

Rainer Schach
Peter Jehle
René Naumann

Transrapid und Rad-Schiene-Hoch- geschwindigkeitsbahn

Ein gesamtheitlicher Systemvergleich



 Springer

VDI

Rainer Schach
Peter Jehle
René Naumann

Transrapid und Rad-Schiene-Hoch- geschwindigkeitsbahn

Ein gesamtheitlicher Systemvergleich



 Springer

VDI

Rainer Schach · Peter Jehle · René Naumann

Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahn

Rainer Schach · Peter Jehle · René Naumann

Transrapid und Rad-Schiene- Hochgeschwindigkeitsbahn

Ein gesamtheitlicher Systemvergleich

Mit 70 Abbildungen

 Springer

Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach
Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle
Dipl. Ing. René Naumann
TU Dresden
Fak. Bauingenieurwesen
Inst. Baubetriebswesen
Nürnberger Str. 31 A
01187 Dresden, Germany
Rainer.Schach@tu-dresden.de
Peter.Jehle@tu-dresden.de
mj@rcs.urz.tu-dresden.de

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 10 3-540-28334-X Springer Berlin Heidelberg New York
ISBN 13 978-3-540-28334-8 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Umschlaggestaltung: medionet AG, Berlin
Satz: Digitale Druckvorlage der Autoren
Herstellung: medionet AG, Berlin

Geleitwort

Die Investitionen sowohl in Bildung und Forschung als auch in die Infrastruktur bestimmen in hohem Maße den Lebensstandard der Menschen eines Landes. Diese mittel- und langfristig wirkenden Investitionen sind Aufgabe der Gemeinschaft aller Menschen eines Staates, somit der Gesellschaft. Deshalb sind die Bildungs-, Forschungs- und Verkehrspolitik besonders wichtige Felder sowohl in der politischen Willensbildung als auch in den Institutionen unserer Verwaltung. Entscheidungen in diesen Bereichen sind oft mit beträchtlichen Ausgaben verbunden und werden entsprechend ausführlich und häufig auch lange diskutiert.

Auch wenn der Verfasser zu den erforderlichen bildungs- und forschungspolitischen Fragen eine dezidierte Meinung hat, soll im Folgenden der verkehrspolitische Aspekt im Vordergrund stehen.

Da nicht nur die Auswirkungen von infrastrukturellen Maßnahmen über einen sehr langen Zeitraum zu spüren sind (im positiven wie im negativen Sinne), sondern auch schon die Umsetzung von infrastrukturellen Entscheidungen einen beträchtlichen Zeitraum umfasst, der sich teilweise über Jahrzehnte erstrecken kann, sind derartige Entscheidungen zunächst sorgfältig abzuwägen, schließlich zu treffen und anschließend im Sinne einer für alle Mitglieder eines Staates erforderlichen Planungssicherheit auch durchzuhalten. Dabei hat sich in den vergangenen 150 Jahren gezeigt, dass es für den Erfolg einer Infrastrukturmaßnahme nicht ausreicht, eine gute Idee zu haben und diese eventuell auch auszuprobieren. Besonders wichtig ist es in diesem Zusammenhang, dass bei einem erwarteten Erfolg die Umsetzung soweit gehen muss, dass in einem Wettbewerb ohne verzerrende Maßnahmen ein Vergleich zwischen neuen und vorhandenen Systemen durchgeführt werden kann.

Die Geschichte ist voll von (positiven und negativen) Beispielen, von denen einige im vorliegenden Buch beschrieben werden. Eine Erfolgsgeschichte handelt von den Hochgeschwindigkeitsfahrten der französischen Eisenbahnen, die am 29. März 1955 mit einer Rekordgeschwindigkeit von 331 km/h einen ersten Höhepunkt erreichte, mit der Geschwindigkeit von 515,3 km/h im Jahr 1990 kulminierte und heute zu einem der besten Hochgeschwindigkeitsnetze der Welt geführt hat. Weniger ruhmreich wurden die Hochgeschwindigkeitsfahrten in Deutschland fortgeführt, die

im Herbst 1903 mit der sensationellen Geschwindigkeit von 210 km/h für Elektrolokomotiven begannen und dann nur sehr zögerlich fortgesetzt wurden. Mittlerweile existiert zwar auch ein Hochgeschwindigkeitsnetz in Deutschland, das allerdings erst deutlich später als in Frankreich entstanden ist und dessen Produkte auf dem Weltmarkt weniger gute Verkaufschancen besitzen als das französische Pendant.

