

Produktivitäts- und Effizienz-  
messung im Eisenbahn-  
infrastruktursektor –  
Methodische Grundlagen und  
Schätzung des Produktivitätsfort-  
schritts für den deutschen Markt

Gernot Müller

Bad Honnef, Januar 2009

**WIK Wissenschaftliches Institut für  
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH**

Rhöndorfer Str. 68, 53604 Bad Honnef

Postfach 20 00, 53588 Bad Honnef

Tel 02224-9225-0

Fax 02224-9225-63

Internet: <http://www.wik.org>

eMail [info@wik.org](mailto:info@wik.org)

[Impressum](#)

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>IX</b>
<b>Summary</b>	<b>X</b>
<b>1 Problemstellung und Gang der Untersuchung</b>	<b>1</b>
<b>2 Produktivität und Effizienz im regulierungsökonomischen Kontext des Eisenbahninfrastruktursektors</b>	<b>4</b>
2.1 Terminologie und ökonomische Relevanz des Produktivitäts- und Effizienzbegriffs	4
2.1.1 Produktivitätsniveau	4
2.1.2 Produktivitätsfortschritt und Effizienz	7
2.2 Datenauswahl für die Produktivitäts- und Effizienzmessung	10
2.2.1 Inputs	11
2.2.2 Outputs	14
2.2.3 Berücksichtigung der Qualität	15
2.2.4 Produktivitäts- und Effizienzindikatoren	16
2.2.5 Umweltvariablen	17
2.3 Produktivität und Effizienz im Rahmen der Anreizregulierung	18
2.3.1 Notwendigkeit ordnungspolitischer Maßnahmen und Anreizregulierung	18
2.3.2 Festlegung der X-Faktoren	21
<b>3 Anwendbarkeit von Methoden der Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor</b>	<b>26</b>
3.1 Indizes	26
3.1.1 Einführende Bemerkungen	26
3.1.2 Laspeyres- und Paasche-Index	28
3.1.3 Fisher- und Törnqvist-Index	29
3.1.4 Direkte und indirekte Messung von Mengenindizes	31
3.1.5 Malmqvist-Index	32
3.1.6 Vergleich der Indizes	34

3.2	Datenumhüllungsanalyse	35
3.2.1	Grundsätzliche Erwägungen	35
3.2.2	Inputmengenorientierte Betrachtung	36
3.2.2.1	Einführende Bemerkungen	36
3.2.2.2	Konstante Skalenerträge	38
3.2.2.3	Variable Skalenerträge	40
3.2.3	Outputmengenorientierte Perspektive	41
3.2.4	Bestimmung von Indizes	43
3.2.5	Preisbasierter Ansatz	43
3.2.6	Vorzüge und Nachteile der Datenumhüllungsanalyse	45
3.3	Parametrische Verfahren	46
3.3.1	Vorbemerkungen	46
3.3.2	Produktivitätsmessung mit Produktions- oder Kostenfunktionen	47
3.3.3	Kleinste-Quadrate-Methoden	48
3.3.3.1	Grundform der Methode der kleinsten Quadrate	48
3.3.3.2	Korrigierte Methode der kleinsten Quadrate	50
3.3.3.3	Modifizierte Methode der kleinsten Quadrate	51
3.3.4	Stochastische Effizienzgrenzenanalyse	52
3.3.4.1	Grundstruktur	52
3.3.4.2	Vorzüge und Nachteile	54
3.4	Zwischenfazit zur Methodenwahl im Hinblick auf die geplante Anreizregulierung	54
<b>4</b>	<b>Empirische Schätzungen zur Produktivität und Effizienz des Eisenbahnsektors</b>	<b>57</b>
4.1	Methodische Ansätze und Ergebnisse ausgewählter Studien	57
4.1.1	Globale Produktivitäts- und Effizienzvergleiche	57
4.1.2	Europaweites Benchmarking von Eisenbahnunternehmen	58
4.1.3	Großbritannien, Irland, Belgien und Schweiz	61
4.1.4	Vereinigte Staaten und Kanada	63
4.1.5	Australien und Japan	66
4.1.6	Zwischenfazit	67

4.2	Produktivität und Effizienz in der britischen Entgeltregulierungspraxis	68
4.2.1	Access Charges Review 2000	68
4.2.2	Access Charges Review 2003	72
4.2.3	Access Charges Review 2008	77
4.2.4	Zwischenfazit	83
4.3	Empirische Ermittlung eines generellen X-Faktors für den deutschen Eisenbahnsektor	83
4.3.1	Schätzungen auf der Basis der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen	84
4.3.1.1	Produktivitätsdifferential	85
4.3.1.2	Inputpreisdifferential	93
4.3.1.3	Genereller X-Faktor	95
4.3.2	Bestimmung technischer Produktivitäten auf der Basis von Daten der Deutsche Bahn Netz AG	96
4.3.3	Diskussion der Ergebnisse	98
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen zur methodischen Ableitung der X-Faktoren</b>	<b>99</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>104</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Inputmengenorientierte Malmqvist-DEA mit CRS	33
Abbildung 2:	Skalenerträge und DEA	38
Abbildung 3:	Inputmengenorientierte DEA mit CRS	39
Abbildung 4:	Inputmengenorientierte DEA mit VRS	40
Abbildung 5:	Outputmengenorientierte DEA mit CRS	42
Abbildung 6:	Kosteneffizienz bei inputorientierter DEA mit CRS	44
Abbildung 7:	Grundform der Methode der kleinsten Quadrate	49
Abbildung 8:	Korrigierte und Modifizierte Methode der kleinsten Quadrate	51
Abbildung 9:	Stochastische Effizienzgrenzenanalyse	53
Abbildung 10:	Gesamtwirtschaftlicher TFP-, Output- und Inputindex	88
Abbildung 11:	Veränderung der gesamtwirtschaftlichen TFP, Kapital- und Arbeitsproduktivität	89
Abbildung 12:	TFP-, Output- und Inputindex im Eisenbahnsektor	91
Abbildung 13:	Veränderung von TFP, Kapital- und Arbeitsproduktivität im Eisenbahnsektor	92
Abbildung 14:	Gesamtwirtschaftliche Erzeugerpreise, Stundenlöhne und Inputpreise	93
Abbildung 15:	Erzeugerpreise, Stundenlöhne und Inputpreise im Eisenbahnsektor	94

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Berechnung der TFP mit Daten aus den VGR	86
Tabelle 2:	Eingangsdaten zur Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsentwicklung	87
Tabelle 3:	Eingangsdaten zur Bestimmung des Produktivitätsfortschritts im Eisenbahnsektor	90
Tabelle 4:	Produktivitätsdifferential (in %)	92
Tabelle 5:	Kapitalpreis-, Lohn- und Inputpreisdifferential (in %)	95
Tabelle 6:	Kennzahlen der Deutsche Bahn Netz AG und technische Produktivitäten	97

## Abkürzungsverzeichnis

AE	allokative Effizienz
AG	Aktiengesellschaft
AMCL	Asset Mangement Consulting Ltd
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BSP	Bruttosozialprodukt
Btm	Bruttotonnenmeilen
bzw.	beziehungsweise
CE	Kosteneffizienz
CEPA	Cambridge Economic Policy Associates
CIÉ	Córas Iompair Éireann
CN	Canadian National
COLS	Corrected Ordinary Least Squares
CP	Canadian Pacific, Control Period
CPI	Consumer Price Index
CRS	Constant Returns to Scale
DEA	Data Envelopment Analysis
d.h.	das heißt
DOLS	Displaced Ordinary Least Squares
EG	Europäische Gemeinschaft(en)
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
f., ff.	folgende Seiten(n)
GB	Great Britain
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
ITS	Institute for Transport Studies
km	Kilometer
ln	logarithmus naturalis
Ltd	Limited
max	maximiere
min	minimiere
Mio.	Millionen
ML	Maximum Likelihood
MOLS	Modified Ordinary Least Squares
Mrd.	Milliarden

NDRS	Non-Decreasing Returns to Scale
NE	Nichtbundeseigene Eisenbahnen
NERA	National Economic Research Associates
NIRS	Non-Increasing Returns to Scale
Ntm	Nettotonnenmeilen
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OLS	Ordinary Least Squares
OPEX	Operating/Operational Expenditure/Expense
ORR	Office of the Rail Regulator, Office of Rail Regulation
PIN	Price-based Index Numbers
Pm	Personenmeilen
QIN	Quantity Index Numbers
RPI	Retail Price Index
RUOE	Real Unit Operating Expenses
RUTC	Real Unit Total Costs
SE	Skaleneffizienz
SFA	Stochastic Frontier Analysis
sog.	so genannte
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SRA	Strategic Rail Authority
s.t.	subject to
SURE	Seemingly Unrelated Regression
TE	technische Effizienz
TF	technischer Fortschritt
TFP	Total Factor Productivity
TOC	Train Operating Companies
TPP	Total Price Performance
TTCI	Transportation Technology Center, Inc.
u.a.	unter anderem, und andere
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
US	United States
vgl.	vergleiche
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen
VRS	Variable Returns to Scale
WNR	WestNet Rail
z.B.	zum Beispiel



## Zusammenfassung

Die Bundesnetzagentur hat am 26. Mai 2008 ihren Abschlussbericht zur Einführung einer Anreizregulierung im Eisenbahnsektor vorgelegt. Ein zentrales Element der geplanten Price-Cap-Formel ist der X-Faktor, der den allgemeinen Produktivitätsfortschritt und spezifische Effizienzsteigerungspotentiale abbilden soll, wobei eine Unterscheidung in mehrere Unternehmensgruppen und Produktkörbe geplant ist. Hieraus folgt die Notwendigkeit, praxistaugliche Konzepte zur Kalkulation genereller und individueller X-Faktoren für verschiedene Eisenbahninfrastrukturunternehmen und -teilmärkte zu entwickeln. Dies bedingt vor allem konkrete Überlegungen zur Auswahl geeigneter Variablen und Daten sowie zur methodischen Vorgehensweise. Außerdem sind empirische Studien auszuwerten, ausländische Regulierungserfahrungen zu analysieren und Berechnungen zu einem generellen X-Faktor für Deutschland anzustellen.

Für die Bestimmung der Produktivitätsveränderung sollten Indexzahlen verwendet und auf aggregierte Daten des Sektors zurückgegriffen werden. Empfehlenswert ist dabei zumindest in der Anfangsphase die Nutzung des Törnqvist-Index zur Ermittlung einer totalen Faktorwertproduktivität und ggf. ergänzend partieller Produktivitäten. Auf lange Sicht können auch die Malmqvist-DEA und eine ökonometrische Schätzung von Produktions- oder Kostenfunktionen Berücksichtigung finden. Bezüglich der Messung der relativen Effizienzniveaus sind die parametrische Datenumhüllungsanalyse und/oder die nicht-parametrische Stochastische Effizienzgrenzenanalyse auf der Basis von Translog-Funktionen zu bevorzugen; bei der Auswahl muss eine Abwägung anhand verschiedener Kriterien getroffen werden. Inputmengen- oder kostenbasierte Ansätze sollten gegenüber einer Output-, Erlös- oder Gewinnorientierung bevorzugt werden.

Ein solches methodisches Vorgehen wird auch durch die Auswertung der bisher durchgeführten Studien zur Produktivitätsentwicklung und zum Effizienzniveau im Eisenbahnmarkt gestützt; allerdings gibt es kaum spezifische Aussagen zum Eisenbahninfrastruktursektor. Angesichts der oftmals noch unzureichenden Datenverfügbarkeit sollten außerdem – wie vom britischen Eisenbahnregulierer praktiziert – unternehmensinterne Vergleiche, externe Benchmarkings mit anderen Sektoren und/oder Staaten sowie ingenieurwissenschaftliche Bottom-up-Analysen und -Kostenmodelle implementiert werden.

Die bisher durchgeführten empirischen Studien ermittelten für den Eisenbahnsektor ein jährliches Produktivitätswachstum von durchschnittlich 0 bis 3 %. Die vom Autor vorgenommenen Berechnungen für den deutschen Eisenbahnsektor auf der Basis von Daten der VGR und der Deutsche Bahn AG führten zu Werten von 0,08 % ( $X_{\text{gen}} = -0,16 \%$ ) bzw. 3,04 % ( $X_{\text{gen}} = 2,80 \%$ ). Angesichts der notwendigen Annahmen und bestimmter Einschränkungen an die Datenverfügbarkeit und -verlässlichkeit sind die Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Sieht man von einem externen Benchmarking ab, so sind Schätzungen zum Niveau bzw. zum unternehmensbezogenen Aufholpotential bei der Effizienz aufgrund fehlender Daten für Deutschland zurzeit nicht möglich.

## Summary

On 26 May 2008, the German Federal Network Agency presented its final report on the introduction of an incentive regulation in the rail sector. A central element of the price-cap formula is the so called X factor, portraying common productivity change and potentials for efficiency improvement. In this context, it is intended to distinguish some categories of companies and service baskets. This necessitates the deployment of applicable concepts for the calculation of general and individual X factors for distinct rail infrastructure managers and market segments. For that purpose, proper variables and data as well as suitable methodologies have to be considered definitely. In addition, empirical studies are to be interpreted, regulatory experience is to be analyzed, and computations of a general X factor for the German rail market are to be executed.

Concerning the determination of productivity change, the use of index numbers and aggregated sector data is recommended. At first stage, it is advised to apply the Tornqvist productivity index to deduce total factor productivity. In the long run, the Malmquist data envelopment analysis and econometric estimations of production and cost functions can also be an alternative. To measure relative efficiency levels a parametric data envelopment analysis and/or a non-parametric stochastic frontier analysis with translog functions are preferred. The choice between these methods must be based on an assessment of several criteria. Input or cost related approaches are favoured compared to output, revenue or profit oriented techniques.

These proposals for a qualified methodology are corroborated by the results of previous empirical studies on productivity change and efficiency catch-up in the rail sector. Unfortunately, little relevant statements on the rail infrastructure market are possible. In the face of the poor availability of data, internal comparisons, external benchmarking with other economic sectors and other countries, as well as bottom-up engineering and cost models should be implemented, as it has been shown by the British ORR with regard to Railtrack and Network Rail.

Most of the former empirical studies for the rail transport sector deduced an annual productivity growth rate of 0 to 3 per cent on average. Using data of the national accounting and of business reports of Deutsche Bahn AG, calculations of this study for the German rail sector lead to results of 0.08 per cent (general X factor of -0.16 per cent), and 3.04 per cent (general X factor of 2.80 per cent) respectively. Due to the assumptions made and certain limitations of data disposability and reliability, the outcomes must be interpreted with caution. Putting aside external benchmarking, estimations on the efficiency level and the company related potential for efficiency improvement in the German rail sector are currently impossible owing to lacking data.

## 1 Problemstellung und Gang der Untersuchung

Am 26. Mai 2008 legte die Bundesnetzagentur ihren Abschlussbericht zur Einführung einer Anreizregulierung im Eisenbahnsektor (revidierte Fassung) vor. Ein wesentliches Element der geplanten Price-Cap-Formel, mit deren Hilfe das gewichtete Niveau der Infrastrukturnutzungsentgelte begrenzt werden soll, ist neben dem sektorspezifischen Inputpreisindex der sog. X-Faktor, der den zukünftigen Produktivitätsfortschritt und das Effizienzaufholpotential abbilden soll. Dabei ist zu beachten, dass sowohl eine Unterscheidung in mehrere Unternehmensgruppen (Eisenbahninfrastrukturunternehmen der Deutsche Bahn AG, wettbewerbsrelevante sonstige Eisenbahninfrastrukturunternehmen) als auch eine Differenzierung in Produktkörbe (Schienenwege des Personennah-, Personenfern- und Güterverkehrs; Personenbahnhöfe; sonstige Serviceeinrichtungen) vorgesehen ist. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, generelle und individuelle X-Faktoren für verschiedene Unternehmen und Teilmärkte zu berechnen.<sup>1</sup>

Der Entwicklung der Produktivität und Effizienz kommt sowohl auf volkswirtschaftlicher wie auch auf Unternehmensebene eine zentrale Bedeutung zu. So wird auf der einen Seite der Wohlstand einer Gesellschaft maßgeblich von der gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsentwicklung bestimmt. Auf der anderen Seite entscheiden Produktivität und Effizienz eines Unternehmens maßgeblich über dessen Chancen im (intermodalen) Wettbewerb. Sofern ein Unternehmen mit einem Input nur einen Output erzeugt, ist die Bestimmung der Produktivität und Effizienz kein Problem; die Frage beantwortet der einfache Quotient aus Output und Input. Sobald es sich aber um einen komplexeren Produktionszusammenhang handelt, bei dem mehrere Inputs der Erstellung verschiedener Outputs dienen, erschwert dies die Analyse erheblich.

Bisher gibt es für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor keine konkreten Überlegungen zu den Datenquellen, zur Auswahl und Überprüfung der Daten, zur Berechnungsmethodik und zu konkreten Werten für die X-Faktoren. Hinsichtlich der Messung von Produktivität und Effizienz existieren im Allgemeinen drei Ansätze: die Verwendung von Indizes sowie nicht-parametrische und parametrische Verfahren. Während die letzten beiden Methoden Unternehmensdaten erfordern, gelangen Indexzahlen auch bei höher aggregierten Informationen (z.B. auf Sektor- oder gesamtwirtschaftlicher Ebene) zumeist im Rahmen der Produktivitätsbestimmung zur Anwendung.

In Abhängigkeit davon, ob zur Ermittlung der Produktivität, vor allem aber der Effizienz Annahmen an die Produktions- oder Kostenfunktion notwendig sind, lassen sich die beiden auf Unternehmensdaten basierenden Ansätze in nicht-parametrische und parametrische Verfahren unterteilen. Die am häufigsten verwendete nicht-parametrische

---

<sup>1</sup> Diese Unterscheidung steht nicht im Widerspruch zum Konzept der Bundesnetzagentur, die nur einen X-Faktor – differenziert nach Unternehmensgruppen und Körben – bestimmen will. Die Bildung verschiedener Unternehmensgruppen sowie die getrennte Begutachtung von allgemeinem Produktivitätsfortschritt und spezifischem Effizienzaufholpotential weist auf ein Verfahren hin, wie es auch in dieser Arbeit favorisiert wird.

Methode ist die Datenumhüllungsanalyse, bei der die Effizienzgrenze durch eine Linearkombination der effizientesten Unternehmen definiert wird. Analytisch erfolgt die Ableitung der optimalen Produktionsmöglichkeitskurve mit Hilfe der Linearen Programmierung. Bei parametrischen Verfahren bilden Annahmen über die Produktions- oder Kostenfunktion die Basis für die individuelle Einschätzung der Effizienz einzelner Unternehmen. Die exakte funktionale Form ist jedoch in der Regel nicht bekannt, so dass sie im Rahmen empirischer Untersuchungen aus den beobachteten Daten geschätzt werden muss. Zu den parametrischen Modellen zählen insbesondere die Regressionsmethoden mit den verschiedenen Varianten der Kleinste-Quadrate-Schätzungen und die Stochastische Effizienzgrenzenanalyse. Sie zerlegt den Störterm der Regressionsgleichung in zwei stochastische Zufallsvariablen, nämlich eine normalverteilte Komponente für Messfehler und andere Zufallseinflüsse sowie eine Restkomponente, die die Ineffizienz des oder der betrachteten Unternehmen zum Ausdruck bringt.

Sowohl die Datenumhüllungsanalyse als auch die parametrischen Regressionsansätze benötigen zur Ableitung eindeutiger Produktivitäts- und Effizienzaussagen eine möglichst große Anzahl an Unternehmensdaten, idealerweise mit Beobachtungen über einen längeren Zeitraum. Die Größe der Datenbasis korreliert dabei positiv mit der Güte der Untersuchung. Benötigt werden physische oder monetäre Daten zu den ausgewählten Input- und Outputvariablen sowie Festlegungen zum Qualitätsniveau und den Umweltvariablen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen diese Daten oftmals überhaupt nicht oder nicht im notwendigen Umfang vor. Für die Betrachtung der Produktivität und Effizienz über die Zeit dürfte es zudem in absehbarer Zeit sehr schwierig sein, einen aussagekräftigen Paneldatensatz auf Unternehmensebene zu erhalten.

Einen praktikablen Ausweg, um zumindest den allgemeinen Produktivitätsfortschritt der zu regulierenden Unternehmen bestimmen zu können, stellen vor diesem Hintergrund die Indizes dar. Sie lassen sich aus dem einfachen Output-Input-Quotienten ableiten und können auf aggregierte Daten auf Sektorebene zurückgreifen. Für die Produktivitäts- und Effizienzbestimmung bietet sich darüber hinaus ein externes Benchmarking mit anderen (Netz-)Sektoren und/oder anderen Staaten an; aufgrund der Datenlage befassen sich eisenbahnspezifische Untersuchungen bisher aber nur sehr selten speziell mit dem Infrastruktursegment. Als weitere Alternative vorstellbar ist die Entwicklung analytischer Kostenmodelle für den Eisenbahninfrastruktursektor.

