Straßenbahn gegenüber BRT (oder umgekehrt) werden beispielsweise nicht in dieser Arbeit miteinbezogen.

2. Das schnelle und mittel kapazitive Verkehrssystem ist ein umfassendes und komplexes System. Die Qualität von dessen Leistungen, Betrieb und Management etc. sind von vielen Faktoren abhängig. In diesem Beitrag werden bei der theoretischen Berechnung der Beförderungskapazität, der Investitionen, der Einnahmen, dem Betrieb und Management des BRT und der Straßenbahn die Auswirkungen nur als allgemein angenommen. Theoretische Berechnungen unter anderen besonderen Umständen müssen weiter untersucht werden. Zum Beispiel die Berechnung der Leistungsfähigkeit von BRT und Straßenbahn basiert auf einer Situation, dass BRT und Straßenbahn überhaupt nicht von anderen Verkehrsträger gestört werden, Signalpriorisierung an allen Knotenpunkte entlang der BRT- und Straßenbahnlinie vorhanden ist und das Ein- und Aussteigen der Fahrgäste zügig geschieht. Die Rechnung der Leistungsfähigkeit in praktischen Fällen muss Störungen anderer Verkehrsträger, nicht uneingeschränkte Vorfahrt, Verzögerung wegen Fahrgastwechsel berücksichtigen.

3. Die in dieser Arbeit vorgenommene Bewertung jedes Elements der Urteilmatrix von der Indikatoren-Ebene im Vergleich- und Auswahl-Modell ist vorläufig und sollte in weiteren Studien auf Genauigkeit und Präzision geprüft werden.

4. Die Fallstudie wird in Bezug auf Charakter und Bedarf in Stadt Changzhou gegründet, dabei werden die für Changzhou wichtigen Indikatoren ausgelesen und entsprechend Urteilmatrizen gebildet. Die Werte werden nach dem Gewicht jedes Indikators erteilt. Trotzdem müssen die Indikatoren und entsprechenden Werte weiterhin untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Robert Schwandl, Schwandl's Tram Atlas Deutschland, Robert Schwandl Verlag, 2009
- [2] Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, S., Smith, S., Cracknell, J. and Soberman, R. (2003a), J., TCRP Report 90, Bus Rapid Transit Volume 1: Case studies in bus rapid transit, Washington, D.C.2003
- [3] Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, S. and Bruhn, E.,TCRP Report 90, Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines, Washington, D.C.2003
- [4] Wright, L. and Hook, W.: Bus Rapid Transit Planning Guide, Institute for Transportation Development and Policy, New York, 2007
- [5] Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making Project No. FTA-FL-26-7109.2009.1
- [6] Fiedler, Joachim; Bahnwesen : Planung , Bau und Betrieb von Eisenbahnen , S- , U- , Stadt- und Straßenbahnen; 1999; Werner Verlag, Düsseldorf
- [7] Groneck, Christoph: Französische Planungsleitbilder für Straßenbahnsysteme im Vergleich zu Deutschland; Dissertation an Uni. Wuppertal, 2007
- [8] Stadtbahnen in Deutschland Innovativ - flexibel – attraktiv; Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)/ Verband Deutscher Verkehrsunternehmen/ VDV-Förderkreis, Alba Fachverlag Köln, 2000
- [9]Johannes Bouchain , Stadtbahnqualitäten Räumlich-funktionale und gestalterische Eigenschaften eines modernen öffentlichen Verkehrsmittels, Diplomarbeit an der Hafen City Universität Hamburg, Stadtplanung, 2008
- [10] Megel, K. Bus oder Bahn? Psychologische Untersuchung der Schemata und Präferenzen im Regionalverkehr. Diplomarbeit an der TU Dresden, Professur für Verkehrspsychologie, 2001
- [11] Hinweise zu Systemkosten von Busbahn und Straßenbahn bei Neueinführung , FGSV 2008
- [12] David B. McBrayer: Blurring the Light Rail Transit-Bus Rapid Transit Boundaries, Rapid Light Transit; Experience, Economics, and Evolution From Starter Lines to Growing Systems, 9th National Light Rail Transit Conference, Portland,2003
- [13] Kittelson & Associates, Inc., KFH Group, Inc. Parsons Brinckerhoff Quade & Douglass, Inc., Dr.Katherine Hunter-Zaworaki, TCRP Report 100, Transit Capacity and Quality of Service Manual, Washington,D.C.2003
- [14] XU Kangming. BRT Systems- the Road for Urban Traffic Sustainable development. [J]. Traffic & Transportation, 3.2003
- [15] YANG Min, CHEN Xuewu, WANG Wei. Analysis of the Problems in Bus Rapid Transit (BRT) Development in China. Urban Research, 6.2003
- [16] HU Runzhou. Economy Dominance of Urban quasi-bus rapid transit system. [J]. Comprehensive Transportation, 11.2003
- [17] SUN Zhuangzhi. Some Rational Views on BRT and Rail Transit System[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 6.2006
- [18] Gu Zhikang. Research on the Theory and Method of Bus Rapid Transit Network Planning in Urban Area. doctoral dissertation, Southeast University, 2006
- [19] ZHANG Shoujun. Study on Urban BRT System Planning Theory and Method[D]. doctoral dissertation Beijing Jiaotong University, 2007
- [20] Xu Kangming, CAI Jianchen, SUN Luming, FENG Jun. BRT System Planning and Design[M]. Beijing: China Construction and Industry Press 2010
- [21] MIAO Wenjuan. Post-evaluation of Bus Rapid Transit System Planning in Jinan.[D]. Master's thesis, Beijing Jiaotong University, 2011
- [22] Beijing Zhongchengjie Engineering Consulting Limited Liability Company. Changzhou BRT Network Planning[R]. 2007