Das zögerliche Verhalten im vergangenen Jahrhundert in Deutschland in Bezug auf hohe Geschwindigkeiten bei der Eisenbahn weist leider Parallelen zu einer anderen Entwicklung auf, die ebenfalls in Deutschland begann, nun aber im Ausland zu wirken beginnt. Gemeint ist der Transrapid.

Im vorliegenden Buch werden Technik, Ökonomie und Ökologie dieses gar nicht so neuen Verkehrssystems beschrieben und mit vorhandenen Systemen verglichen. Nahezu alle Bereiche der Ingenieurwissenschaften werden berührt: der Maschinenbau, die Elektrotechnik und das Bauwesen. Auf allen Gebieten wurden neue Ideen entwickelt, neue und innovative Wege zur Lösung der anstehenden Probleme gefunden und sehr oft völliges Neuland beschritten. In der Bautechnik wurden beispielsweise Fahrbahnträger entwickelt, die die besonderen Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und Verformungsunempfindlichkeit erfüllen.

Eine Umsetzung der Transrapid-Idee in Deutschland würde auf vielen Feldern einen großen Know-How-Vorsprung sichern und ausbauen. Ein Land wie Deutschland, in dem der menschliche Geist die wichtigste Ressource ist, braucht neben der Idee auch die Umsetzung seiner Ideen.

Die Gesellschaft Bautechnik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) unterstützt die Bestrebungen, eine Referenzstrecke für den Transrapid in Deutschland zu bauen, wobei es im Sinne der VDI-Gesellschaft Bautechnik wäre, wenn diese Strecke Teil eines europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes wäre.

Dresden, Juli 2005

Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach
Vorstandsvorsitzender der VDI-Gesellschaft Bautechnik

Vorwort

Seit 2001 findet an der TU Dresden in jährlichem Rhythmus die Dresdner Fachtagung Transrapid statt. Diese Tagung hat sich mittlerweile zu einem Podium entwickelt, auf dem Fachleute, Politiker, leitende Mitarbeiter der Ministerien, Wissenschaftler und alle Interessierten Gelegenheit haben, neueste Entwicklungen zum Transrapid auszutauschen. Die Tagung wurde maßgeblich initiiert von Prof. Dr.-Ing. R. Schach, der an der Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden die Professur Baubetriebswesen inne hat. Prof. Dr.-Ing. P. Jehle ist am selben Institut für die Professur Bauverfahrenstechnik berufen, Herr Dipl.-Ing. R. Naumann ist am Institut für Baubetriebswesen als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

Bereits vor der 1. Dresdner Fachtagung Transrapid gab es an verschiedenen Instituten der TU Dresden, insbesondere an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, vielfältige Aktivitäten zu Hochgeschwindigkeitsbahnen und zum Transrapid. Im Jahr 2003 wurde das „Kompetenzzentrum Hochleistungsbahnen und Magnetbahnsysteme“ gegründet. Dieses Zentrum bietet unterschiedliche Möglichkeiten zur Forschung und Diskussion und steht auch externen Personen und Institutionen offen.

Planung und Bau von Neubautrassen für Hochgeschwindigkeitsverkehrssysteme stellen sehr komplexe Fälle der Projektentwicklung dar. Die Planfeststellung ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden, die Planungs- und Genehmigungszeiträume sind lang. Die Vertragsgestaltung, insbesondere mit den bauausführenden Firmen, kann als vielschichtig und schwierig bezeichnet werden. Alle Stufen der Kostenermittlungen sind mit großen Unsicherheiten verbunden. Die Bauverfahrenstechnik spielt sowohl beim Erdbau, beim Tunnelbau, beim Bau von Großbrücken aber auch bei der Festen Fahrbahn eine bedeutende Rolle. All diese Gebiete sind zentrale Aufgaben des Baubetriebswesens. Es ist somit nur verständlich, dass sich die drei Autoren seit Jahren intensiv mit dem Rad-Schiene-System und dem Transrapid beschäftigen.