Ziel des Diskussionsbeitrags ist es insbesondere, die Geeignetheit verschiedener Methoden für die Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor zu beurteilen, die bisherigen eisenbahnbezogenen Studien und die britische Regulierungspraxis zu analysieren, eine empirische Schätzung des generellen X-Faktors für den deutschen Eisenbahninfrastrukturmarkt vorzunehmen und im Hinblick auf die Einführung der Price-Cap-Regulierung praxisrelevante Empfehlungen abzuleiten. In diesem Zusammenhang wurde für die Untergliederung des Bearbeitungsthemas ein vierstufiger Aufbau gewählt. Das nachfolgende Kapitel 2 befasst sich mit der Funktion der Produktivität und der Effizienz im regulierungsökonomischen Kontext des Eisenbahninf-

rastruktursektors. Dabei werden die beiden Konzepte definiert und erklärt sowie ihre ökonomische Relevanz erläutert, Fragen der geeigneten Datenauswahl diskutiert und eine Einordnung der geplanten Anreizregulierung vorgenommen. Kapitel 3 stellt die verschiedenen methodischen Ansätze zur Produktivitäts- und Effizienzmessung vor und untersucht sie auf ihre Anwendbarkeit im Eisenbahninfrastruktursektor. Eingegangen wird auf die Indizes, die Datenumhüllungsanalyse und verschiedene parametrische Verfahren.

Das vierte Kapitel ist den empirischen Produktivitäts- und Effizienzschätzungen für den Eisenbahnsektor gewidmet. Dies beinhaltet die Auswertung bisheriger Studien, die Begutachtung der britischen Regulierungspraxis und die Ermittlung des generellen X-Faktors für den deutschen Eisenbahnmarkt anhand zweier alternativer Methoden und Datensätze; detaillierte Analysen zum Effizienzniveau bestimmter Eisenbahninfrastrukturunternehmen (z.B. auf der Basis von UIC-Daten) sind trotz ihrer zweifellos großen Bedeutung für die Bestimmung des individuellen X-Faktors nicht Bestandteil dieser Studie. Kapitel 5 fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen und gibt Empfehlungen zur Ausgestaltung der Anreizregulierung des deutschen Eisenbahninfrastrukturmarktes ab.

## 2 Produktivität und Effizienz im regulierungsökonomischen Kontext des Eisenbahninfrastruktursektors

Das zweite Kapitel befasst sich mit der Bedeutung der Produktivität und Effizienz im Rahmen der Regulierung von Zugangsentgelten. Abschnitt 2.1 dient einleitend der Klärung des Produktivitäts- und Effizienzbegriffs und arbeitet die ökonomische Relevanz dieser Konzepte heraus. In Abschnitt 2.2 werden zentrale Fragestellungen der Variablen- und Datenauswahl angesprochen. Thema von Abschnitt 2.3 ist die Einbettung der Produktivitäts- und Effizienzmessung in die geplante Anreizregulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten.

### 2.1 Terminologie und ökonomische Relevanz des Produktivitäts- und Effizienzbegriffs

Im Zusammenhang mit der Operationalisierung der Produktivitäts- und Effizienzkonzepte ist es einleitend notwendig, deren ökonomische Bedeutung zu verdeutlichen sowie verschiedene begriffliche Abgrenzungen zu diskutieren und deren Vorzüge bzw. Nachteile aufzuzeigen. Entscheidend für die Auswahl der Maßgrößen für die Produktivität bzw. Effizienz sind dabei zwei Kriterien. Sie müssen diesbezüglich eine hinlängliche Aussagekraft besitzen, und die für die Berechnung notwendigen Daten müssen verfügbar sein bzw. sich mit vertretbarem Aufwand erheben lassen.

#### 2.1.1 Produktivitätsniveau

Produktivität ist definiert als das Verhältnis einer oder mehrerer Outputgröße(n) zu einer oder mehreren Inputgröße(n).<sup>2</sup> Basiert die Berechnung allein auf Mengenangaben, so spricht man von *technischer oder physischer Produktivität*. Sofern ein Unternehmen mit nur einem Input  $x$  einen Output  $y$  erzeugt, erfolgt die Produktivitätsbestimmung also über den Durchschnittsertrag bzw. das Durchschnittsprodukt:

$$(2-1) \quad \text{Technische Produktivität} = \frac{y}{x}$$

$x$  Menge des Produktionsfaktors (Input)

$y$  Menge des Produktes (Output)

Obwohl es eher ungebrauchlich ist, können technische Produktivitäten auch für den Mehrproduktfall ermittelt werden. Hierbei ist jedoch zu vereinbaren, wie die Mengen der

---

<sup>2</sup> Zur Messung von Produktivitätsniveaus vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 62ff.).

verschiedenen Outputs bzw. Inputs zu gewichten sind. In Gleichung (2-2) ist eine Möglichkeit für den Fall der Erzeugung eines Outputs durch mehrere Inputs dargestellt.

$$(2-2) \quad \text{Technische Produktivität} = \frac{y}{\prod_{k=1}^K x_k^{\alpha_k}} \quad \text{mit} \quad \sum_{k=1}^K \alpha_k = 1 ,$$

wobei die  $\alpha_k$  die sog. Substitutionselastizitäten<sup>3</sup> bezeichnen. Da diese nur schwer bestimmbar sind, werden an ihrer Stelle in der Praxis häufig die Anteile der inputspezifischen Kosten an den Gesamtkosten verwendet.

Alternativ können die Output- bzw. Inputmengen mit Wertgrößen, d.h. im Allgemeinen mit den jeweiligen Preisen multipliziert und ins Verhältnis gesetzt werden. In diesem Fall spricht man von einer *Wertproduktivität*. Für den Einproduktfall ist diese also gemäß Gleichung (2-3) zu berechnen.

$$(2-3) \quad \text{Wertproduktivität} = \frac{p \cdot y}{w \cdot x}$$

w      Preis des Produktionsfaktors (Input)

p      Preis des Produktes (Output)

Wertproduktivitäten werden jedoch überwiegend dann herangezogen, wenn mit mehreren Inputs mehrere Outputs erstellt werden. Betrachtet man einen solchen Produktionsplan, so müssen die mengenbezogenen Größen auf jeden Fall gewichtet werden, um sie in eindimensionale Größen umzuwandeln und vergleichbar zu machen. Theoretisch ideal wäre eine Gewichtung der Outputs mit den Kostenelastizitäten<sup>4</sup> und der Inputs mit den Substitutionselastizitäten; beide Größen sind jedoch kaum zu ermitteln. Die Multiplikation der Output- und Inputmengen mit den zugehörigen Preisen und die nachfolgende Aufsummierung, d.h. die Kalkulation des Gesamterlöses und der Gesamtkosten, ist deshalb wiederum eine praktische Option.

$$(2-4) \quad \text{Wertproduktivität} = \frac{\sum_{j=1}^J p_j \cdot y_j}{\sum_{k=1}^K w_k \cdot x_k}$$

Dabei können entweder die tatsächlich beobachtbaren Marktpreise, respektive die Erlös- oder Kostenanteile, oder die aus einem Optimierungsverfahren abgeleiteten Schattenpreise genutzt werden. Schattenpreise bewerten marginale Einheiten von Inputs

<sup>3</sup> Die Substitutionselastizität gibt die prozentuale Veränderung des Mengeneinsatzverhältnisses zweier Inputs in Bezug auf die prozentuale Variation des entsprechenden Inputpreisverhältnisses an.

<sup>4</sup> Die Kostenelastizität beschreibt die prozentuale Veränderung der Kosten im Verhältnis zu einer prozentualen Variation der Inputeinsatzmengen.

bzw. Outputs; ihr Verhältnis entspricht der Grenzrate der technischen Substitution bei Inputs bzw. der Grenzrate der technischen Transformation bei Outputs. Im Weiteren wird jedoch von der Identität dieser beiden Konzepte ausgegangen, da die Datenlage oftmals keine Unterscheidung zulässt.

Die Verwendung von Marktpreisen setzt allerdings voraus, dass der Eisenbahninfrastrukturmarkt durch vollständige Konkurrenz gekennzeichnet ist, was angesichts der Existenz von natürlichen Monopolen bzw. von Marktmachtpotentialen sowie politischer und regulatorischer Intervention in der Praxis nicht gegeben ist. Außerdem führt eine Preisgewichtung – in Abhängigkeit von der Richtung der Outputveränderung – bei zunehmenden Skalenerträgen und Dichtevorteilen zu einer Über- oder Unterschätzung der Produktivitätsentwicklung. Schließlich ergibt sich ein weiteres Problem für den Fall, dass bei einem Produktivitätsvergleich zwischen verschiedenen Unternehmen unterschiedliche Output- und Inputpreise existieren.

Neben der Unterscheidung in technische Produktivitäten und Wertproduktivitäten ist auch eine Differenzierung in partielle und totale Faktorproduktivität von grundlegender Bedeutung. Wird der Output nur zu einem einzigen Input in Relation gesetzt, so bezeichnet man dies als *partielle Faktorproduktivität*. Sie wird überwiegend als technische Produktivität gemessen, so z.B. als Arbeitsproduktivität (Output per Arbeitskraft bzw. -stunde) oder als Kapitalproduktivität.

Als Vorteile von partiellen Produktivitätsmaßen gelten die einfache Berechnung und Interpretation, die geringen Datenanforderungen, die differenzierte Darstellung der Gründe für den Produktivitätsfortschritt sowie ihre Eignung für Vergleiche ähnlicher Unternehmen und bei stabilen Umweltbedingungen. Allerdings ist die Anwendung auf regulierungsökonomische Fragestellungen aus mehreren Gründen problematisch, da partielle Produktivitäten die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens oder Sektors nur unzureichend abbilden und fehlerhaften Schlussfolgerungen Vorschub leisten. Typischerweise werden nämlich bei der Leistungserstellung mehrere Inputs und Outputs eingesetzt. Bei einer starken Substituierbarkeit von Arbeit und Kapital können dann die Entwicklung der Gesamtproduktivität und der partiellen Produktivitäten deutlich auseinander fallen. So nimmt z.B. die Arbeitsproduktivität zu, falls der Faktor Arbeit durch Kapital ersetzt oder die Aktivitäten arbeitsintensiver Unternehmenseinheiten ausgelagert werden (Outsourcing); die Gesamtproduktivität ändert sich zumeist jedoch nur wenig. Regulierte Unternehmen haben also die Möglichkeit, für die Preisregulierung relevante partielle Produktivitäten in ihrem Sinne zu beeinflussen. Zudem steigt der Arbeitseinsatz gesamtwirtschaftlich nicht mit der gleichen Rate wie der gesamte Faktoreinsatz; die Arbeitsproduktivität ist somit tendenziell höher als die Gesamtproduktivität. Schließlich sind partielle Produktivitäten ungeeignet für einen Vergleich von Unternehmen, wenn diese nicht die gleiche Technologie verwenden und/oder wenn sie eine unterschiedliche Größe haben.



Vorteilhaft für die Ermittlung der Produktivität ist deshalb die Nutzung der *totalen Faktorproduktivität* (TFP) bzw. der Mehrfaktorproduktivität als Indikator. Hierbei wird ein Output bzw. werden mehrere Outputs zu mehreren Inputs ins Verhältnis gesetzt. Die TFP bezeichnet dann das Verhältnis der aggregierten Outputs zu den aggregierten Inputs. Unter Berücksichtigung der Differenzierung in technische und Wertproduktivitäten ergeben sich folgende Berechnungsalternativen:

- Im Allgemeinen werden die in Gleichung (2-4) beschriebenen Wertproduktivitäten genutzt.
- Hilfsweise können auch die Durchschnitts- bzw. Stückkosten herangezogen werden. Diese ergeben sich bei der Verwendung einer beliebigen Anzahl an Inputs und der Erstellung eines Outputs aus der Gleichung (2-5):

$$(2-5) \quad \text{Durchschnitts- bzw. Stückkosten} = \frac{C(y)}{y}$$

Die Durchschnittskosten lassen sich also Kehrwert eines Produktivitätsmaßes interpretieren, das bezüglich der Inputs wertmäßig und hinsichtlich des Outputs in physischen Größen ausgedrückt wird.

- Schließlich kann wie in Gleichung (2-2) auch eine technische TFP berechnet werden.

Die TFP gewährleistet eine umfassendere Darstellung der Produktionsbeziehungen, berücksichtigt auch Substitutionseffekte zwischen Inputs, falls sich die Inputpreise verändern, und ist somit für die Fundierung von Regulierungsentscheidungen besser geeignet. Allerdings ist die Berechnung von TFP sehr viel aufwändiger als von partiellen Produktivitäten.

### 2.1.2 Produktivitätsfortschritt und Effizienz

Produktivitäts- und Effizienzmaße können nicht nur dafür genutzt werden, um das zu einem bestimmten Zeitpunkt geltende Niveau zu bestimmen bzw. um einen diesbezüglichen Vergleich zwischen Gesamtwirtschaften, Sektoren, Unternehmen oder Unternehmenseinheiten vorzunehmen (statische Betrachtung). Entscheidender für die Festlegung eines X-Faktors im Rahmen der anreizorientierten Entgeltregulierung ist vor allem der *Produktivitätsfortschritt* bzw. die *Effizienzverbesserung* über die Zeit (dynamische Betrachtung).<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Zur Messung des Produktivitätsfortschritts vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 64ff.).

Für den Fall einer rein mengenbezogenen Betrachtung mit einem Input und einem Output wird die Veränderung der Produktivität zwischen zwei Perioden  $t-1$  und  $t$  durch den Hicks-Moorsteen-Index gemäß Gleichung (2-6) beschrieben:

$$(2-6) \quad \text{Produktivitätsveränderung} = \frac{y_t / x_t}{y_{t-1} / x_{t-1}} = \frac{y_t / y_{t-1}}{x_t / x_{t-1}}$$

Alternativ können natürlich auch die durch die Outputpreise dividierten Erlöse  $R$  und die durch die Inputpreise geteilten Kosten  $C$  herangezogen werden:

$$(2-7) \quad \text{Produktivitätsveränderung} = \frac{R_t / R_{t-1}}{p_t / p_{t-1}} \bigg/ \frac{C_t / C_{t-1}}{w_t / w_{t-1}}$$

Bei mehreren Inputs und Outputs erfolgt gemäß Gleichung (2-8) wiederum eine Bewertung mit den jeweiligen Preisen respektive den Kosten- bzw. Erlösanteilen. Eine weitergehende Analyse des Gewichtungaspekts bzw. der Auswahl der  $p_j$  und  $w_k$  wird im Rahmen der Diskussion der verschiedenen Indexkonzepte in Abschnitt 3.1 vorgenommen.

$$(2-8) \quad \text{TFP-Veränderung} = \frac{\sum_{j=1}^J p_j \cdot y_{j,t}}{\sum_{j=1}^J p_j \cdot y_{j,t-1}} \bigg/ \frac{\sum_{k=1}^K w_k \cdot x_{k,t}}{\sum_{k=1}^K w_k \cdot x_{k,t-1}}$$

Theoretisch einwandfrei ist eine solche Preisgewichtung allerdings nur unter bestimmten restriktiven Bedingungen: Die Inputmengen sind kurzfristig beliebig variierbar und Ergebnis einer Kostenminimierung; der Outputpreis entspricht den Grenzkosten, bzw. der prozentuale Aufschlag auf die Grenzkosten ist bei allen Outputpreisen identisch; die Rentabilität ist in allen betrachteten Perioden gleich.

Die TFP-Veränderung bezeichnet denjenigen Teil des Outputwachstums, der nicht aufgrund des Wachstums der Einsatzmengen der Produktionsfaktoren erklärt werden kann. Es wird also beschrieben, wie durch eine optimale Kombination der Inputfaktoren der Output gesteigert werden kann, ohne dass sich die Einsatzmengen der Produktionsfaktoren erhöhen. Für eine Veränderung der Produktivität gibt es dabei folgende Gründe, die jedoch nicht immer eindeutig identifiziert werden können:<sup>6</sup>

- Eine wesentliche Ursache ist die Veränderung der *gesamtwirtschaftlichen Effizienz*, die sich aus der allokativen, der technischen und der qualitativen Effizienz zusammensetzt:

---

<sup>6</sup> Vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 74ff.).

- In *statischer Hinsicht* bezieht sich das Prinzip der *allokativen Effizienz* auf die Input-, Output- und Preisstruktur, d.h. bezüglich der Eisenbahninfrastruktur auf die Trassenvergabe und die Infrastrukturnutzung. Allokative Effizienz ist dann verwirklicht, wenn das Verhältnis der Outputpreise dem Verhältnis der (sozialen) Grenzkosten entspricht. Ist die Zahlungsbereitschaft mindestens so hoch wie der Grenzkostenpreis, so wird ein Eisenbahnverkehrsunternehmen die Vorleistung nachfragen; bei Engpässen kommt der Nutzer mit der höchsten Zahlungsbereitschaft zum Zuge. Zum einen wird auf diesem Wege der optimale Nutzungsumfang bestimmt, zum anderen erfolgt die bestmögliche Allokation der Kapazitäten zwischen verschiedenen Nutzern, d.h. eine Koordinierung der konkurrierenden Wünsche durch die Signalisierung knapper Produktionsfaktoren und der Opportunitätskosten der Inanspruchnahme. Inputseitig werden die Mengen so gewählt, dass das Verhältnis der Inputpreise dem der Grenzprodukte entspricht; outputseitig muss die Relation der Outputpreise gleich der der Grenznutzen sein.
- In *dynamischer Perspektive* gewährleistet die *allokative Effizienz* die Realisierung eines an der zukünftigen Nachfrage orientierten Kapazitätsumfangs, der durch die Vornahme von Ersatz-, Erweiterungs- und Neuinvestitionen sowie die Auswahl geeigneter Technologien erreicht wird; Engpässe und Überkapazitäten werden deshalb weitgehend vermieden. Das Optimum ist dann erreicht, wenn die Summe der Grenznutzen aller Nutzer in Form vermiedener Opportunitätskosten mit den Grenzkosten der zusätzlich bereitgestellten Kapazitätseinheit übereinstimmt.
- Die *technische Effizienz*, auch als betriebliche oder X-Effizienz bezeichnet, ist bei einer kostenminimalen Bereitstellung der Infrastruktur gegeben, wozu die Leistungen des Neu- und Ausbaus, der Erneuerung, der Instandhaltung und der Betriebsführung zählen. Hierfür ist eine optimale Auswahl und Verwendung der Technologie und der Produktionsfaktoren durch den Eisenbahninfrastrukturbetreiber erforderlich.
- *Kosten- und Erlöseffizienz* sind dann erreicht, wenn sowohl die technische als auch die allokative Effizienz verwirklicht sind.
- Kennzeichen der *qualitativen Effizienz* ist der Einsatz qualitativ hochwertiger Inputs sowie die kostenminimale Realisierung eines bestimmten Qualitätsniveaus der Outputs bzw. bei bestimmtem Ressourceneinsatz die Maximierung des Qualitätsniveaus der Outputs.
- Als weitere Determinante des Produktivitätswachstums zu nennen ist der *technische Fortschritt*. Aufgrund der Verfügbarkeit neuer bzw. besserer Produktionsfaktoren und/oder wegen der Optimierung von Produktions- und Managementverfahren können alle Unternehmen mit der gleichen Inputmenge eine größere Outputmenge erzeugen. Zur genauen Bestimmung des technischen Fortschritts ist allerdings eine Spezifizierung und Schätzung der Produktions-

bzw. Kostenfunktion notwendig. Bei technischem Fortschritt verschiebt sich die Produktionsfunktion nach rechts oben bzw. die Kostenfunktion nach links unten. Das Einsatzverhältnis der Produktionsfaktoren kann entweder gleich bleiben, oder die optimale Faktorkombination ändert sich. Implizit wird bei der Analyse des technischen Fortschritts davon ausgegangen, dass das Unternehmen immer auf der Produktionsmöglichkeitsgrenze operiert und der Produktionsplan effizient ist.

- Außerdem kann das Vorliegen von *Größenvorteilen*, d.h. sinkende langfristige Durchschnittskosten bei einer Zunahme des Outputs (economies of size), für den Produktivitätsfortschritt verantwortlich sein. Größenvorteile gehen im Allgemeinen auf zunehmende Skalenerträge (economies of scale) zurück; *Skaleneffizienz* ist erreicht, wenn die Betriebsgröße an das technologisch optimale Produktionsniveau angepasst ist. Aber auch Dichtevorteile (economies of density), Entfernungsvorteile (economies of length of haul, economies of distance), Netzgrößenvorteile (economies of network size) sowie Verbundvorteile (economies of scope) aufgrund der Veränderung der Input- und Outputzusammensetzung können Ursachen von Größenvorteilen sein.

Maßgebliche Bestimmungsgrößen für die Stärke des Produktivitätsfortschritts sind demnach das Ausgangsproduktivitätsniveau, technologische Änderungen, die Möglichkeit der Anpassung des Einsatzes von Inputfaktoren an die Nachfrageentwicklung, die Management- oder Organisationsstrukturen, die Kapital- und Arbeitsintensität, die Ausprägung des Wettbewerbs, Privatisierungsmaßnahmen sowie die Effektivität der Regulierung.