- [23] Wuhan Comprehensive Transportation Planning and Design Institute. Wuhan BRT Network Planning[R]. 2008
- [24] WANG Qigong, ZHENG Fuquan, SUN Changqing, The Application of Modern Trams in Europe and Developing Mode in Chinese Urban Public Traffic. Rail Transit, 3.2010
- [25] WANG Mingwen, WANG Guoliang, ZHANG Yuhong. Modern Trolley and Urban Development: How Do They Fit Together. Urban Transport of China, 2007
- [26] ZI Haibo, GUO Xiucheng, YANG Jie. Study on the Application and Adaptability of Modern Tramcar. Urban Mass Transit, 2.2009
- [27] WEI Chao. Study of the Applicability of Modern Trams. Master's thesis, Tongji University. 2008
- [28] LI Yuanyuan. Study of Urban Public Traffic Construction Strategy [D], Master's thesis, Chang'an University. 2004
- [29] CHENG Dan. Research and Applications on Evaluation Methods of Wuhan Public Transportation System [D]. Master's thesis, Wuhan University of Technology. 2010
- [30] YUAN Jian. The Competition Relationship Analysis of BRT and Rail Transit in Urban Integrated Transportation [D]. Tsinghua University. 2007
- [31] Thomas, E., Bus rapid transit. Presentation at the Institute of Transportation Engineers Annual Meeting, Chicago, August 2001.
- [32] http://www.mercedes-benz.de/content/germany/mpc/mpc_germany_website/de/home_mpc/bus/home/consulting/brt.html (Letzter Zugriff 5.2011)
- [33] Curitiba, Brazil: a model city for transit use, <http://vivanext.com/blog/2009/06/12/curitiba-brazil-a-model-city-for-transit-use/>, Stand 06.2009
- [34]<http://www.brtdata.org/>, Stand 1.2013
- [35] <http://www.chinasus.org/news/transport/20100106/58153-2.shtml> (letzter Zugriff 22.6.2011)
- [36] <http://www.chinabrt.org/cn/cities/guangzhou.aspx> (letzter Zugriff 24.6.2011)
- [37] http://www.hongshannet.cn/Topics/2011-08/08/content_235051.htm (letzter Zugriff 24.6.2011)
- [38] http://www.urumqidrc.gov.cn/info_show.asp?ArticleID=5631(letzter Zugriff 24.6.2011)
- [39] http://www.cnr.cn/newscenter/gnxw/201112/t20111231_509002242.shtml (letzter Zugriff 3.2012)
- [40]Guoxian Lin, Yiqing Lv, Baijiang Chen, Untersuchung des Standards des BRT und der Strategie zum Fortschritt in Taiwan, 2.1999
- [41] <http://www.transportphoto.net/photo.aspx?id=9709&c=Xiamen&l=en> (letzter Zugriff 26.6.2011)
- [42] <http://seattletransitblog.com/2011/05/06/dstt-history-tour/> (letzter Zugriff 26.6.2011)
- [43] <http://www.lars-p.de/spurbus.htm> (letzter Zugriff 26.6.2011)
- [44] http://www.bjjtw.gov.cn/gzdt/yjzl/201106/t20110603_40719.htm (letzter Zugriff 4.7.2011)
- [45] <http://www.transportphoto.net/cmtbrt.aspx?l=cn&cmtc=Seoul> (letzter Zugriff 5.7.2011)
- [46] <http://www.transportphoto.net/cmtbrt.aspx?l=cn&cmtc=Chongqing> (letzter Zugriff 4.7.2011)
- [47] <http://www.transportphoto.net/cmtbrt.aspx?l=cn&cmtc=Beijing> (letzter Zugriff 4.7.2011)
- [48] <http://www.transportphoto.net/cmtbrt.aspx?l=cn&cmtc=Bogota> (letzter Zugriff 4.7.2011)
- [49] <http://sf.streetsblog.org/2009/02/10/brt-comes-out-ahead-of-light-rail-again/> (letzter Zugriff 26.6.2011)
- [50] <http://nexus.umn.edu/Courses/Cases/CE5212/F2008/CS3/CS3.html> (letzter Zugriff 28.6.2011)
- [51] <http://www.transportphoto.net/photo.aspx?id=6153&c=Zhengzhou&l=cn> (letzter Zugriff 28.6.2011)
- [52] <http://www.transportphoto.net/mt.aspx?l=cn&mtid=1800> (letzter Zugriff 28.6.2011)
- [53] <http://www.transportphoto.net/photo.aspx?id=5593&c=Quito&l=cn> (letzter Zugriff 28.6.2011)
- [54]<http://www.chinabrt.org/en/cities/bogota.aspx>, (letzter Zugriff 11.7.2011)