Baubetriebliche Fragen können nur dann kompetent beantwortet werden, wenn alle Systemparameter von Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahnen und des Transrapid einbezogen werden. Alle Entscheidungskriterien sind auf vielfältige Weise miteinander verbunden und beeinflussen sich gegenseitig. So stellt sich z. B. die Frage, ob der Transrapid besser in

aufgeständerter oder ebenerdiger Trasse geführt werden soll. Die Entscheidung hat nicht nur Einfluss auf die Baukosten. Noch schwieriger ist die Frage, welches Verkehrssystem das bessere ist. Eine Begrenzung auf eine technisch-wirtschaftliche Fragestellung ist nicht ausreichend, da z. B. auch ökologische, industriepolitische und volkswirtschaftliche Zusammenhänge in die Entscheidung einzubeziehen sind. Nicht zuletzt besteht die Frage, wie eine Entscheidung für oder gegen ein Verkehrssystem fällt.

In den vergangenen Jahren sind einige Veröffentlichungen erschienen, die sich mit der Vorteilhaftigkeit des Transrapid und der Eisenbahn beschäftigt haben. Im Vordergrund standen insbesondere technisch-wirtschaftliche Vergleiche. Viele Aussagen müssen jedoch kritisch hinterfragt werden. Roland Schleier hat in seiner Diplomarbeit erste Antworten auf einen vertieften Vergleich von Transrapid und Eisenbahn gegeben. Die vielen, zum Teil sehr widersprüchlichen Aussagen zur Vorteilhaftigkeit der beiden Verkehrssysteme haben uns bestärkt, eine ingenieurgemäße Antwort auf die Frage nach der gesamtheitlichen Vorteilhaftigkeit zu finden. Aus vielen Gesprächen auch im Zusammenhang mit ihrer Forschungstätigkeit war uns jedoch bekannt, dass viele Sachverhalte nicht eindeutig mit ja und nein, gut und schlecht zu beantworten sind. Persönliche Prägungen sind häufig entscheidend. Trotzdem haben wir uns zum Ziel gesetzt, die Untersuchung so neutral wie möglich durchzuführen.

An dieser Stelle gilt unser Dank Herrn Lehnert vom Springer-Verlag, der unsere Idee, ein Fachbuch über dieses nicht ganz unpolitische Thema zu schreiben, sofort sehr positiv aufgenommen und uns in unserer Arbeit bestärkt hat. Danken möchten wir Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Fengler vom Institut für Verkehrsanlagen, Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Zastrau vom Institut für Mechanik und Flächentragwerke der TU Dresden und Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Stephan vom Institut für Bahntechnik für die angeregten Diskussionen und die vielfältige Unterstützung. Unser Dank gilt außerdem Herrn Dipl.-Ing. D. Rogg, Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Witt und Herrn Dipl.-Ing. R. Kretzschmar für die wertvollen Hinweise und Anregungen.

Besonders bedanken wir uns bei Frau Radloff, die in der zuverlässigen Weise Abbildungen, Tabellen und Verzeichnisse angefertigt und den Satz vorgenommen hat sowie bei Frau Scharmer für die Korrekturlesung. Nicht zuletzt möchten wir uns bei unseren Frauen und Familien bedanken, die besonders in den letzten Wochen sehr viel Geduld aufgebracht haben.

Dresden, Juli 2005

Rainer Schach
Peter Jehle
René Naumann

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	XV
Formelzeichen	XIX
1 Einführung	1
2 Das Rad-Schiene-System	7
2.1 Das Rad-Schiene-Prinzip	8
2.2 Die Bedeutung der Eisenbahn in der Vergangenheit und Zukunft	10
2.3 Geschwindigkeit und Entfernung	17
2.4 Der ICE	19
2.4.1 Der ICE 1	21
2.4.2 Der ICE 2	22
2.4.3 Der ICE 3	24
2.4.4 Der ICE T	27
2.4.5 Weitere Züge.....	28
3 Das Magnetschnellbahn-System	31
3.1 Entwicklung der Magnetschnellbahn.....	31
3.2 Der Antrieb	34
3.2.1 Das Magnetische Feld.....	35
3.2.2 Schweben und Antrieb beim Transrapid.....	41
3.2.2.1 Der Antrieb im Fahrweg	42
3.2.2.2 Das Schweben.....	44
3.2.2.3 Energieversorgung	46
3.3 Die Transrapid-Fahrzeuge	50
3.4 Sonstige Maglev-Fahrzeuge.....	53
4 Die Transrapidprojekte	55
4.1 Die Versuchsanlage im Emsland	56
4.2 Das chinesische Transrapidprojekt in Shanghai	57
4.3 Aufgegebene Projekte	60
4.3.1 Die Strecke Berlin-Hamburg	60
4.3.2 Der Metrorapid in Nordrhein-Westfalen	61