## 2.2 Datenauswahl für die Produktivitäts- und Effizienzmessung

Die Identifizierung von Datenquellen und der Daten selbst ist für die Produktivitäts- und Effizienzbestimmung ebenso wichtig wie die Auswahl einer Berechnungsmethode bzw. eines Schätzverfahrens. Dabei ist nicht nur zu prüfen, ob die Informationen für den Untersuchungsgegenstand geeignet sind, sondern auch, ob sie vollständig, konsistent, verlässlich und qualitativ hochwertig und über einen längeren Zeitraum zugänglich sind. Für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor erhält man allerdings nur wenige brauchbare Daten.<sup>7</sup>

Im Folgenden wird untersucht, welche Input- und Outputgrößen sowohl bei einer mengen- als auch bei einer wertmäßigen Betrachtung für die Produktivitäts- und Effizienzmessung herangezogen werden können. Mengengrößen repräsentieren das Grundgerüst für die notwendigen Berechnungen. Preisinformationen werden benötigt, sofern sie zur Aggregation von Daten und zur Deflationierung verwendet werden; außerdem spie-

---

<sup>7</sup> Zu den grundsätzlichen Problemen der Datengenerierung vgl. Coelli u.a. (2005: 159ff.).

len sie im Zusammenhang mit der Formulierung von unternehmerischen Zielfunktionen (Erlös- oder Gewinnmaximierung, Kostenminimierung) sowie bei der Beurteilung der allokativen Effizienz eine maßgebliche Rolle. Ferner diskutiert werden die Bedeutung des Qualitätsaspektes bei der Produktivitäts- und Effizienzmessung sowie die Relevanz von Umweltvariablen bei Effizienzvergleichen.

### 2.2.1 Inputs

Bei der Produktivitäts- und Effizienzbestimmung werden Produktionsfaktoren im Allgemeinen nicht separat, sondern aggregiert als Arbeit, Kapital, ggf. Boden und Sonstiges (Werkstoffe, Energie, Dienstleistungen) betrachtet. Ein entscheidender Grund für diese Vorgehensweise ist, dass Einzelpreise oder Preisindizes für die jeweiligen Güter nicht verfügbar sind. Mit der Zusammenfassung geht jedoch die Schwierigkeit einher, dass einige Inputs nicht eindeutig zuzuordnen sind.<sup>8</sup>

#### Arbeit

Der Produktionsfaktor Arbeit kann zum einen gemessen werden anhand der Anzahl der (vollzeitäquivalenten) Arbeitskräfte, jeweils als Jahresend- oder Durchschnittsbestand, oder der geleisteten Arbeitsstunden, zum anderen wertmäßig über die Arbeitskosten, die Lohnsumme oder die Durchschnittslöhne, da zumeist keine spezifischen Löhne ausgewiesen werden. Die Heranziehung der Lohnsumme ist problematisch, falls die Lohnsätze nicht die relativen Grenzprodukte widerspiegeln. Außerdem wird sie von der Zusammensetzung der Arbeitskräfte sowie geografischen oder anderen Unterschieden beeinflusst; weiterhin ist die Entlohnung von Überstunden und Einbeziehung von Sozialleistungen zu klären. Befürwortet wird oftmals eine Untergliederung der mengen- oder wertmäßigen Größen nach Tätigkeitsbereichen, Gehaltsklassen, Qualifikationen, Alter und Geschlecht der Beschäftigten, da zwischen den Unternehmen erhebliche Unterschiede existieren können.

#### Kapital und Boden

Hinsichtlich des Produktionsfaktors Kapital bestehen vielfältige Probleme bezüglich der mengenmäßigen Erfassung, der preislichen Bewertung und der Ermittlung der Kapitalkosten, die vor allem aus der langen Nutzungsdauer von Kapitalgütern und dem spezifischen Prozess der Leistungsabgabe resultieren. In einem ersten Schritt ist der Kapitalstock in physischen Größen zu registrieren. Besondere Herausforderungen stellen dabei die Inhomogenität der Vermögensbestandteile in Bezug auf Funktionen, Alter und Qualität sowie die Verwendung verschiedener Maßzahlen (Anzahl, Fläche und Länge, Leistung etc.) dar.

---

<sup>8</sup> Vgl. zum Folgenden z.B. Coelli u.a. (2005: 141ff.).

Im Eisenbahninfrastruktursektor werden im Allgemeinen unterschieden:

- die Strecken- bzw. Gleislänge oder die Netzdichte, differenziert nach der Art des Zugverkehrs, der Elektrifizierung, der Gleiszahl und der Weichenzahl;
- die Kunstbauten (Brücken, Tunnel, sonstige Über- und Unterführungen, Schutzbauten);
- die Systemtechnik (Verkehrsleit-, Zugüberwachungs- und Sicherungssysteme, Anlagen zur Fahrstromversorgung, Kommunikationssysteme) und sonstige Einrichtungen;
- die Personen- und Güterbahnhöfe, differenziert nach der Art des Verkehrs bzw. des Verkehrsmixes, der Art der beförderten Güter und Personen, der Größe und Funktion, der Lage bzw. der Einbindung in das Streckennetz, der Anbindung an andere Verkehrsträger und der umgebenden Siedlungs- bzw. Industriestruktur;
- die sonstigen Serviceeinrichtungen (Umschlaganlagen, Rangierbahnhöfe, Zugbildungseinrichtungen und Abstellgleise, Gleisanschlüsse, Wartungs- und Reinigungseinrichtungen, Heizungs- und Betankungseinrichtungen);
- ggf. die Streckenfahrzeuge.

In einem zweiten Schritt sind die Kapitalgüter anlagespezifisch zu bewerten und Einzelbeträge zu einer monetären Gesamtgröße zusammenzufassen. Hierzu werden die physischen Bestände mit den Preisen für die jeweiligen Kapitalgüter multipliziert. Der Preis ist auf dem Markt zu ermitteln oder als unterstellter Ertrag zur Abdeckung der Kapitalkosten anzusetzen. Einschränkend ist anzumerken, dass oftmals keine Preise für die Kapitalgüter verfügbar sind und/oder die Unternehmen mit voneinander abweichenden Inputpreisen konfrontiert sind. Unterstellt man gleiche Preise für alle Unternehmen, so kann dies bei tatsächlich unterschiedlichen Preisen dazu führen, dass ein Unternehmen aufgrund seiner dann höheren Inputpreise als ineffizient beurteilt wird, obwohl es eigentlich effizient arbeitet.

Für die Kapitalbewertung existieren verschiedene Ansätze, wie z.B.

- die Perpetual-Inventory-Method<sup>9</sup>,
- die Anschaffungs- und Herstellungskosten gemäß der Bilanz und der Gewinn- und Verlustrechnung,

---

<sup>9</sup> Dabei sind folgende Arbeitsschritte notwendig: Generierung von Zeitreihen der nominalen Investitionsausgaben; Diskontierung mittels eines Kapitalpreisindex zur Ermittlung der realen Investitionsausgaben; Unterstellung eines Lebenszyklus mit Annahmen an die Lebensdauer und die spezifische Leistungsabgabe zur Berücksichtigung der ökonomischen Abschreibung, die Überlebensfunktion sowie die Veränderung der technischen Effizienz.

- die Wiederbeschaffungskosten sowie
- der hypothetische Verkaufspreis eines Unternehmens.

An die Erfassung und Bewertung des Kapitalstocks schließt sich in einem dritten Schritt die Ermittlung der Leistungsabgabe, d.h. des Umfangs der Kapitalnutzung, des Vermögenselements an. Sie sollte sich proportional zum Wachstum des Kapitalstocks ändern, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Nutzungsintensität Schwankungen unterliegt.

In einem vierten und letzten Schritt sind die Kapitalkosten zu bestimmen. Sie errechnen sich gemäß Gleichung (2-9) aus dem Wert des Kapitalstocks  $q_t$ , multipliziert mit der Summe aus dem Kapitalzinssatz  $r$  und der Abschreibungsrate  $d$ ; hieraus ergeben sich die aufwandsgleichen oder kalkulatorischen Fremdkapitalzinsen, die kalkulatorischen Eigenkapitalzinsen und die aufwandsgleichen oder kalkulatorischen Abschreibungen (unter bestimmten Annahmen an die Abschreibungsmethoden und die Lebensdauer der Anlagen). Hinzu treten die sonstige alterungs- und nutzungsunabhängige Wertminderung ( $q_t - q_{t-1}$ ) sowie ggf. sonstige Finanzierungskosten und Steuern.

$$(2-9) \quad c_t = q_t \cdot (r + d) - (q_t - q_{t-1})$$

Als ein besonderes Problem von Netzsektoren und speziell des Eisenbahnwesens zu beachten ist die Schwierigkeit, die Gemein- und Verbundkosten den verschiedenen Wertschöpfungsstufen zuzuordnen, da viele Kapitalinputs gemeinsam genutzt und die Kosten zumeist nicht differenziert ausgewiesen werden. Im Eisenbahninfrastrukturmarkt fallen Kapitalkosten an im Zusammenhang mit der Vornahme von Erweiterungs- und Neuinvestitionen sowie von Ersatzinvestitionen (Erneuerung), teilweise aber auch für Instandhaltungsmaßnahmen mit einer Dauer von mehr als einem Jahr. Ausgangspunkt für ihre Berechnung sind die Investitionsausgaben mit einer Laufzeit von über einem Jahr, z.B. für den Kauf von Infrastrukturanlagen, den Landerwerb, die Planung, das Projektmanagement, Bodenuntersuchungen und Baumaßnahmen. Die Differenzierung der Ausgaben bzw. Kosten nach Investitionstätigkeit und Instandhaltung ist im Eisenbahninfrastruktursektor von besonderer Bedeutung, da für sie vielfach verschiedene Finanzierungsquellen maßgeblich sind.

Die personal- und sachbezogenen Betriebskosten entsprechen hingegen weitgehend den Ausgaben bzw. dem Aufwand einer Periode. Zu ihnen gehören zum einen die Kosten für die Instandhaltung mit einer Laufzeit von weniger als einem Jahr und die Kosten der Betriebsführung (Verkehrsleitung, -lenkung und -sicherheit, Stromzuführung). Sie können separat erfasst werden für die Wartung und Pflege von Infrastrukturen sowie für das Angebot verkehrsbezogener Dienstleistungen. Ferner zu nennen sind die Kosten für sonstige Aufsichts-, Kontroll- und Planungsaufgaben sowie für die allgemeine Verwaltung.

Der Produktionsfaktor Boden wird häufig nicht getrennt ausgewiesen, sondern als Teil des Kapitals angesehen. Bei einer separaten Betrachtung kann hierunter der Wert von Grundstücken, die für den Bau einer Strecke bzw. die Erstellung von Infrastruktureinrichtungen erworben werden müssen, subsumiert werden.

### Sonstige Inputfaktoren

Die sonstigen Produktionsfaktoren, wie z.B. Werkstoffe, Energie und Dienstleistungen, werden aufgrund ihrer Heterogenität und der guten Verfügbarkeit von Preisen bzw. Preisindizes sowie von Ausgaben- bzw. Kostengrößen meistens wertmäßig erfasst. Bei der Nutzung von Wertgrößen ergeben sich allerdings verschiedene Probleme. Unternehmen weisen vielfach für die verbrauchten Inputfaktoren keine Einzelpreise aus, sondern nur ihre Gesamtkosten. Außerdem sind räumliche Preisunterschiede zu beachten. Vor allem hinsichtlich des Energieverbrauchs ist jedoch auch die Verwendung von Mengenangaben (Kilowattstunden, Joule, Liter) möglich. Bevorzugt man generell physische Kennzahlen, so können die entsprechenden Ausgaben bzw. Kosten mittels eines Inputpreisindex deflationiert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich der Energiemix und die Zusammensetzung der verbrauchten Materialien sehr rasch ändern können. Dienstleistungen sind als Inputfaktor unbedingt zu berücksichtigen, da – wie bereits diskutiert – die Produktivität auf dem Wege des Outsourcings erheblich beeinflusst werden kann.

### 2.2.2 Outputs

Bei der Festlegung geeigneter Outputgrößen des Eisenbahninfrastruktursektors ist es empfehlenswert, ähnlich wie für das gesamte Eisenbahnwesen die Intensität des Netzzugangs bzw. der Netznutzung als Beurteilungskriterium heranzuziehen. Dabei sollte berücksichtigt werden, ob die Outputmengen sowohl vom Infrastrukturbetreiber als auch indirekt vom Regulierer über die Bepreisung der Infrastrukturinanspruchnahme beeinflusst werden können.<sup>10</sup>

Zum einen bietet sich die Nutzung von Variablen an, die den endgültigen Output des Eisenbahnsektors beschreiben, wie z.B. die Verkehrsleistung (Brutto- oder Nettopersonen- bzw. -tonnenkilometer), die Verkehrsdichte (Verkehrsleistung in Relation zur Streckenlänge), das Verkehrsaufkommen (beförderte Personen oder Tonnen, ggf. pro Zug oder Bahnhof), die Betriebsleistung (Trassen-, Zug-, Wagen- oder Sitzkilometer) oder die Häufigkeit der Inanspruchnahme einer Infrastruktur, ggf. differenziert nach Zugarten bzw. der Verkehrsmischung, Kunden- oder Warengruppen, der Kapazitätsauslastung und/oder der durchschnittlichen Transportentfernung. Als Zwischenoutputs können der Umfang der Betriebsleistungen, der Instandhaltungstätigkeiten sowie des Marketings und der Verwaltungsaktivitäten genutzt werden.

---

<sup>10</sup> Vgl. zum Folgenden z.B. Coelli u.a. (2005: 135ff.).



Gegen ein solches Vorgehen ist einzuwenden, dass es sich um nachfrageorientierte Größen handelt, die vom Infrastrukturanbieter nicht oder nur zum Teil beeinflussbar sind. Außerdem werden die Nachfragemasse entscheidend mitbestimmt vom Angebot und vom damit einhergehenden Einsatz von Produktionsfaktoren durch die Eisenbahnverkehrsunternehmen. Ferner unterliegen die Verkehrsleistungen erheblichen qualitativen Unterschieden sowie starken zeitlichen und räumlichen Nachfrageschwankungen. Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass sich die Auslegung der Infrastruktur an der Spitzenlastnachfrage orientieren muss und nicht beliebig anzupassen ist.

Aus diesen Gründen wird die Verwendung angebotsbasierter Outputmaße des Eisenbahninfrastruktursektors, wie z.B. der verfügbaren Trassen (hilfsweise auch der Strecken- oder Gleislänge) oder der Zeitfenster in Bahnhöfen, empfohlen. Ein solches Vorgehen impliziert jedoch, dass unter Umständen auch eine nicht nachfrageorientierte Erweiterung der Infrastruktur und das Angebot zusätzlicher Vorleistungen in Regionen bzw. Zeiten mit geringer Nachfrage zu einem Anstieg der Produktivität – und damit zu einer Erhöhung des zulässigen Entgeltlevels – führt. Gerade eine wenig beanspruchte Infrastruktur ruft jedoch im Allgemeinen geringere Kosten hervor als eine stark ausgelastete.

Auch die Wertschöpfung des Eisenbahninfrastruktursektors kann als Outputgröße in die Produktivitätsberechnung einfließen. Sie ist meistens jedoch nur für den gesamten Eisenbahnsektor, nicht aber speziell für das Eisenbahninfrastruktursegment oder sogar für die Teilbereiche Schienenwege und Serviceeinrichtungen verfügbar. Hinsichtlich der Bepreisung des Outputs ergeben sich weitere Schwierigkeiten. Vielfach sind keine detaillierten Outputpreise oder noch nicht einmal ein Preisindex verfügbar. Sollten Preisinformationen zugänglich sein, ist zu beachten, dass es sich oftmals um keine reinen Marktpreise handelt, da sie von marktmächtigen Unternehmen gesetzt werden oder der Regulierung unterliegen. Zudem können verschiedene Unternehmen unterschiedliche Entgelte erheben. Hinsichtlich eventuell vorhandener Zeitreihen sind Konventionen für deren Deflationierung zu vereinbaren.

### 2.2.3 Berücksichtigung der Qualität

Angesichts unterschiedlicher Merkmale der Inputs und Outputs, qualitativer Schwankungen bei den Waren und Dienstleistungen sowie hoher Kosten von Qualitätsverbesserungen besteht die Notwendigkeit, den Qualitätsaspekt in die Betrachtung einzubeziehen, um die Vergleichbarkeit von Input-, Output- und Produktivitätskennzahlen zu gewährleisten. Dies führt jedoch zur Notwendigkeit, den Qualitätsbegriff zu definieren, Qualitätskriterien (Servicequalität, technische Qualität) festzulegen und einheitliche

Messverfahren (Vergleichbarkeit der Daten, Beeinflussung der Qualität durch externe Einflüsse) zu vereinbaren.<sup>11</sup>

Beispielhaft können folgende Qualitätsmaße angeführt werden:

- Zustand und Alter der Infrastrukturkomponenten des Fahrwegs (Elektrifizierung, Gleisbrüche, Geeignetheit für hohe Geschwindigkeiten und Tonnagen, Schienenwegegeometrie);
- Verlässlichkeit des Verfahrens der Fahrplanerstellung;
- Anzahl von Unfällen, Gefahrensituationen, Störungen und Zugausfällen sowie von Geschwindigkeitsbeschränkungen;
- Verlässlichkeit von Verkehrsdiensten und infrastrukturbedingter Fahrzeitverlust;
- Ausstattung, Dienstbereitstellung und Servicequalität in Bahnhöfen;
- Versorgungssicherheit und Servicequalität bei Bahnenergie;
- Qualität der Nutzerinformation und des Beschwerdemanagements;
- Zügigkeit der Behebung von Störungen und der Erledigung von Reparaturen.

In der Praxis kann die Qualität bei der Produktivitäts- und Effizienzmessung in unterschiedlicher Weise berücksichtigt werden. So können die Leistungen unter Einbeziehung des Qualitätsaspekts abgegrenzt und numerische Gewichte zur Abbildung der Qualitätsunterschiede konstruiert werden. Zudem ist eine zweistufige Produktivitäts- bzw. Effizienzanalyse denkbar: Die erste Stufe wird unter Vernachlässigung der Qualität durchgeführt. Daran schließt sich eine ökonometrische Analyse an, die die Produktivitäts- bzw. Effizienzmaße gegen die Qualitätsmerkmale regressiert. Ein solches Verfahren beantwortet dann die Frage, ob die Qualitätsdifferenzen die Produktivitäts- und Effizienzabweichungen erklären.

#### 2.2.4 Produktivitäts- und Effizienzindikatoren

Wie bereits dargelegt, unterscheidet man bei der Auswahl von Produktivitätsmaßen zwischen technischen Produktivitäten und Wertproduktivitäten. Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Input- und Outputgrößen bieten sich also für den Eisenbahninfrastruktursektor mehrere Produktivitätsindikatoren an. Als technische Produktivitäten kommen demnach die Verkehrsleistung, das Verkehrsaufkommen, die Betriebsleistung oder die Trassenkilometer in Relation zur Anzahl der Beschäftigten und/oder zu einer

---

<sup>11</sup> Vgl. Coelli u.a. (2003: 90f.).

Kapitalgröße (Strecken- bzw. Gleislänge, Anzahl sonstiger Infrastrukturelemente) in Betracht. Zumeist werden partielle Faktorproduktivitäten berechnet. Die Indikatoren sind zwar meist von begrenzter Aussagekraft, da sie sich nur auf bestimmte Prozesse beziehen, allerdings sind sie auch leicht verständlich, benötigen nur wenige Daten und sind zumeist einfach zu ermitteln. Bei einem länder- und/oder sektorübergreifenden Vergleich muss gewährleistet sein, dass ihnen eine einheitliche Abgrenzung zugrunde liegt.

Als Indikatoren für Wertproduktivitäten dienen im Allgemeinen die generierten Erlöse im Verhältnis zu den Gesamtkosten der eingesetzten Produktionsfaktoren. Alternativ können die infrastrukturbezogenen Kosten (ggf. in differenzierter Abgrenzung) zu der Verkehrsleistung, dem Verkehrsaufkommen, der Betriebsleistung, den Trassenkilometern oder der Strecken- bzw. Gleislänge sowie die Erlöse zur Strecken- bzw. Gleislänge oder anderen Arbeits- bzw. Kapitalgrößen in Relation gesetzt werden.