- [55] Institute der Integrierten Verkehrsplanung der Stadt Wuhan etc., BRT-Liniennetzplanung in Wuhan, 10. 2008
- [56] Florida Publik Transportation Association(FPTA) Annual Meeting, 2007
- [57] <http://2010.163.com/09/0909/19/5IPUNT0100863AUC.html> (letzter Zugriff 8.2011)
- [58] <http://chinanetz.info/blog/china-reise/peking-u-bahn-karten> (letzter Zugriff 4.7.2011)
- [59] Yang L., Bus Rapid Transit Systems(BRT) in China, Diplomarbeit an der TU-Berlin, 2010
- [60] Manfred Bonz, M. Ingenieurbau- Verkehr-Straße, Schiene, Luft
- [61] Ingolf Berger, Perspektiven der Entwicklung der Straßenbahn in Berlin, Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 11.2007
- [62] IBEW Journal juni 2002, <http://www.ibew.org/articles/02journal/0206/tech.htm> (letzter Zugriff 14.7.2011)
- [63] <http://www.berliner-verkehrsseiten.de/strab/Geschichte/Lichterfelde/lichterfelde.html>, (letzter Zugriff 13.07.2011)
- [64] Rhomberg Bahntechnik GmbH, Ringstraßenbahn Unteres Rheintal, Bregenz, 9.2008
- [65] [http://www.mvg-mainz.de/index.php?id=133&type=98&tx_ttnews\[tt_news\]=89](http://www.mvg-mainz.de/index.php?id=133&type=98&tx_ttnews[tt_news]=89) (letzter Zugriff 15.7.2011)
- [66] Eckehard Frenz, Renaissance der Straßenbahn als „Light Rail Transit“ in Nordamerika in: Kostlin, Wollmann(Hrsg.) Renaissance der Straßenbahn
- [67] die moderne Tram, Münchner Verkehrsgesellschaft mbH, Stand 2007
- [68] ETHZ Harry Hondius Tram-Renaissance im Raum Paris –Die Entwicklungen der letzten 15 Jahre, Verkehrsplanung
- [69] Eckehard Frenz, Die Straßenbahnstilllegung in der Bundesrepublik Deutschland, in:Kostlin, Wollmann(Hrsg.) Renaissance der Straßenbahn
- [70] <http://www.strassenbahnfreunde-hemer.de/strassenbahnen/strassenbahnwesen/epoche2.html>, (letzter Zugriff 16.7.2011)
- [71]<http://www.strassenbahnfreunde-hemer.de/strassenbahnen/strassenbahnwesen/epoche4.html>, (letzter Zugriff 16.7.2011)
- [72]<http://www.strassenbahnfreunde-hemer.de/strassenbahnen/strassenbahnwesen/epoche5.html>, (letzter Zugriff 16.7.2011)
- [73] Tang Miao, Ma Yun, Adaptability of Modern Tram in Cities, Journal of Shanghai[J] Jiaotong University, 8.2011
- [74] Wei Qizhong. Modern tram and the application of ordinary contact suspension [J]. Modern Urban Transit,2.2010
- [75] FGSV (Hrsg.): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen EAHV 93; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln,1993
- [76] Uwe.K. Ingenieurbau- Verkehr-Straße, Schiene, Luft
- [77]FGSV(Hrsg.): Empfehlungen für die Anlage von des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ) 2003, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2003
- [78]Ludwig, D und Kühn, A.: Das Karlsruher Modell und seine Übertragbarkeit. Der Nahverkehr 1995, H.10
- [79] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Strassenbahnnetz-Leipzig_20101010.svg&filetimestamp=20101029131541 (letzter Zugriff 3.8.2011)
- [80]Stadt Leipzig, Amt für Verkehrsplanung Nahverkehrsplan der Stadt Leipzig Stand 9.2005
- [81] Stadtgera und Landkreis Greiz, Bericht Gemeinsame nahverkehrsplan der Stadt Gera und des Landkreises Greiz 208-2012 Gesamtentwurf, Stand 9.2005
- [82]Anhang-Karte Karte IV.1.2-4 bis IV.1.2-7 , Nahverkehrsplan des Landes Berlin 2006-2009
- [83]Institut der Stadtplanung in China, Bericht über die systematische Untersuchung der Einführung der Straßenbahn für östliche Wirtschaftszone in Tianjin