4.4	Planung des Münchener Transrapidprojektes	63
4.5	Transrapidprojekte weltweit	65
5	Technischer Systemvergleich	69
5.1	Der Fahrweg	69
5.1.1	Die Trassierung	69
5.1.1.1	Trassierung im Lageplan beim Rad-Schiene-System	70
5.1.1.2	Die Trassierung im Höhenplan beim Rad-Schiene-System	77
5.1.1.3	Trassierung im Lageplan beim Transrapid	80
5.1.1.4	Trassierung im Höhenplan beim Transrapid	82
5.1.1.5	Trassierungsvergleich der beiden Verkehrssysteme	84
5.1.2	Lichtraumprofile und Fahrbahnquerschnitte	86
5.1.2.1	Lichtraumprofil und Fahrbahnquerschnitt beim Rad-Schiene-System	86
5.1.2.2	Lichtraumprofil und Fahrbahnquerschnitt beim Transrapid	90
5.1.2.3	Flächenbedarf	91
5.1.3	Die konstruktive Ausbildung des Fahrwegs	95
5.1.3.1	Regelausbildung des Fahrwegs beim Rad-Schiene-System	95
5.1.3.2	Regelausbildung des Fahrwegs beim Transrapid	100
5.1.3.3	Weichen	109
5.1.4	Sonderbauwerke	112
5.1.4.1	Dämme und Einschnitte	112
5.1.4.2	Brücken	115
5.1.4.3	Tunnel	124
5.1.4.4	Tröge und Stützkonstruktionen	131
5.1.4.5	Schallschutzkonstruktionen	132
5.1.5	Materialbedarf	134
5.1.6	Verschleiß und Instandhaltung beim Fahrweg	136
5.1.7	Energieversorgung	141
5.2	Fahrzeuge	143
5.2.1	Komfort	144
5.2.2	Transportkapazität	146
5.2.3	Spezifische Gewichte	148
5.2.3.1	Gewicht bezogen auf die Nutzfläche	149
5.2.3.2	Gewicht bezogen auf die Sitzplätze	150
5.3	Antriebsleistung, Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeiten	151
5.3.1	Spezifische Antriebsleistung und Reibungszahlen	151
5.3.1.1	Spezifische Antriebsleistung und Höchstgeschwindigkeiten	151
5.3.1.2	Reibungszahl	154
5.3.2	Beschleunigungsverhalten und Anfahrzeitzuschläge	155
5.3.3	Höchstgeschwindigkeiten	160