### 2.2.5 Umweltvariablen

Bei einer Effizienzanalyse dürften darüber hinaus oftmals Umweltvariablen eine Rolle spielen, die vom Unternehmen nicht beeinflussbar sind, die aber das Niveau des Outputs, der Produktivität und der Effizienz mitbestimmen. Allerdings ist nicht nur die Grenze zwischen Input- und Outputgrößen, sondern auch zwischen diesen und den Umweltvariablen oftmals fließend.<sup>12</sup>

Im Eisenbahn- bzw. Eisenbahninfrastrukturbereich kommen als Umweltvariablen z.B. in Betracht:

- die Eigentumsstruktur und der Grad der unternehmerischen Unabhängigkeit;
- das Marktzugangs- und Regulierungsregime sowie die intra- und intermodale Wettbewerbsintensität;
- gemeinwirtschaftliche Auflagen, die Subventionierung und Besteuerung sowie spezifische Sozialvorschriften und Arbeitnehmerrechte;
- die Marktgröße und die Nachfrageentwicklung, die Verkehrs- und Zugdichte, die Transportentfernung, der Verkehrsmix sowie die Kunden- bzw. Güterstruktur;
- die gesamtwirtschaftliche Entwicklung;
- topografische und geologische Besonderheiten, die Bevölkerungsdichte und die Siedlungsstruktur sowie die klimatischen Bedingungen.

---

<sup>12</sup> Vgl. Coelli u.a. (2003: 92).

Die Nutzung von zu wenigen Umweltvariablen führt zu einer Erhöhung der Anzahl der Input- und Outputvariablen. Damit gibt es einerseits mehr Vergleichsmöglichkeiten, andererseits entsteht jedoch die Gefahr, dass jedes Unternehmen aufgrund seiner Einzigartigkeit auf der Effizienzgrenze liegt. Zu viele Umweltvariablen bewirken, dass die Ausnahmetatbestände zunehmen, die den Unternehmen zur Erreichung besserer Effizienzwerte verhelfen. Deshalb ist eine angemessene Begrenzung der Anzahl der Umweltvariablen anzuraten. Außerdem sollten verschiedene Benchmarking-Methoden (stochastische Verfahren, ggf. analytische Kostenmodelle) eingesetzt werden, um die Umweltvariablen zu identifizieren, die die größten Auswirkungen auf die meisten Unternehmen haben.

Um der Existenz von Umweltvariablen Rechnung zu tragen, müssen die Schätzverfahren angepasst werden, oder es sind bestimmte Ober- und Untergrenzen für die zu optimierenden Größen vorzugeben. Bei einer Effizienzanalyse werden Umwelteinflüsse im Allgemeinen über die Einbeziehung zusätzlicher Variablen in die Optimierungsgleichungen berücksichtigt. Außerdem lassen sich die Resultate dahingehend ökonomisch untersuchen, ob zwischen schlechten Effizienzwerten und bestimmten Ausprägungen der Umweltvariablen ein Kontext besteht. Unter Heranziehung statistischer Hypothesentests sind dann Aussagen über die Intensität des Zusammenhangs ableitbar.

## **2.3 Produktivität und Effizienz im Rahmen der Anreizregulierung**

### **2.3.1 Notwendigkeit ordnungspolitischer Maßnahmen und Anreizregulierung**

Für das Auftreten von Markt- und Wettbewerbsversagen kann es verschiedene Gründe geben. Anzuführen sind insbesondere marktmächtige Anbieterstellungen, ruinöse Konkurrenz, die Existenz öffentlicher Güter oder externer Effekte und Informationsasymmetrien. Im Eisenbahninfrastruktursektor sind angesichts seiner besonderen ökonomischen Charakteristika, wie z.B. der langen Lebensdauer und der Ortsgebundenheit von Anlagen, der technischen Einseitigkeit ihrer Nutzung, der Inputunteilbarkeiten, des hohen Anteils der kurzfristigen Fixkosten sowie der geringen variablen und Grenzkosten, in Verbindung mit der Infrastrukturnachfrage vor allem bei einer relationsbezogenen Betrachtung der Bereitstellung von Schienenwegen, ggf. aber auch hinsichtlich des Angebots sonstiger Einrichtungen häufig die typischen Merkmale eines Wettbewerbsversagens in Form des natürlichen Monopols erfüllt.

Im Vergleich zum Idealzustand der vollständigen Konkurrenz hat das Vorliegen einer Alleinanbieterposition bei gewinnmaximierendem Verhalten die Setzung überhöhter, allokativ ineffizienter Monopolpreise und eine Reduzierung der offerierten Menge sowie die Abschöpfung eines Großteils der Konsumentenrente zur Folge; Konsequenzen können auch mangelnde Innovationsanreize sowie ein nicht adäquates Qualitätsniveau sein. Ebenso sind als Resultat der erhöhten Inputpreise negative Konsequenzen für

den Markt der Eisenbahnverkehrsdienste zu befürchten, wenn die im Infrastruktursegment vorhandene Marktmacht auf die nachgelagerte Wertschöpfungsstufe übertragen wird. Verschärft wird diese Problematik, wenn ein nicht vollständig desintegrierter Infrastrukturanbieter Anreize besitzt, (potentielle) Konkurrenten auf dem Downstream-Markt zu diskriminieren.

Ob damit die Notwendigkeit eines staatlichen Eingreifens gegeben ist, hängt jedoch auch von anderen Faktoren ab, wie z.B. dem Vorliegen potenziellen Wettbewerbs und der Wirksamkeit der Substitutionskonkurrenz. Ersterer ist im Eisenbahninfrastrukturbereich angesichts verschiedener Marktzutrittsschranken<sup>13</sup> nicht vorhanden. Die Existenz und Effektivität eines intermodalen Wettbewerbs auf den Märkten für die Erbringung von Verkehrsdiensten und die daraus resultierende Disziplinierung eines Eisenbahninfrastrukturbetreibers dürften zwar relations- und/oder marktsegmentbezogen gegeben, grundsätzlich für den gesamten Eisenbahnsektor jedoch nicht anzutreffen sein. Parallele Schienenwege können somit nicht zu ökonomisch vertretbaren Kosten bereitgestellt, andere Verkehrsinfrastrukturen oftmals nicht genutzt werden. Eisenbahninfrastrukturen stellen also für die zwingend auf ihre Nutzung angewiesenen Anbieter von Eisenbahnverkehrsdiensten monopolistische Engpässe dar.

Die somit prinzipiell für den Eisenbahninfrastruktursektor erforderliche Regulierung verfolgt wie in anderen Wirtschafts- und speziell in den Netzsektoren den Zweck, ein potentiell oder tatsächliches Markt- oder Wettbewerbsversagen zu verhindern bzw. zu korrigieren und die daraus resultierenden allokativen und ggf. technischen Ineffizienzen zu beseitigen. Korrekturmaßnahmen können z.B. den Umfang und das Qualitätsniveau von Infrastrukturkapazitäten und Leistungen sowie die Gewährleistung einer diskriminierungsfreien Bereitstellung und Inanspruchnahme (Fahrplanerstellung, Trassenvergabe), die Nutzungsentgelte, die Netzzusammenschaltung und die Rechnungslegung (vertikale Separierung) betreffen. Die Regulierung von Infrastrukturentgelten ist allerdings oftmals der zentrale Anknüpfungspunkt zur Disziplinierung bestehender Marktmacht; außerdem ist ein diskriminierungsfreier Infrastrukturzugang zu gewährleisten. Die spezifischen Vorgaben können dabei die Realisierung grundsätzlicher Ziele (Effizienz, Diskriminierungsfreiheit), das Preisniveau (Einzelpreise, durchschnittliches Preisniveau, zulässiger Umsatz oder Gewinn, Kostendeckungsgrad, Preisnachlässe) und die Entgeltstruktur, die Kostenmethodik sowie bestimmte Entgeltelemente (Knappheit, Qualität, Umwelt) betreffen.

Die ursprünglich entwickelten kostenbasierten Verfahren der Entgeltregulierung setzen dabei an den Kosten an, die dem regulierten Unternehmen für die Bereitstellung der Leistung entstehen. Den Unternehmen werden nicht nur alle relevanten Kosten abgegolten, sondern ihnen wird auch eine angemessenen Verzinsung auf das eingesetzte Kapital gewährt. Die garantierte Kostendeckung hat zur Folge, dass die regulierten Mo-

---

<sup>13</sup> Dazu gehören Irreversibilitäten und sunk costs, Größenvorteile, Überkapazitäten, Lernkurveneffekte und rechtlich-administrative Beschränkungen.

nopolisten nur einen geringen Anreiz haben, Kostensenkungen und Produktivitätsverbesserungen zu realisieren und sich an geänderte Nachfragerpräferenzen anzupassen. Produktionsfaktoren werden allokativ und technisch ineffizient eingesetzt, was zu einer Ressourcenverschwendung führt. Darüber hinaus ist mit kostenbasierten Verfahren ein erheblicher Regulierungsaufwand verbunden.

Anreizorientierte Regulierungsansätze (z.B. Price Caps, Revenue Caps) weisen dagegen die Eigenschaft auf, dass die regulierten Unternehmen einen hinreichenden Ansporn behalten, Kostensenkungen bzw. Produktivitätssteigerungen zu erzielen, da die zulässigen Erlöse bzw. Gewinne nicht an die Kosten gekoppelt sind. So weist eine Price-Cap-Formel typischerweise die folgende Struktur auf:

$$(2-10) \quad \sum_{j=1}^J p_{j,t} \cdot y_{j,t-1} \leq \sum_{j=1}^J p_{j,t-1} \cdot y_{j,t-1} \cdot (1 + RPI_{t-1} - X)$$

RPI    Veränderungsrate des Einzelhandelspreisindex

X      X-Faktor

Im Rahmen einer Price-Cap-Regulierung wird vorab für eine bestimmte Zeit (meistens drei bis fünf Jahre) eine Obergrenze für das zulässige Preisniveau festgesetzt.<sup>14</sup> Die mit den Nachfragemengen des Vorjahres gewichteten Preise dürfen dabei zwischen t und t-1 nicht stärker steigen als die Inflationsrate des Vorjahres (hier der Einzelhandelspreisindex, ggf. auch der BSP-Deflator oder der Konsumentenpreisindex) abzüglich eines Abschlags, der anhand der prognostizierten Produktivitäts- und Inputpreisentwicklung (X-Faktor) der Branche bzw. des Unternehmens ermittelt wird. Preissteigerungsrate und X-Faktor bleiben während der Regulierungsperiode konstant.

Das Konzept der Bundesnetzagentur für eine Anreizregulierung im Eisenbahninfrastruktursektor sieht eine Price-Cap-Regulierung mit Regulierungsperioden von fünf Jahren vor, die aber in späteren Phasen auch bis zu sieben Jahren dauern können. Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen sollen in mehrere Gruppen eingeteilt werden (Unternehmen der Deutsche Bahn AG; marktrelevante und nicht marktrelevante nichtbundeseigene Unternehmen). Zudem ist eine sachliche und beim Personennahverkehr eine räumliche Differenzierung der Verkehrsleistungen beabsichtigt,<sup>15</sup> die bei der Korbbildung relevant wird. Hinsichtlich der X-Faktoren gibt es bereits Vorstellungen zu den bei der Berechnung anzuwendenden Methoden, die an der nachfolgenden theoretischen und empirischen Analyse gespiegelt werden. Ein allgemeiner Verbraucherpreisindex

---

<sup>14</sup> Die Price-Cap-Regel legt in der Regel nicht eine Vielfalt einzelner Preise fest, sondern setzt stattdessen eine gewichtete durchschnittliche Preisobergrenze für einen Korb verschiedener Dienste. Die Preisobergrenze gilt also für den Durchschnitt der Entgeltänderungen der enthaltenen Leistungen. Da Preisänderungen für einzelne Leistungen somit oberhalb des Caps liegen können, erhält das regulierte Unternehmen weitgehende Freiheit bei der Festlegung der Preisstruktur.

<sup>15</sup> Schienenwege des Personennah-, Personenfern- und Güterverkehrs; Personenbahnhöfe, ggf. separat für Nah- und Fernverkehr; sonstige Serviceeinrichtungen, unterschieden in güterverkehrsbezogene und sonstige.

wird gegenüber einem sektorspezifischen Inputpreisindex bevorzugt. Schließlich werden auch Konzepte zur Ermittlung des Ausgangsentgelt- bzw. -kostenniveaus sowie zur Einbeziehung der Qualität (keine Berücksichtigung in der Price-Cap-Formel) und von Anpassungsfaktoren formuliert.<sup>16</sup>

### 2.3.2 Festlegung der X-Faktoren

Die Bindung des zulässigen Anstiegs der Outputpreise an eine exogene Preissteigerungsrate und einen bestimmten Produktivitätsfortschritt versetzen das regulierte Unternehmen in die Lage, durch Kostensenkungen seine Produktivität bzw. technische Effizienz stärker zu steigern, als dies durch den X-Faktor vorgegeben ist, und seine „Übergewinne“ bis zur Neufestsetzung des X-Faktors einzubehalten. Diese zusätzlichen Anreize zur Produktivitätssteigerung sind mit der Intention verknüpft, dass sie der Monopolist in Verbindung mit seiner Freiheit bei der Festlegung der Preisstruktur dazu nutzt, die Preise über einen gewissen Zeitraum hinweg an die effizienten Kosten anzupassen.

Anreizorientierte Regulierungsansätze verfolgen zudem das Ziel, die Marktkräfte bei funktionsfähigem Wettbewerb zu simulieren und damit auch einen allokativ effizienten Zustand herbeizuführen. In kompetitiven Märkten veranlassen die Wettbewerbskräfte die Marktteilnehmer zur Realisierung von Produktivitätsfortschritten und zu einer Weitergabe der zusätzlichen Gewinne an ihre Kunden in Form niedrigerer Preise. Bei Wettbewerb in allen Teilmärkten einer Gesamtwirtschaft G entspricht die allgemeine Inflationsrate dann der Differenz zwischen der Veränderungsrate der Inputpreise und der Rate der Produktivitätsveränderung:

$$(2-11) \quad \Delta p^G = \Delta w^G - \Delta TFP^G$$

Allerdings ist es aus mehreren Gründen unzureichend, die Entwicklung der zulässigen Preise bzw. Erlöse der Eisenbahninfrastrukturbetreiber allein an der gesamtwirtschaftlichen Inflationsrate auszurichten.<sup>17</sup> Unternehmen mit beträchtlicher Marktmacht bzw. in regulierten Sektoren verhalten sich anders als Unternehmen in Märkten mit funktionsfähigem Wettbewerb. Zum einen wachsen die Inputpreise in einer regulierten Netzindustrie im Allgemeinen mit einer niedrigeren Rate als das allgemeine Preisniveau. Ein Preisindex, der diese Preisentwicklung abbildet, kann jedoch aufgrund fehlender Informationen nicht oder nur mit erheblichem Aufwand (Datenbeschaffung, Konzeptionierung) konstruiert werden. Deshalb wird zumeist der Einzelhandels- oder Konsumentenpreisindex als Annäherung verwendet. Zum anderen dürfte in monopolistischen Märkten aufgrund inhärent unzureichender Innovations- und Anpassungsanreize bei Beginn der Anreizregulierung ein Nachholpotential vorhanden sein, das höhere Produktivitäts-

---

<sup>16</sup> Vgl. hierzu Bundesnetzagentur (2008: 70ff., 81ff., 89f., 98ff., 105ff., 110f.).

<sup>17</sup> Vgl. Bernstein (2000).

zuwächse zulässt als in wettbewerblich organisierten Märkten oder in der Gesamtwirtschaft. Empirische Studien belegen ein erhebliches Potential zur Kostensenkung, wenn Monopolisten erstmals dem Wettbewerb ausgesetzt sind oder einer Anreizregulierung unterworfen werden. Das schließt allerdings nicht aus, dass auch im Vorfeld der Einführung einer anreizbasierten Entgeltregulierung – und ggf. einer Privatisierung – Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen realisiert werden.<sup>18</sup>

Aus den genannten Gründen ist es notwendig, den oben formulierten Zusammenhang zwischen Outputpreis-, Inputpreis- und Produktivitätsveränderung auf den regulierten Sektor zu übertragen:

$$(2-12) \quad \Delta p^R = \Delta w^R - \Delta TFP^R$$

Die Veränderungsrate der zulässigen Outputpreise entspricht demnach der Veränderung der sektorspezifischen Inputpreise, gemessen anhand eines branchen- bzw. anlagenspezifischen Index oder eines Investitionsgüterpreisindex (Erzeugerpreisindex) in Verbindung mit der Lohn- bzw. Gehaltsentwicklung (Index der Arbeitskosten),<sup>19</sup> abzüglich der sektorspezifischen Produktivitätsfortschrittsrate (X-Faktor).

Alternativ lässt sich der X-Faktor auch für den Fall berechnen, dass die zulässigen sektorspezifischen Outputpreise von der Entwicklung eines gesamtwirtschaftlichen Outputpreisindex abhängig gemacht werden. Subtrahiert man Gleichung (2-11) von Gleichung (2-12) und formt um, so erhält man:

$$(2-13) \quad \Delta p^R = \Delta p^G - \left[ (\Delta TFP^R - \Delta TFP^G) + (\Delta w^G - \Delta w^R) \right]$$

Die durchschnittliche Wachstumsrate der sektorspezifischen Outputpreisobergrenze im Rahmen der Price-Cap-Regulierung ist somit aus zwei Komponenten zu ermitteln: erstens aus einem gesamtwirtschaftlichen Preisindex und zweitens aus dem X-Faktor gemäß der Formel in Gleichung (2-10). Der X-Faktor bestimmt sich nach Gleichung (2-13) sowohl aus der über dem gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt liegenden Fähigkeit des Sektors zur Steigerung der TFP als auch aus dem Unterschied zwischen der gesamtwirtschaftlichen und der sektorspezifischen Inputpreisentwicklung. Der X-Faktor ergibt sich also

- aus dem *Produktivitätsdifferential* des Eisenbahninfrastruktursektors im Vergleich zur Gesamtwirtschaft,

---

<sup>18</sup> Vgl. Brunekreeft (2000: 6).

<sup>19</sup> Eine detaillierte Diskussion der Vorzüge und Nachteile bestimmter Inputpreisindizes (Laspeyres-, Paasche-, Fisher- oder Törnqvist-Index) kann an dieser Stelle nicht erfolgen.



- bereinigt um das *Inputpreisdifferential*, d.h. der Abweichung in der Inputpreisentwicklung zwischen der Gesamtwirtschaft und dem Eisenbahninfrastruktursektor.<sup>20</sup>

Werden wie im Eisenbahninfrastruktursektor nicht nur ein, sondern mehrere Unternehmen einer Preisregulierung unterworfen, so sollte der X-Faktor in einen generellen bzw. allgemeinen und einen individuellen X-Faktor differenziert werden. Der *generelle X-Faktor* bildet dann – wie bereits zuvor erläutert –, die unterschiedliche Produktivitäts- und Inputpreisentwicklung zwischen Sektor und Gesamtwirtschaft ab, die auf allgemeine Effizienzgewinne und technischen Fortschritt sowie ggf. auf Skaleneffekte zurückzuführen ist. Im Hinblick auf die Berechnung *individueller X-Faktoren*, die das Effizienzaufholpotential bestimmter Eisenbahninfrastrukturbetreiber im Vergleich zu anderen widerspiegeln sollen, ist eine Einzelbetrachtung der Unternehmen vorzunehmen, oder sie sind in Gruppen einzuteilen; dafür maßgebliche Kriterien sind z.B. die Unternehmensgröße, das Infrastruktursystem sowie die Kostensenkungs- und Effizienzsteigerungspotentiale. Für jedes Unternehmen bzw. jede Unternehmensgruppe sind dann spezifische Effizienzvorgaben in Relation zum Benchmark, das sich aus der festgestellten Best-practice des Sektors bzw. der Unternehmensgruppe ergibt, abzuleiten.

Eine Möglichkeit zur Ermittlung des Produktivitätsfortschritts ist die Betrachtung der Entwicklung in der Vergangenheit. Der generelle X-Faktor wird dann mit der historischen Rate eines Vergleichszeitraums (üblicherweise der letzten fünf bis zehn Jahre) gleichgesetzt. Dabei ergibt sich das Problem, dass ein Vergangenheitstrend, der ggf. von starken Schwankungen oder Datenausreißern mitbestimmt wurde, z.B. linear oder in anderer Form fortgeschrieben wird. Geht man davon aus, dass die zukünftigen Produktivitätsfortschritte aufgrund von Fluktuationen (kurzfristige Kosten- oder Erlösveränderungen, zyklische Konjunktur- bzw. Nachfrageschwankungen) sowie von Systembrüchen bzw. temporären vergangenen oder prognostizierten Ereignissen (Liberalisierung, Privatisierung, sonstige Umstrukturierungen, Einführung der Anreizregulierung) deutlich von den zurückliegenden Raten abweichen, so muss eine entsprechende Korrektur durchgeführt werden. Der Produktivitätsfortschritt sollte zudem realisierbar und vor allem eine dauerhafte, zukunftsorientierte Entwicklung widerspiegeln. Ferner ist ein Vergleich mit der Produktivität bzw. Effizienz ähnlicher Unternehmen vorzunehmen.