- [84] Brändli, Heinrich, Chancen und Grenzen der Straßenbahn, in Köstlin, Reinhart, Wollmann, Hellmut(Hrsg.) Renaissance der Straßenbahn, basel,Bosten,Stuttgart 1987
- [85] <http://www.tramway.at/bordeaux/bordeaux.html>, letzter Zugriff 3.8.3011
- [86] <http://www.tagesspiegel.de/berlin/geradeaus-in-den-tod/3864220.html> (letzter Zugriff 3.2011)
- [87] <http://www.chinabrt.org/cn/cities/param-quan.aspx?param=4> (letzter Zugriff 2.1012)
- [88] Odenwald-Regional-Gesellschaft (OREG) mbH, Qualitätsstandards für den ÖPNV im Odenwaldkreis
- [89] LU Huapu , WEN Guowei successful key of BRT system: land use form of band city, Urban Transport of China, 2006,5 Vol.4 No.3
- [90] St.Jacques, Kevin and Herbert S. Levinson. TCRP Research Results Digest 38: Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials: Application and Refinement[R].Washington,D.C.:TRB, National Research Council, 2000
- [91] FENG Jun, XU Kangming, a Computational Method to determine the Capacity of BRT Systems, Urban Transportation of China, 2007.9 Vol.5 No.5
- [92] <http://www.chinabrt.org/defaulten.aspx> (letzter Zugriff 29.3.2012)
- [93] ALSTOM TRANSPORT. Tramways Turnkey Solutions[R].Shanghai : ALSTOM, 2007
- [94] ALSTOM TRANSPORT. Introduction of Modern Trams. ALSTOM, 2007
- [95] XUE Meigen, YANG Lifeng. Modern Trams: Characteristics & Development both at Home and Abroad. Urban Transport of China, 11.2008
- [96] ZHAO Yongchao, ZHU Hongjun. Comparative Analysis of New Trams in Selection and Cost. City. 10.2011
- [97]GONG Zhiqun. Discussion on Current Situation and Development of the Urban Rail Transit in China. Science & Technology Information. 9.2007
- [98] Ai Jingjin, YANG Tianbao, Yuan Zhenzhou. Analysis of Influence Factors on BRT Speed and How to Improvement. Urban Public Transport. 1.2007
- [99] Weidmann Ulrich, Vorlesungsskripten, Systemdimensionierung und Kapazität, Kap.2 Fahrzeit, Haltezeit und Wendezeit, Ausgabe 2011
- [100] Beijing Infrastructure Investment Co., Ltd und Beijing urban construction design Research Institute Co., Ltd. The technological standard of modern trolley car in Beijing
- [101] JIE Jianhua, XU Kangming. Investigation and Study on the Speed of Beijing Rapid Transit Passengers Board the Lower[R].China Sustainable Transportation Center.
- [102] XU Kangming, XIE Jianhua, FENG Jun. The Advantages and Benefits Analysis for operation mode of Bus Rapid Transit Stations. Urban Transport of China, 2006
- [103] WANG Jian. Technique Analysis on Marked Difference of BRT Vehicles Fuel Consumption. Bus Technology and Research, 6.2008
- [104] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People`s Republic of China. Code for Transport Planning on Urban Road [R]. 1995
- [105] <http://www.chinabrt.org/cn/cities> (letzter Zugriff 5.2012)
- [106] TANG Miao, MA Yun. Adaptability of Modern Tram in Cities. Journal of Shanghai[J]. Jiaotong University. 8.2011
- [107] http://szb.dlxww.com/dlrb/html/2012-09/19/content_727520.htm?div=-1 (letzter Zugriff 7.3.2013)
- [108] Der Polizeipräsident in Berlin, Verkehrssicherheitslage 2010 Berlin, Pressekonferenz am 11. Februar 2011
- [109] Der Polizeipräsident in Berlin, Verkehrssicherheitslage 2011 Berlin, Pressekonferenz am 10 Februar 2012
- [110] Der Polizeipräsident in Berlin, Verkehrssicherheitslage 2010 Berlin, Pressekonferenz am 6 März 2013