5.3.3.1	Rekord-Höchstgeschwindigkeiten	161
5.3.3.2	Erreichbare Höchstgeschwindigkeiten mit seriennahen Zügen ...	161
5.3.3.3	Betriebliche Höchstgeschwindigkeiten.....	161
5.3.3.4	Durchschnittliche Geschwindigkeiten und erreichbare Fahrzeiten	163
5.3.3.5	Anhaltezeiten	170
5.3.4	Strecken- und Fahrwiderstand	171
5.3.4.1	Grundwiderstand beim Rad-Schiene-System	172
5.3.4.2	Magnetisierungswiderstand beim Transrapid	175
5.3.4.3	Luftwiderstand	177
5.3.4.4	Induktiver Widerstand zur Bordenergieerzeugung	181
5.3.4.5	Beschleunigungswiderstand.....	185
5.3.4.6	Tunnelwiderstand.....	185
5.3.4.7	Steigungswiderstand	186
5.3.4.8	Bogen- und Weichenwiderstand.....	187
5.3.4.9	Sonstige Widerstände	187
5.3.4.10	Gesamtfahrwiderstand	187
5.3.5	Der Energieaufwand	191
5.3.5.1	Energieaufwand zum Fahren bei konstanter Geschwindigkeit....	191
5.3.5.2	Energieaufwand je Sitzplatzkilometer	194
5.3.5.3	Energieaufwand je Quadratmeter Nutzfläche und Kilometer.....	196
5.3.5.4	Energierückspeisung	198
5.4	Betriebliche Aspekte.....	201
5.4.1	Netzbildung.....	202
5.4.2	Der Einfluss des Haltestellenabstands	204
5.4.3	Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage.....	206
5.4.4	Zugfolgen.....	209
5.4.5	Beförderungskapazität	210
5.4.6	Kuppelbarkeit von Zügen	211
5.4.6.1	Anzahl benötigter Züge	213
5.4.7	Verschleißverhalten	215
5.5	Ökologische Aspekte	216
5.5.1	Ressourcenverbräuche	216
5.5.2	Schallemissionen	218
5.5.2.1	Gesetzliche Regelungen zum Schallschutz.....	218
5.5.2.2	Physikalische Grundlagen zur Schallemission	220
5.5.2.3	Gemessene Schallemissionen im Vergleich	221
5.5.2.4	Beurteilungspegel	223
5.5.2.5	Beurteilung des Schallschutzes bei Transrapid und Rad-Schiene-System	229
5.5.3	Erschütterungen	231
5.5.4	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder	234

5.6	Sicherheit	238
5.6.1	Kennzahlen zur Sicherheit	238
5.6.2	Beeinflussung der Sicherheit	240
5.6.3	Systembedingte Sicherheit.....	241
5.6.4	Konstruktiv-technische Sicherheit.....	243
5.6.5	Betriebliche und organisatorische Sicherheit.....	246
5.6.5.1	Linienzugbeeinflussung beim Rad-Schiene-System.....	246
5.6.5.2	Betriebsleittechnik beim Transrapid	248
6	Wirtschaftlicher Systemvergleich	251
6.1	Allgemeine Gedanken zum wirtschaftlichen Systemvergleich ...	251
6.2	Methoden der Investitionsrechnung.....	252
6.2.1	Statische Investitionsrechenverfahren	252
6.2.2	Dynamische Investitionsrechenverfahren.....	253
6.2.3	Kosten-Erlös- und Kosten-Nutzen-Rechnung	256
6.2.4	Lebenszykluskostenbetrachtungen	257
6.3	Stufen der Kostenermittlung	258
6.4	Kostenartengliederungen	260
6.5	Grobkennzahlen für die Investitionskosten der Infrastruktur	264
6.6	Streckenbezogene Kostenartengliederung	268
6.6.1	Streckenbezogene Kostenkennzahlen der zweiten Ebene für das Rad-Schiene-System.....	268
6.6.2	Streckenbezogene Kostenkennzahlen der zweiten Ebene für den Transrapid	269
6.7	Kostenkennzahlen für Grobelemente (Dritte Ebene).....	273
6.7.1	Grobelemente für die Kostenermittlung von baulichen Anlagen	274
6.7.1.1	Grobelemente für die Kostenermittlung von baulichen Anlagen für das Rad-Schiene-System	274
6.7.1.2	Grobelemente für die Kostenermittlung von baulichen Anlagen für den Transrapid.....	276
6.7.2	Kostenkennzahlen für die Grobelemente.....	277
6.7.2.1	Stochastische Kostenverteilungen des Fahrwegs für das Rad- Schiene-System.....	279
6.7.2.2	Stochastische Kostenverteilungen für den Fahrweg des Transrapid	283
6.8	Investitionskosten für Fahrzeuge	287
6.8.1	Investitionskosten für ICE-Züge.....	287
6.8.2	Investitionskosten für Transrapid-Züge.....	289
6.9	Betriebskosten.....	291
6.9.1	Betriebskosten beim Rad-Schiene-System	292
6.9.1.1	Pauschale Ansätze für die Instandhaltung beim Rad-Schiene- System.....	292