Die angemessene Festsetzung von X-Faktoren ist für die Auswirkungen eines anreizorientierten Regulierungsregimes von grundsätzlicher Bedeutung. Werden sie auf einem zu niedrigen Niveau festgesetzt, werden die Kostensenkungen nicht über Preissenkungen an die Nachfrager weitergegeben, und die Unternehmen realisieren Übergewinne. Zu hohe X-Faktoren bewirken zwar eine Preissenkung und steigern die allo-

---

<sup>20</sup> Wählt man anstelle des sektorspezifischen Inputpreisindex einen gesamtwirtschaftlichen Outputpreisindex, so muss der X-Faktor einen Vergleich der Entwicklung der regulierten Industrie mit der der Gesamtwirtschaft enthalten. Der X-Faktor ist also in zweifacher Hinsicht (Produktivitäts- und Inputpreisentwicklung) eine relative Größe.

kative Effizienz, beschränken jedoch die Gewinne und führen zu einer unzureichenden Kapitalrendite. Das Unternehmen wird ggf. von weiter gehenden Kosteneinsparungen sowie von Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen Abstand nehmen. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass Kosten senkende bzw. Effizienz steigernde Aktivitäten mit der Höhe des X-Faktors steigen, ab einem kritischen Niveau des X-Faktors aber ganz eingestellt werden.

Ein weiteres grundsätzliches Problem ist darin zu sehen, dass Regulierungsbehörden oftmals nicht die für die Bestimmung der Produktivitäts- und Inputpreisdifferentiale notwendigen Informationen generieren können. Ursache hierfür ist die asymmetrische Informationsverteilung zwischen den Unternehmen und dem Regulierer. Die Unternehmen besitzen umfassendere und detailliertere Informationen über ihre Nachfrage- und Kostenstrukturen, werden diese jedoch nicht offen legen bzw. sie manipulieren. In diesem Kontext sind in der Regulierungstheorie verschiedene Verfahren zur Offenbarung der Wahrheit entwickelt worden.

Außerdem ist zu betonen, dass Unternehmen angesichts des Trade-offs zwischen in der Zukunft zulässigen Preisen bzw. Gewinnen und heutigen Produktivitätssteigerungen versuchen werden, den Produktivitätsfortschritt negativ zu beeinflussen. So könnten sie mit niedrigeren Inputpreisen kalkulieren, was die eingesetzte Inputmenge erhöht und die Produktivität senkt. Dies hat zur Folge, dass die Outputpreise tendenziell steigen. Grund für dieses Verhalten ist die „Bestrafung“ des Unternehmens für einen realisierten Produktivitätsfortschritt über die Erhöhung des X-Faktors und somit geringere erlaubte Preise bei der nächsten Überprüfung. Anreize zur Kostensenkung und Innovation gehen damit verloren. Außerdem besteht eine inhärente Tendenz zur Erhöhung des Kostenniveaus bzw. zur Verringerung der Effizienzfortschritte kurz vor Beginn der nächsten Regulierungsperiode, um sich zu „tarnen“. Der generelle X-Faktor sollte deshalb für ein reguliertes Unternehmen nicht beeinflussbar sein, weshalb sich eine Festsetzung auf der Basis des Produktivitätswachstums anderer Unternehmen der Branche bzw. ausländischer Eisenbahninfrastrukturunternehmen oder von Vergleichsunternehmen anderer Sektoren anbietet. Die einem regulierten Unternehmen zumutbaren individuellen Produktivitätsfortschritte sollten jedoch nicht außer Acht gelassen werden.

Eine weitere Schwierigkeit ist ggf. darin zu sehen, dass der Produktivitätsfortschritt nur für regulierte Dienste bestimmt werden soll, was wegen der gemeinsamen Nutzung von Produktionsfaktoren durch regulierte und unregulierte Dienste manchmal aber nicht möglich ist. Der für alle Dienste ermittelte Produktivitätsfortschritt überschätzt (unterschätzt) dann die richtige TFP, falls die unregulierten Dienste schneller (langsamer) wachsen und der technische Fortschritt stärker (schwächer) ist als bei den regulierten Diensten. Ferner müssen der X-Faktor umso geringer und die Preise bzw. die Profitabilität umso höher festgelegt werden, je ausgeprägter die Unsicherheit über die Kosten ist.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Produktivitäts- bzw. Effizienzmessung auch im Rahmen einer kostenbasierten Entgeltregulierung von Relevanz sein kann. So leistet die Effizienzmessung einen wesentlichen Beitrag zu der Ermittlung der Kosten der effizienten Leistungsbereitstellung, der Rechtfertigung regulatorischer Maßnahmen (Vorher-Nachher-Vergleich) sowie der Erfolgskontrolle zwecks einer Weiterentwicklung des Regulierungsinstrumentariums.

### 3 Anwendbarkeit von Methoden der Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor

Das dritte Kapitel befasst sich mit verschiedenen Methoden der Produktivitäts- und Effizienzmessung sowie ihres Einsatzes im Hinblick auf die Bestimmung von X-Faktoren im Rahmen der Anreizregulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten. Näher betrachtet werden in Abschnitt 3.1 die Indizes, in Abschnitt 3.2 die Datenumhüllungsanalyse als Beispiel eines nicht-parametrischen Verfahrens und in Abschnitt 3.3 mehrere parametrische Verfahren, wie die Kleinste-Quadrate-Methoden und die Stochastische Effizienzgrenzenanalyse. Die theoretische Untersuchung mündet in Abschnitt 3.4, der Empfehlungen zur Anwendung der Methoden bei der Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor enthält.

#### 3.1 Indizes

##### 3.1.1 Einführende Bemerkungen

Zur Messung der Produktivität und des Produktivitätsfortschritts über einen längeren Zeitraum werden vielfach Indizes bzw. Indexzahlen genutzt.<sup>21</sup> Darunter versteht man Maßzahlen, die die Veränderung von Variablen über den Raum und/oder die Zeit sowie Unterschiede zwischen Unternehmen, Wirtschaftssektoren, Regionen oder Staaten abbilden.<sup>22</sup> Die Bestimmung der TFP und ihrer Veränderung  $\Delta TFP$  erfolgt über Mengenindizes bzw. -indexzahlen (Quantity Index Numbers (QIN), zum Teil auch als Price-based Index Numbers (PIN) bezeichnet). Unter Berücksichtigung der Definition der Produktivität sind dabei separate Input- und Outputindizes zu berechnen:<sup>23</sup>

$$(3-1) \quad TFP = \frac{\text{Outputindex}}{\text{Inputindex}}$$

$$(3-2) \quad \Delta TFP = \frac{TFP_t}{TFP_{t-1}} = \frac{\text{Outputindex}_t}{\text{Inputindex}_t} \bigg/ \frac{\text{Outputindex}_{t-1}}{\text{Inputindex}_{t-1}}$$

$$= \frac{\text{Outputindex}_t}{\text{Outputindex}_{t-1}} \bigg/ \frac{\text{Inputindex}_t}{\text{Inputindex}_{t-1}}$$

---

<sup>21</sup> Für einen Überblick vgl. z.B. Diewert (2003), Coelli u.a. (2005: 85ff.) und Diewert (2007).

<sup>22</sup> Indizes können außerdem zur Reduzierung der Anzahl der Input- und Outputvariablen im Rahmen der DEA und der SFA sowie zur Erfassung von Paneldatensätzen genutzt werden.

<sup>23</sup> Neben Mengenindizes können auch Wert- und Preisindizes konstruiert werden.

Dabei kann der Index auf zwei Weisen bestimmt werden, nämlich als Kettenindex (chain-base index) und als Index mit fester Basisperiode (fixed-base index):<sup>24</sup>

- Bei einem Kettenindex werden für die Bestimmung der Veränderung der TFP zwischen einer Basisperiode und einer Vergleichperiode die jeweils für zwei aufeinander folgende Jahre ermittelten Einzelindizes miteinander multipliziert.
- Bei der Wahl einer festen Basisperiode werden die Basisperiode und das Vergleichsjahr direkt miteinander in Beziehung gesetzt.

Da die meisten Statistiken Indizes mit fester Basisperiode ausweisen, sind diese zwangsläufig zu verwenden. Zudem können die Gewichte in den TFP-Formeln konstant gehalten werden. Bei der Heranziehung eines Kettenindexes werden Änderungen über kürzere Zeiträume gemessen, so dass sie im Allgemeinen geringer ausfallen; Approximationsfehler spielen deshalb eine unbedeutende Rolle. Auch sind die Abweichungen zwischen den im Folgenden behandelten Indizes weniger stark ausgeprägt.

Falls nur wenige Daten zur Verfügung stehen, sind die QIN anderen Methoden der Berechnung des Produktivitätsfortschritts grundsätzlich vorzuziehen. Allerdings kann die Auswahl der Inputs und Outputs sowie die unzureichende Verfügbarkeit von Informationen auch Probleme aufwerfen. Da Outputdaten im Allgemeinen leichter zugänglich sind, hinsichtlich der verwendeten Inputs bzw. der Kosten aber Informationslücken bestehen, werden anstelle von TFP-Indizes häufig auch nur Outputindizes berechnet.

Während die Bestimmung von Indizes bei nur einem Input bzw. Output einfach ist, treten im Mehrproduktfall einige Probleme auf. Zum einen liefern dann verschiedene Indizes auch unterschiedliche Ergebnisse. Zum anderen werden für die Berechnung Informationen über Input- und Outputpreise benötigt, die dazu dienen, die einzelnen Indexelemente zu gewichten. Um zu verhindern, dass sich Preisänderungen auf die Produktivitätsentwicklung auswirken, sind die Preise über den Betrachtungszeitraum konstant zu halten; hierbei ist ein geeignetes Bezugsjahr zu wählen.

Eine weiterer Nachteil von Indexzahlen ist darin zu sehen, dass der mit Hilfe der QIN gemessene Produktivitätsfortschritt nicht in seine Komponenten, d.h. insbesondere in die allokativen und technische Effizienz, die Skaleneffizienz und den technischen Fortschritt zerlegt werden kann. Ergebnisse zum technischen Fortschritt sind nur ableitbar, wenn konstante Skalenerträge (CRS) und technische Effizienz vorausgesetzt werden, was bei der Anwendung von Indexzahlen im Allgemeinen unterstellt wird. Außerdem wird angenommen, dass Inputs und Outputs in kompetitiven Märkten erzeugt werden.

Können die spezifischen Ursachen des Produktivitätsfortschritts nicht ermittelt werden, kann dies zu Problemen führen. Wird der Produktivitätsanstieg tatsächlich durch eine allgemeine Effizienzsteigerung hervorgerufen, während der Regulierer aufgrund eines

---

<sup>24</sup> Vgl. z.B. Diewert (2007: 26ff.).

vermuteten technischen Fortschritts Effizienzsteigerungen fordert, so können diese von vielen Unternehmen nicht mehr geleistet werden. Außerdem werden bei der Ermittlung der TFP-Indizes oftmals konstante Inputfaktorkombinationen angenommen; von besonderen Betriebsbedingungen und Infrastrukturmerkmalen sowie von technischem Fortschritt wird dann implizit abstrahiert.

Im Weiteren sollen nun folgende QIN näher erläutert werden:

- Laspeyres-Index,
- Paasche-Index,
- Fisher-Index und
- Törnqvist-Index.

Diesen Indizes wird dann als Referenz der Malmqvist-Index gegenübergestellt.

### 3.1.2 Laspeyres- und Paasche-Index

Beim Laspeyres- und Paasche-Output- bzw. -TFP-Index handelt es sich um Mengenindizes, bei denen entweder die Preise der Basis- bzw. Referenzperiode 0 (Laspeyres) oder der Gegenwartsperiode 1 (Paasche) als Gewichte dienen. Die Gleichungen (3-3) und (3-4) beschreiben die Outputindizes nach Laspeyres und Paasche:<sup>25</sup>

$$(3-3) \quad \Delta Q = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j0} y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j0} y_{j0}}$$

$$(3-4) \quad \Delta Q = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j1} y_{j0}}$$

Die Gleichungen (3-5) und (3-6) stellen die TFP-Indizes nach Laspeyres und Paasche dar. Dabei sind die Ausdrücke auf der rechten Seite der Gleichung die Quotienten eines Output-Mengenindex und eines Input-Mengenindex:<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 88f.).

<sup>26</sup> Aus der Theorie der Messung von Konsumentenpreisen, bei der die Mengengrößen als Gewichte dienen, ist bekannt, dass der Paasche- und der Laspeyres-Index im Zeitablauf voneinander abweichen und Messfehler hervorrufen. So überschätzt der Laspeyres-Index die Preisentwicklung, da er das Substitutionsverhalten der Konsumenten nicht berücksichtigt. Analog hierzu kann nicht ausgeschlossen werden, dass Mengenindizes den Einsatz von Inputmengen falsch erfassen, wenn infolge sich verändernder Preise Inputs substituiert werden.

$$(3-5) \quad \Delta TFP = TFP_1 / TFP_0 = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j1}}{\sum_{k=1}^K w_{k0} \cdot x_{k1}} \bigg/ \frac{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j0}}{\sum_{k=1}^K w_{k0} \cdot x_{k0}} = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j0}} \bigg/ \frac{\sum_{k=1}^K w_{k0} \cdot x_{k1}}{\sum_{k=1}^K w_{k0} \cdot x_{k0}}$$

$$(3-6) \quad \Delta TFP = TFP_1 / TFP_0 = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j1}}{\sum_{k=1}^K w_{k1} \cdot x_{k1}} \bigg/ \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j0}}{\sum_{k=1}^K w_{k1} \cdot x_{k0}} = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j0}} \bigg/ \frac{\sum_{k=1}^K w_{k1} \cdot x_{k1}}{\sum_{k=1}^K w_{k1} \cdot x_{k0}}$$

Der Paasche- und der Laspeyres-Index bilden aufgrund der Verwendung der Preisgewichte der Basis- bzw. Gegenwartsperiode die Produktivitätsentwicklung jedoch nicht exakt ab. Während der Laspeyres-Index wegen der Heranziehung von Vergangenheitswerten den Produktivitätsfortschritt unterschätzt, wird dieser durch den Paasche-Index überschätzt. Zudem gehen beide Indizes implizit von linearen Produktionsfunktionen aus; CRS und konstante Grenzprodukte sind jedoch in der Praxis nur selten anzutreffen.

### 3.1.3 Fisher- und Törnqvist-Index

Den mit dem Laspeyres- bzw. Paasche-Index verbundenen Problemen wird mit der Verwendung des Fisher-Index begegnet, der aus dem geometrischen Mittel der beiden zuvor genannten Indizes bestimmt wird.<sup>27</sup> Gleichung (3-7) bezeichnet den Fisher-Outputindex, während Gleichung (3-8) den Fisher-TFP-Index veranschaulicht:

$$(3-7) \quad \Delta Q = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j0}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j0}}}$$

$$(3-8) \quad \Delta TFP = TFP_1 / TFP_0 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j0} \cdot y_{j0}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j1} \cdot y_{j0}}} \bigg/ \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K w_{k0} \cdot x_{k1}}{\sum_{k=1}^K w_{k0} \cdot x_{k0}} \cdot \frac{\sum_{k=1}^K w_{k1} \cdot x_{k1}}{\sum_{k=1}^K w_{k1} \cdot x_{k0}}}$$

Für die Nutzung des Fisher-Index sprechen mehrere theoretische Eigenschaften.<sup>28</sup> Seit einigen Jahren werden jedoch häufiger der Divisia-Index (bei zeitstetigen Variablen)

<sup>27</sup> Zum Fisher-Produktivitätsindex vgl. z.B. Färe u.a. (1992) und Coelli u.a. (2005: 89f.).

<sup>28</sup> Der Fisher-Index stellt eine quadratische Technologie dar und erfüllt bestimmte Testkriterien, wie Proportionalität, Invarianz gegenüber Maßeinheiten, Reversibilität in der Zeit u.a. Außerdem können Substitutionseffekte besser berücksichtigt werden.

bzw. der Törnqvist-Index<sup>29</sup> (bei zeitdiskreten Variablen) eingesetzt, die in Bezug auf die produktionstheoretischen Rahmenbedingungen wesentlich brauchbarer sind, da ihnen die Translog-Technologie zugrunde liegt.<sup>30</sup> Die Indizes verwenden den gewichteten geometrischen Durchschnitt der Mengenrelationen; die Gewichte sind wiederum einfache arithmetische Durchschnitte der Wertschöpfungsanteile in den jeweiligen Perioden; häufig wird eine logarithmierte Darstellung vorgezogen.<sup>31</sup> Die nachfolgenden Gleichungen (3-9) und (3-10) beschreiben den Törnqvist-Outputindex, während die Gleichungen (3-11) und (3-12) den Törnqvist-TFP-Index charakterisieren.

$$(3-9) \quad \Delta Q = \prod_{j=1}^J \left[ \frac{y_{j1}}{y_{j0}} \right]^{\frac{\omega_{j0} + \omega_{j1}}{2}}$$

$$(3-10) \quad \ln \Delta Q = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J [(\omega_{j0} + \omega_{j1}) \cdot (\ln y_{j1} - \ln y_{j0})]$$

$$(3-11) \quad \Delta TFP = \frac{\prod_{j=1}^J \left[ \frac{y_{j1}}{y_{j0}} \right]^{\frac{\omega_{j0} + \omega_{j1}}{2}}}{\prod_{k=1}^K \left[ \frac{x_{k1}}{x_{k0}} \right]^{\frac{\vartheta_{k0} + \vartheta_{k1}}{2}}}$$

$$(3-12) \quad \ln \Delta TFP = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J [(\omega_{j0} + \omega_{j1}) \cdot (\ln y_{j1} - \ln y_{j0})] - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K [(\vartheta_{k0} + \vartheta_{k1}) \cdot (\ln x_{k1} - \ln x_{k0})]$$

Hierbei repräsentieren  $\omega$  und  $\vartheta$  den Erlös- bzw. Den Kostenanteil des Outputs  $j$  bzw. des Inputs  $k$  in einer bestimmten Periode  $t$ :<sup>32</sup>

$$(3-13) \quad \omega_{jt} = \frac{p_{jt} \cdot y_{jt}}{\sum_{i=1}^J p_{it} \cdot y_{it}}$$

$$(3-14) \quad \vartheta_{kt} = \frac{w_{kt} \cdot x_{kt}}{\sum_{i=1}^K w_{it} \cdot x_{it}}$$

<sup>29</sup> Zum Törnqvist-Produktivitätsindex vgl. z.B. Caves u.a. (1982a) und Coelli u.a. (2005: 90).

<sup>30</sup> Die Translog-Technologie unterliegt keinen Einschränkungen in Bezug auf Substitutionselastizitäten und Skaleneffekte.

<sup>31</sup> Grundsätzlich stellt eine Translog-Funktion die logarithmierte Form eines Taylor-Polynoms zweiten Grades dar.

<sup>32</sup> Soll der Produktivitätsfortschritt ohne Skaleneffekte geschätzt werden, so sind die Erlösanteile durch die Kostenelastizitäten zu ersetzen.



### 3.1.4 Direkte und indirekte Messung von Mengenindizes

Mengenindizes können nicht nur direkt, sondern auch indirekt ermittelt werden. Bei einer *indirekten Messung* ergibt sich die Mengenänderung  $Q$  als Quotient aus der Wertänderung  $V$  für die Erlöse bzw. Kosten und der Preisänderung  $P$  unter Heranziehung des Output- oder Inputpreisindex. Gleichung (3-15) stellt den Ansatz der indirekten Messung für die Erlöse dar:<sup>33</sup>

$$(3-15) \quad V = P \cdot Q \Leftrightarrow Q = \frac{V}{P} = \frac{\sum_{j=1}^J p_{j1} y_{j1}}{\sum_{j=1}^J p_{j0} y_{j0}}$$

Der Ausdruck im Zähler beschreibt den Erlös zu konstanten Preisen. Die QIN ergeben sich somit auch aus dem Verhältnis von um Preisänderungen bereinigten Wertgrößen. Für die Messung der Produktivitätsveränderung stehen somit folgende Optionen zur Verfügung:

- Veränderung der deflationierten Erlöse dividiert durch die Veränderung der deflationierten Kosten;
- Outputmengenindex dividiert durch die Veränderung der deflationierten Kosten;
- Veränderung der deflationierten Erlöse dividiert durch den Inputmengenindex.

Nutzt man die Alternative der indirekten Messung, so hat dies insbesondere den Vorteil, dass bei der Produktivitätsbestimmung Zeitreihen aus statistischen Veröffentlichungen herangezogen werden können. In theoretischer Hinsicht lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten. Deflationiert man mit einem Preisindex nach Paasche, so erhält man einen Mengenindex nach Laspeyres und umgekehrt; auf diese Weise wird die Wertänderung exakt in zwei Komponenten aufgespalten. Eine genaue Zerlegung von  $V$  ist ferner mit dem Mengen- und dem Preisindex nach Fisher möglich; der direkte Fisher-Mengenindex und der indirekte Mengenindex unter Heranziehung des Fisher-Preisindex sind also identisch. Für den Törnqvist-Index gilt diese Eigenschaft jedoch nicht. Allerdings kann die Verwendung von Preisindizes zu neuen Problemen führen. Zum einen ist ein spezieller Preisindex auszuwählen, zum anderen kann sich bei Outputs ein nicht-linearer Bezug zwischen Wert- und Mengengrößen einstellen, z.B. bei Vorliegen von Mengenrabatten.