- [111] FENG Zhuojin. The development Prospect of Urban Trams. Urban Public Transport [J]. 3.2002
- [112] LING Kai. The Principle of Vehicle. [M]. Beijing: Beijing Post und Telecommunication University Press 2005
- [113] ZHANG Xueli, HE Yong. Rolling Resistance in Motor Vehicle Dynamic Property Test[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development. 10.2000
- [114] China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd. The Handbook of Railway Engineering Technology-Line. [M]. Beijing: China Railway Press 1999
- [115] http://www.chinacar.com.cn/keche/jinlong_837/XMQ6180G_73565.html, (letzter Zugriff 28.2.2013)
- [116] <http://www.yutong.com/solutions/ggjt/index.shtml> (Letzter Zugriff 5.2012)
- [117] Björn Gunnarsson, Andreas Löfgren. Light Rail-Experiences from Germany, France and Switzerland. Sweden: Lulea University of Technology, 2001
- [118] www.Bettertransit.ab.ca (Letzter Zugriff 5.2012)
- [119] Southern China Institute of Environmental Science of Ministry of Environmental Protection of the People`s Republic of China. Report of Environmental Impact Assessment on Xiamen Bus Rapid Transit System (BRT). 2008
- [120] XIAN Chenyang. Comparative Analysis between Regular Diesel Bus and BRT Vehicle on Emission Character Based on VSP Parameter. Beijing Jiaotong University, 2011.
- [121] WU Jiaqing, LIN Zheng. An Operational Analysis of the BRT System along Beijing South-Central Corridor. Urban Transport of China, 7.2007
- [122] <http://www.chinabrt.org/cn/cities/Beijing.aspx> (letzter Zugriff 5.2012)
- [123] LU Ximing. Bus Rapid Transit[M]. Tongji University Press 2005
- [124] Geng Mingjun, Zhao Xuegang, Liu Song. Study on Operation mode of Shenzheng BRT Line 1.Science & Technology Association Forum, 7.2009
- [125] WANG Shaofei. Study on the BRT Intelligent System. Chang`an University, 2008
- [126] TANG Jiayan. Operation Control System of Modern Railroad Car. Automation Application, 12. 2010
- [127] <http://www.chinabrt.org/en/cities/param-quan.aspx?param=1>, letzte Zugriff 1.7.2012
- [128] Statistical Bulletin of National Economic and Social Development of China from 2002 to 2011
- [129] China Statistical Yearbook in 2008 and Statistical Yearbook in 2008 of Different Provinces
- [130] Statistical Bulletin of the sixth census of Different Cities
- [131] GlenD.Bottoms.Continuing Developments in Light Rail Transit in Western EuroPe.9th National LightRail Transit Conference. Ameriean Public TransPortation Association TransPortation Research Board , 2003:713-728
- [132] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People`s Republic of China. Code for Design of Urban Road. 1991
- [133] Du Dong, Pang Qinghua.Modern evaluation methods and case studies. [M] Tsinghua University Press, 2005
- [134] SUN Mingzheng, LIU Xuejie, MA Haihong. A Performance Analysis of the BRT Line 2 in Beijing. Urban Transport of China, 5.2009
- [135] Guo Pengyu, Zheng Zhaofeng. Survey and Analysis on Operating Status and Satisfaction Degree of Zhengzhou BRT. Marketing Research, 12.2010
- [136] MENG Yongping. Operational Analysis of the First BRT System of Xiamen City. Journal of Transportation Engineering and Information, 2010(9):32-37
- [137] http://vote.2010.163.com/vote/vgvote_results.jsp?vgid=2086 (letzter Zugriff 5.2012)
- [138] <http://www.chinabrt.org/cn/cities/param-quan.aspx?param=3>, (letzter Zugriff 5.2012)

[139]<http://www.changzhou.gov.cn/col/col2/index.html>

[140] Yu Haiying. Study on interaction between urbanization and fast public transport [D], Master's thesis. Southeast University, 2003