6.9.1.2	Wartung, Inspektion und Instandhaltung des Gleiskörpers	294
6.9.1.3	Wartung, Inspektion und Instandhaltung der Züge.....	295
6.9.2	Betriebskosten beim Transrapid	296
6.9.2.1	Pauschale Ansätze für die Instandhaltung beim Transrapid	296
6.9.2.2	Wartung, Inspektion und Instandhaltung der Transrapid-Züge ...	297
6.10	Erlöse	298
7	Verkehrspolitischer, volkswirtschaftlicher und industriepolitischer Systemvergleich	301
7.1	Verkehrspolitischer Systemvergleich	301
7.1.1	Mobilität und Verkehr	301
7.1.2	Verkehrspolitik	304
7.1.2.1	Anliegen, Ziele und Aufgaben der Verkehrspolitik.....	304
7.1.2.2	Varianten der Verkehrspolitik	305
7.1.2.3	Nationale und europäische Verkehrspolitik.....	306
7.1.3	Verkehrsentwicklung und Verkehrspolitik im Personenverkehr .	308
7.1.3.1	Rückblick auf die Verkehrsentwicklung.....	308
7.1.3.2	Prognosen zur Verkehrsentwicklung	310
7.1.4	Verkehrspolitische Anforderungen an den Hochgeschwindigkeitsverkehr	312
7.1.4.1	Entwicklungen im Hochgeschwindigkeitsverkehr.....	312
7.1.4.2	Verkehrspolitische Anforderungen.....	313
7.2	Volkswirtschaftlicher Systemvergleich	316
7.2.1	Verkehrswirtschaft als Teil der Volkswirtschaft	316
7.2.2	Volkswirtschaftlicher Nutzen des Verkehrs	318
7.2.2.1	Beschäftigungswirkungen.....	318
7.2.2.2	Wirkungen auf die Raum- und Siedlungsstruktur	321
7.2.3	Volkswirtschaftliche Kosten des Verkehrs	324
7.3	Industriepolitischer Systemvergleich.....	327
7.3.1	Industriepolitische Wirkungen des Verkehrs.....	327
7.3.2	Innovationen und Entwicklungspotenziale im Hochgeschwindigkeitsverkehr	329
7.3.3	Exportchancen im Hochgeschwindigkeitsverkehr.....	330
7.3.4	Auswirkungen auf Arbeitsmarkt und Beschäftigung.....	333
8	Ein gesamtheitlicher Systemvergleich.....	337
8.1	Methodische Ansätze für Bewertungsverfahren	337
8.1.1	Planungs- und Entscheidungsprozesse in der Verkehrsplanung..	337
8.1.2	Kosten-Erlös-Rechnung.....	340
8.1.3	Kosten-Nutzen-Analyse (KNA).....	340
8.1.4	Nutzwertanalyse (NWA)	343
8.1.5	Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)	346

8.2	Angewandte Bewertungsverfahren in der Verkehrswegeplanung	349
8.2.1	Gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik der Bundesverkehrswegeplanung 2003	349
8.2.2	Bewertungsverfahren nach Heimerl	355
8.2.3	Standardisiertes Bewertungsverfahren für den ÖPNV	359
8.3	Weitere Methoden für die Bewertungen.....	363
8.3.1	Bewertungsverfahren für eine nachhaltige Entwicklung	363
8.3.2	Sensitivitätsanalysen.....	365
8.4	Angewandte Bewertungsverfahren für Magnetschnellbahnen	366
8.4.1	Bewertung von Magnetbahnsystemen nach Richtlinien der BVWP.....	366
8.4.2	Szenarioanalyse nach Schellhase.....	368
8.4.3	Technikwirkungsanalyse nach Hübner et al.	370
8.4.4	Machbarkeitsstudie für Magnetschnellbahnstrecken in Bayern und Nordrhein-Westfalen	373
8.5	Entwicklung einer multikriteriellen Methode.....	376
8.5.1	Randbedingungen für den Systemvergleich	376
8.5.2	Methodische Vorgaben für den gesamtheitlichen Systemvergleich.....	378
8.5.3	Klassifikation und Eignung der vorgestellten Verfahren.....	380
8.5.4	Varianten von Nutzwertanalysen.....	382
8.5.5	Grundkonzept der multikriteriellen Methode für den gesamtheitlichen Systemvergleich.....	383
8.6	Ergebnis des gesamtheitlichen Systemvergleichs.....	385
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	393
	Literaturverzeichnis	399
	Schlagwortverzeichnis.....	417