Letztlich hängt die Entscheidung für den direkten oder indirekten Ansatz von folgenden Kriterien ab:<sup>34</sup>

<sup>33</sup> Zum Folgenden vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 90ff.).

<sup>34</sup> Vgl. u.a. Diewert (1976) und Caves u.a. (1982a).

- Sofern der Output über Verkehrsgrößen beschrieben wird, liegen zumeist ausreichende Informationen für eine direkte Berechnung vor.
- Die Datenlage spricht aber zumeist für die indirekte Methode, da Zeitreihen oftmals nur in konstanten Preisen vorhanden sind.
- Weisen die Preisrelationen eine geringere Variabilität als die Mengenrelationen auf, was in der Praxis häufig der Fall ist, so ist der indirekte Ansatz vorzuziehen und umgekehrt (Betrachtung der Varianzen).
- Falls die Zusammensetzung der Inputs und Outputs zwischen den Unternehmen stark variiert, führt der indirekte Ansatz zu keiner brauchbaren Approximation eines Mengenindex.
- Der direkte Ansatz ist aus theoretischer Sicht vor allem bezüglich des Fisher- und Törnqvist-Index wegen der direkten Ableitung aus der Produktionstheorie als besser einzustufen, sofern wettbewerbliche Märkte existieren; ansonsten ist die indirekte Methode zu präferieren. Da im Eisenbahninfrastruktursektor natürliche Monopole oder zumindest marktmächtige Stellungen existieren, wird die Anwendung des indirekten Verfahrens auch theoretisch untermauert.

### 3.1.5 Malmqvist-Index

Als Referenzindex zur Bewertung der zuvor beschriebenen Indizes bietet sich der Malmqvist-Index an.<sup>35</sup> Im Gegensatz zu den QIN berücksichtigt er die produktionstechnischen Gegebenheiten und kann deshalb die Produktivitätsentwicklung genauer abbilden: Außerdem kann er auch die Ursachen einer Produktivitätsänderung ergründen, zumindest diese aber in den technischen Fortschritt, die Veränderung der technischen Effizienz und ggf. die Skaleneffizienz zerlegen, ohne vorher Hypothesen zu den Skaleneffekten aufzustellen. Um Aussagen zur Relevanz dieser Einzelkomponenten zu erhalten, ist es jedoch notwendig, Annahmen an die Produktionsfunktion zu formulieren bzw. diese zu schätzen, was nur unter Heranziehung unternehmensspezifischer Input- und Outputdaten möglich ist.

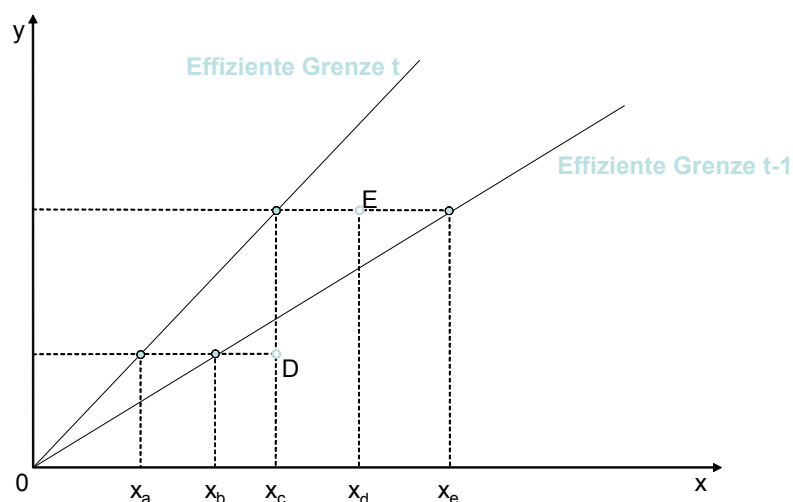
Der Malmqvist-Index lässt sich sowohl mit Hilfe nicht-parametrischer Verfahren (z.B. DEA) wie auch stochastischer Methoden (z.B. SFA) bestimmen. Im weiteren betrachtet werden Malmqvist-Indizes, die auf der Basis der DEA berechnet werden und denen die effiziente Verwendung von Inputs zugrunde liegt (inputmengenorientierte DEA); möglich ist allerdings auch eine outputmengenorientierte Sichtweise. Die Ergebnisse stimmen jedoch nur überein, wenn von CRS ausgegangen wird. Die Malmqvist-DEA misst dabei die Veränderung der TFP zwischen zwei  $(x, y)$ -Güterbündeln. Diese werden unter Ver-

---

<sup>35</sup> Zum Malmquist-Index vgl. Caves u.a. (1982a) und Coelli u.a. (2005: 67ff.).

wendung von sog. Inputdistanzfunktionen, deren funktionale Form gegeben sein muss, zu einer bestimmten, auf einer bekannten Referenztechnologie basierenden Effizienzgrenze in Bezug gesetzt.<sup>36</sup>

Abbildung 1: Inputmengenorientierte Malmqvist-DEA mit CRS



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Inputdistanzfunktionen haben einen Wert von über Eins, wenn eine in Relation zum gegebenen Output zu große Inputmenge eingesetzt wird, das Unternehmen also ineffizient arbeitet. Die Berechnung des Produktivitätsfortschritts soll beispielhaft an Abbildung 1 erläutert werden. Im Punkt D und bezogen auf die Technologie der Periode t-1 gilt also  $x_c/x_b > 1$  und für Punkt E  $x_d/x_e < 1$ . In der Periode t gilt dementsprechend für Punkt D  $x_c/x_a > 1$  und für Punkt E  $x_d/x_c > 1$ . Wird die Effizienzgrenze der Periode t als Referenz herangezogen, so ergibt sich die Veränderung der TFP zwischen den beiden Perioden als:<sup>37</sup>

$$(3-16) \quad \Delta TFP = TFP_t / TFP_{t-1} = \frac{x_c/x_a}{x_d/x_c}$$

Allerdings ist der Produktivitätsfortschritt nicht ausschließlich durch eine Verbesserung der technischen Effizienz, sondern z.B. ebenso durch technischen Fortschritt bedingt,

<sup>36</sup> Zu den Malmquist-DEA-TFP-Indizes vgl. Coelli u.a. (2003: 47ff.).

<sup>37</sup> Bei der Inputorientierung ist darauf zu achten, dass die Produktivität reziprok zu den Inputdistanzfunktionen ist; deshalb erscheinen die Distanzen für  $TFP_{t-1}$  im Zähler und für  $TFP_t$  im Nenner.

der seinen Ausdruck in der Verlagerung der Technologie findet. Zudem kann die Variation der TFP auch in Bezug auf die Effizienzgrenze der Periode t-1 gemessen werden. Aus diesem Grund wird die Veränderung der TFP vielfach mit Hilfe des geometrischen Mittels der Malmqvist-Indizes zweier Perioden ermittelt.

$$(3-17) \quad \Delta TFP = TFP_t / TFP_{t-1} = \left[ \frac{x_c/x_b}{x_d/x_e} \cdot \frac{x_c/x_a}{x_d/x_c} \right]^{0,5} = \underbrace{\frac{x_c/x_b}{x_d/x_e}}_{\Delta TE} \cdot \underbrace{\left[ \frac{x_c/x_a}{x_c/x_b} \cdot \frac{x_d/x_c}{x_d/x_e} \right]}_{\Delta TF}^{0,5}$$

Die obige Gleichung drückt die Veränderung der totalen Faktorproduktivität als Produkt der Wachstumsrate der technischen Effizienz ( $\Delta TE$ ) und der Wachstumsrate des technischen Fortschritts ( $\Delta TF$ ) – gemessen als geometrisches Mittel – aus, d.h.

$$(3-18) \quad \Delta TFP = \Delta TE \cdot \Delta TF.$$

Sofern eine Technologie mit variablen Skalenerträgen (VRS) vorliegt, kann der Index um eine dritte Komponente erweitert werden, die die Veränderung der Skaleneffizienz ( $\Delta SE$ ) misst:<sup>38</sup>

$$(3-19) \quad \Delta TFP = \Delta TE \cdot \Delta TF \cdot \Delta SE$$

### 3.1.6 Vergleich der Indizes

Angesichts der aufgezeigten Vorteile ist der Malmqvist-Index grundsätzlich gegenüber den QIN zu präferieren. Sollten die notwendigen Daten jedoch nicht vorliegen, so muss man auf die anderen Indizes ausweichen. Dabei können folgende Abschätzungen getroffen werden:<sup>39</sup>

- Der Malmqvist-Inputindex für die Periode t-1 (Basisperiode) wird nach oben durch den Laspeyres-Outputindex und den Paasche-Inputindex, der Malmqvist-Inputindex der Periode t wird nach unten durch den Paasche-Outputindex und den Laspeyres-Inputindex begrenzt.
- Das geometrische Mittel der Malmqvist-Inputindizes entspricht unter der Annahme quadratischer Produktionsfunktionen dem Fisher-Inputindex und bei Translog-Produktionsfunktionen dem Törnqvist-Inputindex; Gleiches gilt für die Outputindizes. Somit kann auch ein entsprechender Zusammenhang für die Produktivitätsindizes formuliert werden.

<sup>38</sup> Vgl. z.B. Färe u.a. (1994) und Coelli u.a. (2005: 58ff.).

<sup>39</sup> Vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 118ff.).

Bezüglich des Törnqvist-Index gilt unter bestimmten Bedingungen (gleiche Koeffizienten zweiter Ordnung, allokativer und technischer Effizienz, CRS) sowohl bei input- als auch bei outputmengenorientierter Betrachtung:

$$(3-20) \text{ Malmquist – Index} = \frac{\text{Törnqvist – Outputindex}}{\text{Törnqvist – Inputindex}}.$$

Aus der Analyse der QIN in den Abschnitten 3.1.2 und 3.1.3 lässt sich direkt die Vorteilhaftigkeit des Fisher- und Törnqvist-Index gegenüber dem Laspeyres- und Paasche-Index ableiten. Bei einem Vergleich des Fisher- mit dem Törnqvist-Index spricht die universellere Verwendbarkeit der Translog-Produktionsfunktion für die Nutzung des Törnqvist-Index; auch beim Gebrauch von Kettenindizes ist der Törnqvist-Index aufgrund seiner Transitivitätseigenschaft zu präferieren. Nachteile des Törnqvist-Index sind das Erfordernis von Gegenwartsdaten sowie die sich fortlaufend ändernden Gewichte. Die Verwendung des Fisher-Index führt bei der direkten und indirekten Methode zum gleichen Ergebnis; außerdem nutzt er den Laspeyres- und den Paasche-Index. Ein eindeutiges Urteil ist somit in Bezug auf den Fisher- und Törnqvist-Index nicht möglich. In der Praxis kommt jedoch der Törnqvist-Index häufiger zur Anwendung.

## 3.2 Datenumhüllungsanalyse

### 3.2.1 Grundsätzliche Erwägungen

Während die zuvor behandelte Methode der Indexzahlen der Ermittlung des Produktivitätsfortschritts dient, werden die in den Abschnitten 3.2 und 3.3 vorgestellten Frontier-Ansätze bzw. Benchmarking-Verfahren eingesetzt, um anhand von Kennzahlen die relative Effizienz von Unternehmen in Relation zu einer Grundgesamtheit zu ermitteln. Maßgeblich für den Effizienzvergleich ist jedoch nicht der Durchschnitt, sondern eine aus den Daten der besten Unternehmen generierte Effizienzgrenze (efficiency frontier). Hierfür sind verschiedene Algorithmen (Benchmarking-Modelle) verfügbar.

Nachfolgend soll zuerst die Anwendung von Verfahren der linearen Programmierung (nicht-parametrische Verfahren) beispielhaft anhand der Datenumhüllungsanalyse (Data Envelopment Analysis, DEA) erläutert werden. Sie ist im Allgemeinen deterministisch, kann aber in Form der Chance Constrained-DEA auch stochastischen Charakter haben.<sup>40</sup> Die abschnittsweise lineare Effizienzgrenze wird dabei mittels eines linearen Optimierungsverfahrens bzw. der Sequenz linearer Programme für jede einzelne Beo-

---

<sup>40</sup> Vgl. z.B. Land u.a. (1993) und Cooper u.a. (2000: 266ff.). Die Chance Constrained-DEA geht davon aus, dass sich die Variablen stochastisch verhalten. Somit sind die Mittelwerte von Relevanz; Inputs und Outputs können auf beiden Seiten der Effizienzgrenze liegen. Die Chance Constrained-DEA kann auch den Einfluss falscher Daten begrenzen.

bachtung bestimmt. Spezielle Annahmen an die Form der Produktions- bzw. Kostenfunktionen sind dabei nicht notwendig.

Wie auch bei den später diskutierten parametrischen Ansätzen steigt mit der Anzahl der in die DEA einbezogenen Unternehmen die Qualität des Effizienzvergleichs, da die Grenze auf mehr Beobachtungen beruht. Aufgrund der besonderen Eigenschaften der linearen Optimierung hat jedoch die Unternehmensanzahl gerade bei der DEA eine ausgeprägtere Wirkung auf das Benchmarking-Ergebnis eines einzelnen Unternehmens. Werden weitere Unternehmen in das Optimierungskalkül einbezogen, so verschlechtert sich tendenziell die unternehmensindividuelle Performance, da ggf. neue bindende Restriktionen hinzutreten und somit die Effizienzanforderungen verschärft werden. Nur wenn die Bedingungen nicht obligatorisch sind, sind zusätzliche Unternehmen für die Ermittlung der Effizienzgrenze bedeutungslos. Nimmt hingegen die Anzahl der relevanten Outputs und Inputs zu, so verbessert sich das individuelle Effizienzergebnis eines Unternehmens, da weitere Variablen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass ein Unternehmen relativ effizient ist. So eröffnet z.B. ein zusätzlicher Input die Option, dass ein Unternehmen bezüglich der relevanten Inputkombination einen maximalen Output realisiert. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Anzahl der Unternehmen größer sein sollte als das Produkt aus der Anzahl der Inputs und Outputs.<sup>41</sup>

Beschränkt man sich auf eine mengenmäßige Analyse von Outputs und Inputs, so sind für eine DEA auch keine Informationen über das Preissystem notwendig. Außerdem kann die DEA so konstruiert werden, dass die Ergebnisse invariant gegenüber den verwendeten Mengeneinheiten sind. Weiterhin kann die DEA als Verallgemeinerung der eindimensionalen Produktivitätsanalyse angesehen werden. Werden mehrere Inputs und Outputs betrachtet, so müssen diese im Hinblick auf die Produktivitätsbestimmung gewichtet werden. Bei der DEA werden die Gewichte endogen bestimmt, indem man den Quotienten aus den gewichteten Outputs und Inputs maximiert.

### 3.2.2 Inputmengenorientierte Betrachtung

#### 3.2.2.1 Einführende Bemerkungen

Die Betrachtung der DEA erfolgt nun zuerst mengenbezogen, d.h. es werden nur die verwendeten Inputmengen und die durch sie erstellten Outputmengen herangezogen,

---

<sup>41</sup> Unter dem Stichwort „rule of thumb“ wird in der Literatur auch darauf verwiesen, dass die Anzahl der Beobachtungen die Summe aus Inputs und Outputs um mindestens das Zwei- bis Dreifache übertreffen sollte („course of dimensionality“). Die erforderlichen Daten sollten zudem exponentiell mit der Anzahl der Modellparameter ansteigen. Vgl. z.B. Cooper u.a. (2000: 252). Eine weitere Daumenregel für einen ersten Plausibilitätscheck der DEA-Ergebnisse besagt, dass das Produkt aus der Anzahl der Inputs und der Anzahl der Outputs näherungsweise die Anzahl derjenigen Einheiten angeben sollte, die sich als effizient herausstellen dürften. Vgl. Coelli u.a. (2005: 136f.).

um Aussagen zur technischen Effizienz zu treffen; es sind also keine Informationen über die Input- und Outputpreise notwendig.<sup>42</sup> Außerdem wird unterstellt, dass der Einsatz der Produktionsfaktoren im Hinblick auf die Erzielung eines bestimmten Produktionsniveaus optimiert bzw. minimiert wird (inputmengenorientierte Analyse).

Unter der Voraussetzung von CRS vergleicht die DEA alle Unternehmen einer Grundgesamtheit miteinander und geht implizit davon aus, dass diese gleich groß sind. Gemäß Abbildung 2 a) liegt die Effizienzgrenze auf einem Fahrstrahl, dessen Steigung durch den Produktionspunkt des Unternehmens V bestimmt wird, das die höchste Produktivität bzw. die niedrigsten Durchschnittskosten aufweist;<sup>43</sup> alle anderen Unternehmen arbeiten technisch weniger effizient. Allerdings wird dabei vernachlässigt, dass einige Unternehmen aufgrund von Größen-, Skalen- oder Dichteeffekten keine optimale Betriebsgröße aufweisen.

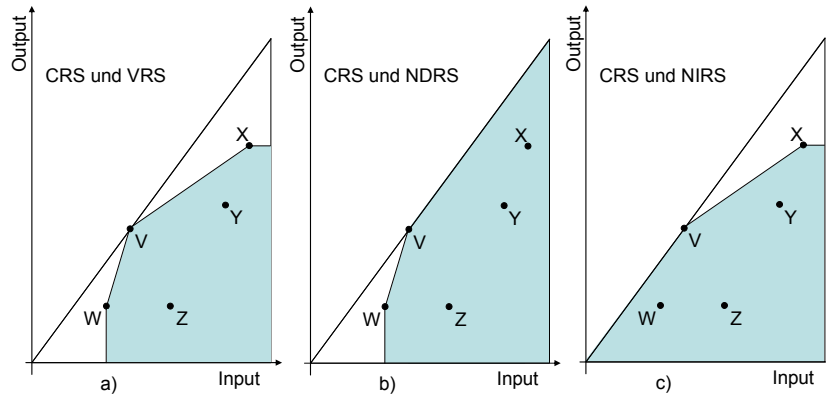
Aus diesem Grund berücksichtigt die DEA auch VRS. Wie Abbildung 2 a) veranschaulicht, wird die Effizienzgrenze dabei nicht nur aus dem Produktionspunkten der Unternehmen W, V und X gebildet. Auf diese Weise können die relativen Effizienzen des kleineren Unternehmens W (steigende Skalenerträge) und des größeren Unternehmens X (fallende Skalenerträge) einbezogen werden. Die Abbildungen 2 b) und 2 c) stellen alternativ Technologien mit ausschließlich nicht-fallenden (NDRS) bzw. nicht-steigenden Skalenerträgen (NIRS) dar. Bei einer Untersuchung muss also berücksichtigt werden, ob Skaleneffekte relevant sind und ob die Unternehmen im Bereich steigender, konstanter oder fallender Skalenerträge operieren. Dabei ist zuerst ein Vergleich der Ergebnisse unter verschiedenen Annahmen vorzunehmen; sofern die Werte nicht wesentlich voneinander abweichen, sind die Skaleneffekte irrelevant. Es muss jedoch berücksichtigt werden, ob die betroffenen Unternehmen alleinverantwortlich über ihre Größe entscheiden können.

---

<sup>42</sup> Allerdings kann eine DEA mit Preisinformationen sowohl die technische als auch die allokativen Effizienz abbilden. Vgl. Abschnitt 3.2.5.

<sup>43</sup> Aufgrund der Dualität von Produktions- und Kostenfunktionen ist es bei ausreichend definierten Annahmen möglich, direkt aus der Produktionsfunktion auf den Verlauf der Kostenfunktion zu schließen. So bewirken CRS über den gesamten Bereich der relevanten Nachfrage konstante Grenz- und Durchschnittskosten, während DRS zu steigenden Grenz- und Durchschnittskosten führen.

Abbildung 2: Skalenerträge und DEA



wik

Quelle: Eigene Darstellung WIK.

### 3.2.2.2 Konstante Skalenerträge

Das CRS-Modell der DEA nimmt an, dass alle Unternehmen im Betriebsoptimum, d.h. mit konstanten Skalenerträgen, operieren.<sup>44</sup> Hieraus ergibt sich folgendes lineares Optimierungsproblem der sog. Umhüllungsform:

$$(3-21) \min_{\theta, \lambda} \theta \quad \text{s.t.} \quad -y_i + Y\lambda \geq 0; \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0; \quad \lambda \geq 0; \quad 0 < \theta \leq 1$$

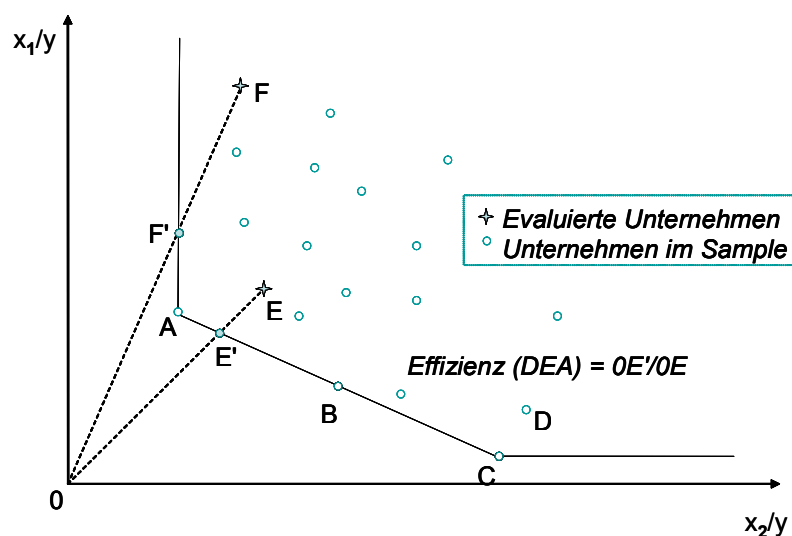
Hierbei stellen  $y_i$  und  $x_i$  die Output- und Inputvektoren von Unternehmen  $i$  sowie  $X$  und  $Y$  die  $N \times I$ - bzw.  $M \times I$ -Matrizen der Input- bzw. Outputmengen aller Unternehmen dar (mit  $I$  Unternehmen,  $N$  Inputs und  $M$  Outputs). Der Skalar  $\theta$  ist der zu minimierende Inputanteil, und die  $I \times 1$ -Vektoren  $\lambda$  repräsentieren die zu optimierenden Gewichte für die Input- bzw. Output-Matrizen.

Die lineare Programmierung ist für alle  $I$  Unternehmen separat durchzuführen. Nach Gleichung (3-21) sind in Bezug auf den Benchmark des effizienten Unternehmens die Inputmengen proportional zu minimieren, d.h. der Inputvektor strahlförmig zu stauchen, ohne dass der zulässige Inputraum – begrenzt durch eine abschnittsweise lineare Isoquante – verlassen und die vorgegebene Outputmenge reduziert wird. Das Ergebnis ist eine Projektion des Inputvektors auf die Oberfläche der Technologie. Der relative Effizienzwert  $\theta$  gibt für jedes Unternehmen an, mit wie viel Prozent des tatsächlich benötigten Inputs es auskommen könnte. Bei  $\theta = 1$  arbeitet das Unternehmen technisch effizient.

<sup>44</sup> Zur DEA mit CRS vgl. Charnes u.a. (1978). Für eine Einführung vgl. Cooper u.a. (2000: 2ff., 41ff.) und Coelli u.a. (2005: 162ff.).



Abbildung 3: Inputmengenorientierte DEA mit CRS



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Abbildung 3 betrachtet eine Effizienzgrenze unter der Voraussetzung, dass eine Mengeneinheit des Outputs  $y$  mit den beiden Inputs  $x_1$  und  $x_2$  erzeugt wird. Die Grenze wird dabei von den technisch effizienten Unternehmen A, B und C gebildet. Unter Berücksichtigung grundsätzlicher Annahmen an die Produktionstechnologie arbeiten die Unternehmen D, E und F ineffizient. Darüber hinaus werden nicht nur die jeweils besten Unternehmen identifiziert, sondern auch diejenigen, die bestimmte ineffiziente Ergebnisse dominieren. So ist z.B. Unternehmen E aufgrund der Vorgaben der Unternehmen A und B als ineffizient einzustufen. Grafisch lässt sich der (technische) Effizienzwert aus dem Streckenmaß  $\theta_E = 0E'/0E < 1$  berechnen.<sup>45</sup> Grundsätzlich gilt äquivalent auch für Unternehmen F, dass  $\theta_F = 0F'/0F < 1$  ist. Allerdings ist der Bezugspunkt F' im Verhältnis zu Unternehmen A immer noch als ineffizient einzustufen, da für die gleiche Outputmenge zu viel an  $x_1$  verbraucht wird; er kann deshalb nicht als Bezugspunkt verwendet werden. In der Literatur wird dieses Phänomen als Input-Slack bzw. Input-Schlupf bezeichnet.

<sup>45</sup> Zum Konzept der Distanzfunktionen vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 47ff.). Die Effizienz wird anhand eines Ursprungsstrahls gemessen, der durch den Produktionspunkt verläuft. Sie ist zugleich der Kehrwert einer Input- bzw. einer Output-Distanzfunktion. Ein wesentlicher Vorteil von Distanzfunktionen ist die Invarianz gegenüber den gewählten Maßeinheiten.

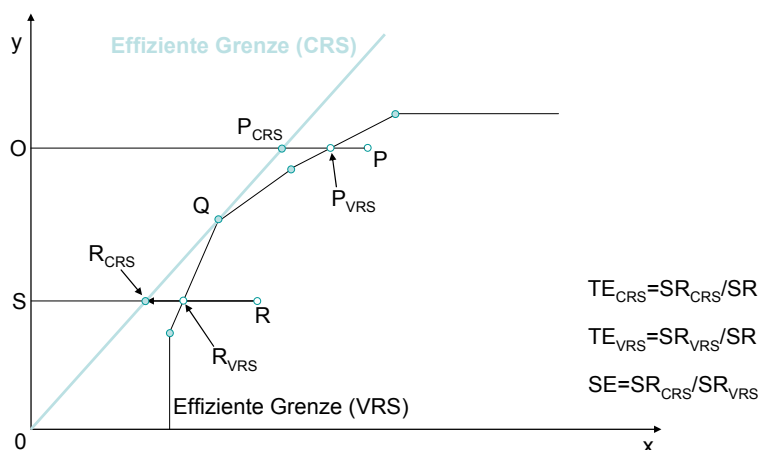
### 3.2.2.3 Variable Skalenerträge

Abweichend von der vorherigen Analyse ist es durchaus vorstellbar, dass nicht alle Unternehmen eine optimale Betriebsgröße aufweisen; potentielle Gründe können unvollständiger Wettbewerb, Finanzierungsrestriktionen und Rechtsvorschriften sein. Liegen unterschiedliche Unternehmensgrößen und damit VRS vor, so muss gemäß Gleichung (3-22) zwischen technischer Effizienz und Skaleneffizienz differenziert werden.<sup>46</sup>

$$(3-22) \min_{\theta, \lambda} \theta \quad s.t. \quad -y_i + Y\lambda \geq 0; \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0; \quad I1'\lambda = 1; \quad \lambda \geq 0$$

Die Nebenbedingung  $I1'\lambda = 1$ , in der  $I1'$  einen  $1 \times 1$ -Vektor von Einsen bildet, stellt die Konvexität der ermittelten Hülle sicher. Mit der Normierung der Konstanten auf Eins wird gewährleistet, dass ineffiziente Unternehmen nur mit effizienten Ausprägungen verglichen werden, die eine ähnliche Größe haben.

Abbildung 4: Inputmengenorientierte DEA mit VRS



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Der Unterschied zwischen technischer Effizienz und Skaleneffizienz kann auf einen Vergleich der Ergebnisse einer DEA bei CRS und VRS zurückgeführt werden. Die Ergebnisse bei VRS sind dann in Skalen- und technische Ineffizienzen zu zerlegen. Unterscheidet sich die technische Ineffizienz bei CRS und VRS, so liegen Skaleneffizienzen vor. Wie Abbildung 4 für den Fall eines Inputs  $x$  und eines Outputs  $y$  zu entnehmen ist, sind die Resultate für Unternehmen  $Q$  in beiden Fällen identisch; es liegen technische Effizienz und konstante Skalenerträge vor (technisch optimale Skalengröße).

<sup>46</sup> Zur DEA mit VRS vgl. Banker u.a. (1984). Für eine Einführung vgl. Cooper u.a. (2000: 85ff.) und Coelli u.a. (2005: 172ff.).

ße). Bei Unternehmen R (steigende Skalenerträge) weichen die Ergebnisse hinsichtlich des Grades der technischen Effizienz ab, so dass Skaleneffekte zu beobachten sind. Ermittelt man für R die technischen Effizienzen und die Skaleneffekte mit Hilfe von Distanzfunktionen, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} TE_{CRS} &= SR_{CRS} / SR < 1 \\ (3-23) \quad TE_{VRS} &= SR_{VRS} / SR < 1 \\ \Rightarrow SE &= TE_{CRS} / TE_{VRS} = SR_{CRS} / SR_{VRS} < 1 \end{aligned}$$

Dabei zeigt ein Skaleneffizienzmaß von kleiner Eins an, dass die Effizienz gesteigert werden kann, indem eine Anpassung an die technisch optimale Produktionsgröße erfolgt.

Allerdings ist keine Unterscheidung zwischen steigenden und fallenden Skalenerträgen möglich, wie in Bezug auf Unternehmen P (fallende Skalenerträge) zu sehen ist. Auch hier gilt, dass  $OP_{CRS}/OP_{VRS} < 1$  ist. Genauere Resultate sind nur abzuleiten, wenn in NDRS und NIRS unterschieden und eine weitere DEA mit der Nebenbedingung  $11'\lambda \leq 1$  (Restriktion für NIRS) durchgeführt wird. Auch können mehrere Unternehmen (mit unterschiedlichem Output) konstante Skalenerträge aufweisen. Die Effizienzgrenzen verlaufen dann links und rechts von Q in einer effizienten Zone parallel zueinander.

### 3.2.3 Outputmengenorientierte Perspektive

Anstelle der Minimierung der Inputmenge unter der Vorgabe eines bestimmten Outputniveaus kann auch ein Ansatz gewählt werden, bei dem für einen bestimmten Inputvektor die maximale, technisch effizient erzeugte Outputmenge ermittelt wird. Zu diesem Zweck ist auf eine outputmengenorientierte DEA zurückzugreifen, wobei Output-Distanzfunktionen zum Einsatz kommen. Unter der Annahme von CRS liefert die Effizienzanalyse beim input- und outputmengenorientierten Ansatz das gleiche Ergebnis (Dualitätsprinzip). Bei VRS sind die Resultate jedoch unterschiedlich.<sup>47</sup>

Die lineare Optimierung einer outputmengenorientierten DEA bei CRS erfolgt gemäß Gleichung (3-24):

$$(3-24) \quad \min_{\phi, \lambda} \phi \quad s.t. \quad -\phi y_i + Y\lambda \geq 0; \quad x_i - X\lambda \geq 0; \quad \lambda \geq 0; \quad 1 \leq \phi < \infty$$

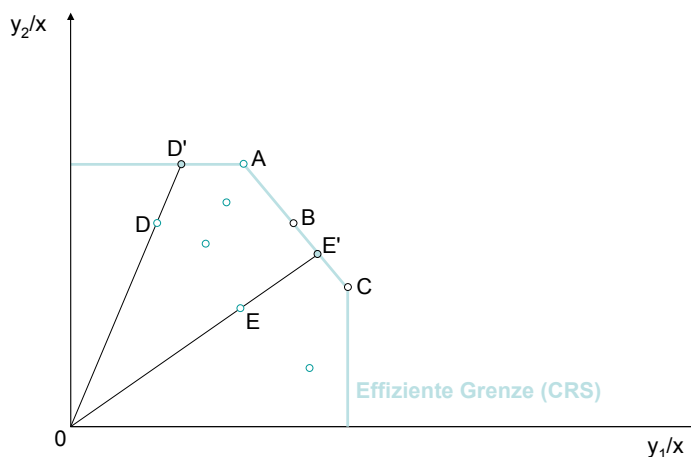
Nach dieser Gleichung sind in Bezug auf den Benchmark des effizienten Unternehmens die Outputvektoren strahlförmig zu verlängern, ohne dass die vorgegebene Inputmenge erhöht und der vorgegebene Outputraum verlassen wird. Der technische Effizienzwert eines Unternehmens ergibt sich aus  $1 \leq 1/\Phi < \infty$ .

---

<sup>47</sup> Für eine Einführung vgl. Cooper u.a. (2000: 8ff., 58ff.) und Coelli u.a. (2005: 180f.).

In Abbildung 5 ist eine Situation dargestellt, in der mehrere Unternehmen mit jeweils einem Input  $x$  zwei unterschiedliche Outputs  $y_1$  und  $y_2$  erzeugen. Die Punkte A, B und C determinieren die Effizienz- bzw. Produktionsmöglichkeitsgrenze unter der CRS-Annahme. Die durch D und E repräsentierten Unternehmen sind hingegen als ineffizient einzustufen, da sie innerhalb der Produktionsmöglichkeitsmenge ihren Output erhöhen könnten, ohne gleichzeitig die Inputmenge zu steigern. Für das durch E dargestellte Unternehmen lässt sich der (technische) Effizienzwert aus dem Streckenmaß  $\Phi_E = OE/OE' < 1$  berechnen. Bei Unternehmen D ist jedoch wiederum darauf hinzuweisen, dass der Referenzpunkt D' in Bezug zu Unternehmen A ineffizient ist, da mit der gleichen Inputmenge der Output von  $y_1$  gesteigert werden könnte, ohne den Output von  $y_2$  zu verringern (Output-Slack bzw. Output-Schlupf).

Abbildung 5: Outputmengenorientierte DEA mit CRS



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Ob für die Eisenbahnwirtschaft die input- oder outputmengenorientierte Methode vorzuziehen ist, hängt u.a. vom Untersuchungsgegenstand ab. Im Gegensatz zu den ökonomischen Verfahren braucht man gerade bei der DEA jedoch keine kausale Beziehung zwischen den relevanten Größen festzulegen. Als sinnvoll erscheint es deshalb zu klären, ob die Unternehmen eher auf die Inputs oder die Outputs Einfluss haben. Eisenbahninfrastrukturunternehmen dürften generell eine größere Kontrolle über die Inputs haben (z.B. Personal, Infrastrukturausstattung und -instandhaltung, Ersatzinvestitionen). Die Erbringung von Verkehrsleistung und Nachfrage wird durch viele andere Faktoren determiniert, wie z.B. demografische und gesamtwirtschaftliche Entwicklungen. Andererseits sind auch für Erweiterungs- und Neuinvestitionen nicht nur unternehmerische Kriterien maßgeblich, und der Arbeitskräfteumfang kann kurzfristig nicht beliebig reduziert werden. Zudem muss sichergestellt sein, dass der inputmengenorien-

tierte Minimierungsansatz nicht dazu führt, dass die zur Beseitigung von Kapazitätsengpässen notwendigen Investitions- und Instandhaltungsmaßnahmen unterbleiben.

### 3.2.4 Bestimmung von Indizes

Mit Hilfe der DEA kann die relative Effizienz  $\rho$  eines Unternehmens auch als Verhältnis des gesamten gewichteten Outputs (virtueller Output) zum gesamten gewichteten Input (virtueller Input) ermittelt werden. Die Gewichte (virtuelle Multiplikatoren) werden durch eine lineare Programmierung bestimmt. Bei jeder Beobachtung sind die Gewichte  $\alpha$  und  $\beta$  so zu wählen, dass der eigene Effizienzwert maximiert wird. Dabei werden die höheren Gewichte denjenigen Inputs zugewiesen, die relativ weniger gebraucht werden, bzw. denjenigen Outputs, die relativ mehr erzeugt werden. Der DEA-Effizienzindex  $\rho^*$  eines Unternehmens  $h$  ist das Maximum der Output-Input-Quotienten. Ein Wert von Eins impliziert, dass die Beobachtung auf der Effizienzgrenze liegt; bei Ineffizienz ist der Wert kleiner als Eins.

$$(3-25) \quad \rho_h^* = \max \frac{\sum_{j=1}^J \alpha_j y_{jh}}{\sum_{k=1}^K \beta_k x_{kh}} \quad \text{s.t.} \quad \frac{\sum_{j=1}^J \alpha_j y_{ji}}{\sum_{k=1}^K \beta_k x_{ki}} \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n; \alpha_j, \beta_k > 0$$

### 3.2.5 Preisbasierter Ansatz

Da vielfach keine oder nur unzureichende Informationen über Marktpreise verfügbar sind, beschränkt sich die DEA oftmals auf eine rein mengenbezogene Betrachtung zur Ermittlung technischer Ineffizienzen. Sind hingegen Angaben zu den Input- und Outputpreisen zugänglich, und ist ferner davon auszugehen, dass alle Unternehmen das gleiche Unternehmensziel (Kostenminimierung, Erlös- oder Gewinnmaximierung) verfolgen, so kann mittels der DEA außer der technischen auch die allokativen Effizienz überprüft werden. Inputs und Outputs werden mit den tatsächlichen Preisen bewertet, um neben dem Faktorverbrauch bzw. der Gütererzeugung auch den Werteverzehr bzw. die Wertschöpfung abbilden zu können.<sup>48</sup>

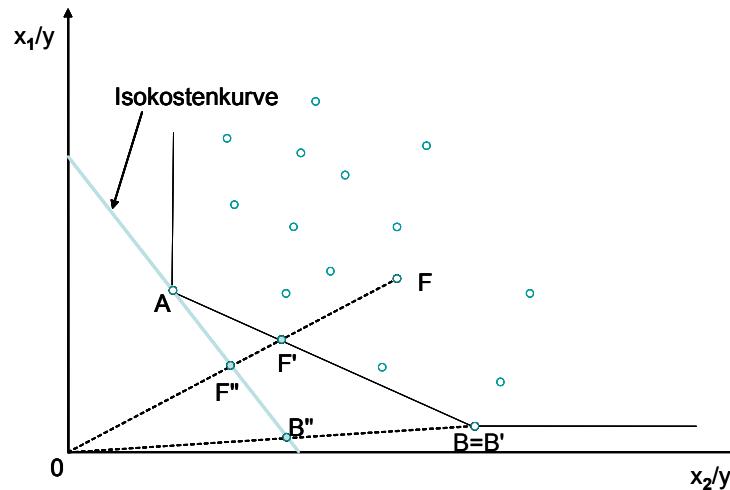
Bei einer preisbezogenen Analyse sollte grundsätzlich dem Ansatz der Kostenminimierung – und damit einer inputorientierten Betrachtung – der Verzug gegeben werden, da die Unternehmen im Eisenbahninfrastruktursektor über Marktmacht verfügen oder sogar als natürliche Monopolisten agieren. Somit können sie Erlöse und Gewinne ebenso wie die Produktivität und Effizienz unter Ausnutzung der Beeinflussbarkeit der Outputpreise steigern, was den Zielen einer Preisregulierung zuwider läuft. Bei Anwendung

---

<sup>48</sup> Zum Folgenden vgl. z.B. Coelli u.a. (2005: 52ff.).

der Hypothese der Kostenminimierung ist dann allerdings zu fordern, dass für alle Unternehmen die Inputpreise exogen vorgegeben sind.

Abbildung 6: Kosteneffizienz bei inputorientierter DEA mit CRS



wik

Quelle: Eigene Darstellung WIK.

In Abbildung 6 ist die Erstellung einer Einheit des Outputs  $y$  unter Verwendung der beiden Inputs  $x_1$  und  $x_2$  dargestellt. Das durch Punkt A symbolisierte Unternehmen arbeitet sowohl allokativ als auch technisch effizient, da die Isokostenkurve (bestimmt durch den Punkt A und das Verhältnis der Inputpreise) die Effizienzgrenze in A berührt. Das durch F dargestellte Unternehmen ist hingegen in Bezug auf beide Kriterien ineffizient. Die technische Effizienz wird dabei durch das Maß  $TE_F = OF'/OF$  (Abstand zwischen Inputgüterbündel und Effizienzgrenze), die allokativen Effizienz durch das Maß  $AE_F = OF''/OF'$  (Abstand zwischen Isokostenkurve und Effizienzgrenze) bestimmt. Die Kosteneffizienz CE berechnet sich als Produkt aus den Kennzahlen für die technische und die allokativen Effizienz (Abstand zwischen Inputgüterbündel und Isokostenkurve):

$$(3-26) \quad CE_F = TE_F \cdot AE_F = \frac{OF'}{OF} \cdot \frac{OF''}{OF'} = \frac{OF''}{OF}$$

Für Unternehmen B ist das Maß der Kosteneffizienz ( $CE_B = OB''/OB$ ) identisch mit dem für die allokativen Effizienz ( $AE_B = OB''/OB'$ ), da es aufgrund seiner Lage auf der Effizienzgrenze lediglich als technisch effizient einzustufen ist ( $TE_B = OB'/OB = 1$ ).<sup>49</sup>

<sup>49</sup> Bei einer output- bzw. erlösorientierten Darstellung ist anstelle einer Isokostenkurve eine Isoerlöskurve zu verwenden. Deren Verlauf ergibt sich aus der Lage des allokativ effizienten Produktionspunktes und der Relation der Outputpreise. Technische und allokativen Effizienz können grafisch auf die gleiche Weise ermittelt werden wie bei der kostenbezogenen DEA. Auch die Erlöseffizienz ist ein Produkt aus der technischen und allokativen Effizienz.

Die Vorzugswürdigkeit einer kostenbezogenen DEA gegenüber einer inputmengenorientierten Betrachtung ist vor allem dann gegeben, wenn Möglichkeiten der Kostenverlagerung, z.B. über Outsourcing und Leasing, bestehen, um die Effizienzwerte zu verbessern. Wird die Erbringung bestimmter Dienstleistungen an ein drittes Unternehmen vergeben, so geht der eigene Ressourceneinsatz zurück, und die Effizienz nimmt zu. Die für die Beurteilung des Durchschnittsertrages notwendige Berücksichtigung sämtlicher Kapital- und Betriebskosten ist jedoch nur bei Einbeziehung der Inputpreise, d.h. unter Verwendung der kostenbezogenen DEA, möglich.

### 3.2.6 Vorzüge und Nachteile der Datenumhüllungsanalyse

Die Vorteilhaftigkeit nicht-parametrischer Verfahren und speziell der DEA liegt darin begründet, dass sie relativ wenige Daten benötigen, auch bei mehreren Inputs und Outputs einfach handhabbar sind, keine funktionale Form der Effizienzgrenze voraussetzen und Verteilungsannahmen an die Ineffizienzterme unnötig sind. Allerdings ist im Hinblick auf die Ableitung robuster Schätzergebnisse auch bei der DEA eine Datenbasis von mehreren Jahren vorteilhaft. Die zu ermittelnden Effizienzwerte hängen stark von der Best-practice sowie von der Auswahl der Inputs und Outputs ab. Aussagen zur statistischen Signifikanz der Ergebnisse, zu den Beziehungen zwischen Inputs und Outputs und zur Relevanz der Umweltvariablen sowie Hypothesentests sind nicht möglich.

Insbesondere werden die Ergebnisse aber stark von Ausreißern und Messfehlern bestimmt, wobei der Einfluss durch Störterme nicht identifizierbar ist. Dies hat zur Folge, dass bei der DEA alle Abweichungen von der Effizienzgrenze als Kennzeichen einer Ineffizienz eingestuft werden, da keine Konfidenzintervalle oder andere Verfahren zur Berücksichtigung von Abweichungen vorgesehen sind. Fehlerhaft erhobene oder verarbeitete Daten (typografische Fehler, ungültige Beobachtungen) führen somit dazu, dass einzelne Unternehmen schlechter bewertet werden oder die Effizienzgrenze verlagert wird. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Daten bei der Vor- und Aufbereitung genau auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen, vor allem wenn sie direkt bei den betroffenen Unternehmen erhoben werden (einheitliche Maßgrößen, Identifizierung von Ausreißern und Schlupfen). Falsche Ergebnisse sind nämlich gerade dann besonders problematisch, wenn sie – wie die X-Faktoren – eine zentrale Rolle bei der Preisregulierung spielen.

### 3.3 Parametrische Verfahren

#### 3.3.1 Vorbemerkungen

Ökonometrische bzw. parametrische Verfahren bestimmen den Produktivitätsfortschritt bzw. die Effizienzgrenze mittels statistischer Regressionsverfahren, indem sie die maßgeblichen Parameter schätzen. Während für die Ermittlung des Produktivitätsfortschritts Produktions- und Kostenfunktionen herangezogen werden, nutzt man für die Effizienzanalyse alternativ die Methode der kleinsten Quadrate in der Grundform (Ordinary Least Squares, OLS) und ihre Weiterentwicklungen, wie z. B. die Corrected Ordinary Least Squares (COLS), die Modified Ordinary Least Squares (MOLS), die Displaced Ordinary Least Squares (DOLS), nicht-lineare Varianten und zwei- oder dreistufige Formen, das Uniform Efficiency Model, das Unobserved Component Model und die SFA. Hierbei handelt es sich überwiegend um stochastische, auf Hypothesen beruhende Verfahren, die zufällige Schwankungen bzw. Ausreißer in der Daten- bzw. Effizienzbewertung berücksichtigen und die die Effizienzgrenze statistisch korrigieren (z.B. MOLS, SFA). Sind diese Merkmale nicht erfüllt, so spricht man von deterministischen Verfahren (z.B. OLS, COLS). Entscheidend für die Einstufung ist, ob der Ineffizienzterm als stochastisch oder deterministisch angesehen wird.

Charakteristisch für parametrische Verfahren ist die Annahme, dass alle untersuchten Unternehmen mit einer ausreichend ähnlichen Produktionsfunktion arbeiten. Erst dann können aus den Kosten- oder Produktionsstrukturen der Unternehmen Rückschlüsse auf die verwendete Technologie gezogen werden. Die Anwendung der Schätzgleichungen hat also zur Folge, dass vorab Annahmen über den Verlauf der unbekanntes Produktionsfunktion zu treffen sind (z.B. Cobb-Douglas, Translog); diese lassen sich dann mittels statistischer Testverfahren auf ihre Plausibilität hin überprüfen. Damit verbunden ist jedoch auch der Vorteil, dass die Ursachen des Produktivitätsfortschritts (technischer Fortschritt, Effizienz) identifiziert werden können.

Parametrische Verfahren haben zudem den Vorzug, dass mit ihnen nicht nur Produktionsfunktionen, sondern unter bestimmten mikroökonomischen Annahmen auch Gewinn- oder Kostenfunktionen geschätzt werden können, was gerade bei mehreren Outputs zu präferieren ist. Ob man eine Produktions- oder Kostenfunktion verwendet, hängt jedoch auch von der Verfügbarkeit der Inputmengen- und -preisdaten ab. Zudem ist die Plausibilität der Zielfunktionen zu hinterfragen. Die Verwendung von Gewinnfunktionen ist wegen der aus der Marktstellung resultierenden Beeinflussbarkeit der Outputpreise abzulehnen. Die Schätzung von Kostenfunktionen ist nur bei für das Unternehmen exogenen Inputpreisen gerechtfertigt. Falls auf den Kapital- und Arbeitsmärkten keine vollständige Konkurrenz herrscht, ist dies jedoch nicht notwendigerweise erfüllt.

Allerdings muss die Technologie für das Unternehmen charakteristisch sein, um sie indirekt aus der Kosten- oder Gewinnfunktion ableiten zu können. Dabei sind die An-



nahmen über die Art der Technologie einerseits flexibel zu halten, andererseits müssen einige Voraussetzungen in Bezug auf die Gewinn- oder Kostenfunktionen erfüllt sein, um auf die Produktionsfunktion schließen zu können (z.B. Homogenität vom Grade Eins in allen Inputpreisen). Neben der Festlegung der Annahmen in Bezug auf die verwendete Technologie und damit der Strukturvorgaben für die Schätzgleichung ist auch die zur Anwendung kommende Schätzmethode auszuwählen.

### 3.3.2 Produktivitätsmessung mit Produktions- oder Kostenfunktionen

Produktions- und Kostenfunktionen vom Translog-, ggf. aber auch vom Cobb-Douglas-Typ, in die eine Variable  $t$  für den Zeittrend eingefügt wird, ermöglichen die Bestimmung des totalen oder partiellen Produktivitätsfortschritts; dabei wird implizit angenommen, dass alle Unternehmen auf der Effizienzgrenze operieren. Der Ansatz geht zurück auf Solow (1957), der die Produktivitätsfortschrittsrate mit dem Hicks-neutralen technischen Fortschritt identifizierte, wobei er konstante Skalenerträge und wettbewerblich organisierte Inputmärkte voraussetzte. Neben der Schätzung des Produktivitätswachstums erlaubt diese Methode auch die Ermittlung von Skalen- und Dichteeffekten.<sup>50</sup>

Setzt man eine Produktionsfunktion der Form

$$(3-27) \quad y_t = f(x_t, t) + \varepsilon$$

an, so lässt sich mit Hilfe der geschätzten Parameter der technische Fortschritt  $TF$  folgendermaßen berechnen:

$$(3-28) \quad TF = \frac{\partial \ln f(x_t, t)}{\partial t} .$$

Da die Bestimmung einer Produktionsfunktion bei mehreren Outputs erhebliche Schwierigkeiten bereitet, werden im Allgemeinen Kostenfunktionen geschätzt. Die Gesamtkosten hängen dann von den Outputmengen, den Inputpreisen (Arbeit, Energie, Material, Dienstleistungen) und einer Zeittrendvariable, ggf. aber auch von der Netzgröße und der Transportentfernung ab:

$$(3-29) \quad C_t = C(y_t, w_t, t)$$

Die Ableitung des natürlichen Logarithmus der Kostenfunktion nach der Zeit zerlegt die Veränderung der Gesamtkosten in einzelne Einflussfaktoren, nämlich in die Änderung der Inputpreise, die Outputvariation und die Kostenänderung aufgrund des technischen Fortschritts.

---

<sup>50</sup> Zur Ableitung von Produktions- und Kostengrenzen auf der Basis einer Cobb-Douglas- oder Translog-Produktionsfunktion für den Ein- oder Mehrproduktfall vgl. Coelli u.a. (2003: 30ff., 40ff.).

$$(3-30) \quad \frac{\partial \ln C}{\partial t} = \sum_{k=1}^K \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_k} \frac{\partial \ln w_k}{dt} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln y} \frac{\partial \ln y}{dt} + \frac{\partial \ln C}{dt}$$

Da im Allgemeinen einige Produktionsfaktoren wie z.B. der Kapitalstock nicht sofort an Outputänderungen angepasst werden können, sondern kurz- bis mittelfristig als konstant anzunehmen sind, wird anstelle einer Gesamtkostenfunktion häufig eine variable Kostenfunktion geschätzt. Bei der Ermittlung der funktionalen Abhängigkeit der variablen Kosten sind also die fixen Inputmengen als erklärende Variablen mit zu berücksichtigen.

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass die Kosten auch von exogenen Faktoren (Verkehrsdichte, Transportentfernung, topografische und geografische Verhältnisse, Wetter) abhängig sein können, die dann als Infrastrukturvariablen einbezogen werden. Darüber hinaus werden häufig unternehmensspezifische Dummy- oder Zeittrendvariablen in die Produktions- bzw. Kostenfunktion eingefügt, um Unterschiede bei der produktiven Effizienz messen und vergleichen zu können. Output-, Infrastruktur- und Dummyvariablen können jedoch stark korrelieren. Auch sind die erforderlichen Daten nicht immer in einem ausreichenden Detaillierungsgrad zugänglich.

### 3.3.3 Kleinste-Quadrate-Methoden

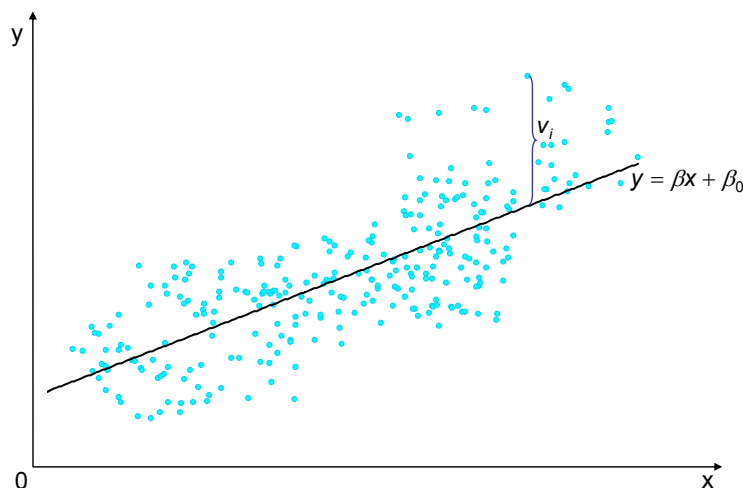
#### 3.3.3.1 Grundform der Methode der kleinsten Quadrate

Eine häufige Anwendung der Grundform der Methode der kleinsten Quadrate (OLS) ist die Regressionsanalyse. Zu verschiedenen Werten der unabhängigen Variablen werden die entsprechenden abhängigen Variablen erhoben. Im Rahmen der Ausgleichsrechnung (Anpassung, Fitting) sollen die Werte der endogenen Variable mit Hilfe einer Modellfunktion, die von den exogenen Variablen und den zu schätzenden Parametern abhängig ist, möglichst exakt approximiert werden, d.h. im Rahmen der OLS-Methode ist die Summe der quadrierten senkrechten Abweichungen zwischen den beobachteten und geschätzten Werten zu minimieren. Als Funktionstyp kommen z.B. die logistische, die exponentielle und die lineare Form in Frage; zur Darstellung wird im Weiteren eine lineare Spezifikation verwendet. Die Schätzgleichung beschreibt dann den Erwartungswert für das durchschnittliche Verhalten aller Punkte bzw. Unternehmen. Die Residuen  $v_i$  stellen die Abweichungen der einzelnen Unternehmen von den zu erwartenden Werten dar. Ihre Summe weist einen Erwartungswert von Null auf, da sich bei der OLS-Methode die positiven und negativen Abweichungen im Mittel aufheben.

Die lineare Schätzgleichung in Abbildung 7 veranschaulicht die Abhängigkeit eines Outputs  $y$  von einem Input  $x$ . Während sich die OLS-Methode im Hinblick auf die Einbeziehung mehrerer Produktionsfaktoren ohne Schwierigkeiten verallgemeinern lässt, ist die Betrachtung bei Mehrproduktunternehmen problematisch, da die einzelnen Güter

zu einem Gesamtoutput aggregiert werden müssen. In diesem Zusammenhang ist also zu klären, wie die einzelnen Outputs zu gewichten sind.

Abbildung 7: Grundform der Methode der kleinsten Quadrate



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Im Hinblick auf die Untersuchung der Effizienz einzelner Eisenbahninfrastrukturunternehmen oder des gesamten Sektors ist die OLS-Methode allerdings als ungeeignet zu beurteilen, da sie kein optimales Effizienzniveau vorgibt, das als Referenz für die Regulierungstätigkeit herangezogen werden kann. Aus den Daten wird nur eine durchschnittliche Performance abgeleitet. Somit sind lediglich etwa die Hälfte der Unternehmen dazu verpflichtet, das durch die Regressionsgerade bestimmte Effizienzziel zu erreichen. Diejenigen Unternehmen, die durch Datenpunkte oberhalb der Schätzgleichung charakterisiert werden, sehen sich hingegen nicht zu einer Verbesserung veranlasst, obwohl sie nicht unbedingt technisch effizient arbeiten.

Es kann sogar nicht ausgeschlossen werden, dass die über dem Durchschnitt liegenden Unternehmen bei einer Regulierung auf der Grundlage einer Effizienzbewertung nach der OLS-Methode negative Verhaltensanreize erhalten. Da sie einem geringeren regulatorischen Zwang ausgesetzt sind, könnten sie als Reaktion auf die Vorgabe einer nach der OLS-Schätzung ermittelten Effizienzgrenze ihre durch die Anreizregulierung geförderten Bemühungen zur Effizienzverbesserung verringern. Fasst man die gewonnenen Erkenntnisse zusammen, so nähern sich die Datenpunkte im Zeitablauf immer mehr der Regressionsgerade an. Damit reduzieren sich die Residuen  $v_i$ , während sich die Lage der Schätzgleichung nur geringfügig verändern dürfte. Die sektorspezifische Produktivitätsentwicklung würde als Folge der beschriebenen Tendenzen hinter der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zurückbleiben.

### 3.3.3.2 Korrigierte Methode der kleinsten Quadrate

Um die aus der Durchschnittsbetrachtung resultierenden Probleme zu vermeiden, ist die OLS-Methodik in geeigneter Weise abzuwandeln. Die zu diesem Zweck entwickelte Korrigierte Methode der kleinsten Quadrate (COLS) schätzt die Effizienzgrenze in zwei Schritten:<sup>51</sup>

- Auf der ersten Stufe wird die Regressionsgerade gemäß der OLS-Methode geschätzt (Abbildung 8, untere Gerade). Der ermittelte Steigungsparameter  $\beta$  ist dann auch für die Bestimmung der neuen Effizienzgrenze gemäß der COLS-Methode maßgeblich; diese verläuft also parallel zur ursprünglichen OLS-Gerade. Es wird somit davon ausgegangen, dass ein effizientes Unternehmen die durchschnittliche Technologie verwendet, aber aufgrund anderer Gründe höhere Produktivitätswerte aufweist als die übrigen Unternehmen.
- In einem zweiten Schritt wird der für den Achsenabschnitt der Regressionsfunktion geschätzte Wert  $\beta_0$  korrigiert. Verfolgen die Unternehmen das Ziel der Kostenminimierung, so verschiebt sich die Regressionsgerade nach unten. Setzt man hingegen Outputmaximierung als Ziel voraus, so wird sie nach oben verlagert (Abbildung 8, obere Gerade).

Bei einer outputbezogenen Betrachtung gemäß Abbildung 8 lässt sich also der COLS-Schätzer des Achsenabschnitts folgendermaßen ermitteln:

$$(3-31) \quad \beta_0^* = \beta_0^{OLS} + \max_i(v_i^{OLS})$$

Für die Residualterme gilt:

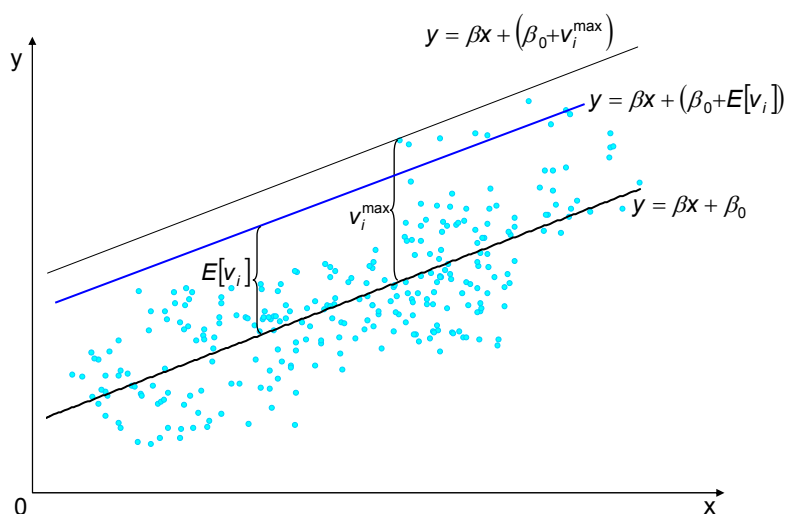
$$(3-32) \quad v_i^* = \max_i(v_i^{OLS}) - v_i^{OLS} \Rightarrow -v_i^* = v_i^{OLS} - \max_i(v_i^{OLS})$$

Sind die Residualterme  $v_i$  normalverteilt, so entsteht eine neue Normalverteilung mit einem Mittelwert von  $-\max_i(v_i^{OLS})$ . Gemäß der COLS-Methodik werden also alle Störterme als (technische) Ineffizienz interpretiert. Schocks (Schätzfehler; andere Zufälle, wie z.B. Streiks, Unwetter etc.) bleiben unberücksichtigt

---

<sup>51</sup> Zur COLS vgl. Aigner u.a. (1968).

Abbildung 8: Korrigierte und Modifizierte Methode der kleinsten Quadrate



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Trotz der im Vergleich zur OLS-Methodik offensichtlichen Vorteile des COLS-Verfahrens weist auch dieser Ansatz bei der praktischen Anwendung erhebliche Schwächen auf. So kann nicht unbedingt davon ausgegangen werden, dass die effiziente Technologie in struktureller Hinsicht der durchschnittlichen Technologie ähnelt; sie dürfte dieser vorzuziehen sein. Außerdem ist es aus regulatorischer Sicht bedenklich, dass die Lage der COLS-Effizienzgrenze durch einen einzelnen Datenpunkt determiniert wird, der ein Ausreißer sein kann oder der von unternehmensspezifischen Sondereffekten beeinflusst wird. Die mit Hilfe der COLS-Schätzung ermittelten Werte sind also ggf. für die betroffenen Unternehmen gar nicht erreichbar. Auf jeden Fall ist es deshalb notwendig, die Abweichungen einer näheren Analyse zu unterziehen und sie nicht nur als Ineffizienz zu interpretieren.

### 3.3.3.3 Modifizierte Methode der kleinsten Quadrate

Die Modifizierte Methode der kleinsten Quadrate (MOLS) umfasst verschiedene stochastische Verfahren, die die OLS- und COLS-Ansätze generalisieren und weiterentwickeln.<sup>52</sup> Charakteristisch für das MOLS-Verfahren ist die Annahme einer bestimmten Verteilung (Halbnormalverteilung, exponentielle Verteilung) für die Residualterme, die die Ineffizienz widerspiegeln. Größere Abweichungen von der Effizienzgrenze treten dabei mit geringerer Wahrscheinlichkeit auf.

<sup>52</sup> Zur MOLS vgl. Aigner u.a. (1977).

Der Steigungsparameter  $\beta$  wird wiederum gemäß der OLS-Methode geschätzt. Der Achsenabschnitt und die Residualterme ergeben sich folgendermaßen, wobei  $E(v_i)$  für den Erwartungswert der Störterme steht (Abbildung 8, mittlere Gerade):

$$(3-33) \quad \beta_0^* = \beta_0^{OLS} + E(v_i) \quad \text{mit} \quad E(v_i) \geq 0$$

$$(3-34) \quad v_i^* = E(v_i) - v_i^{OLS} \Rightarrow -v_i^* = v_i^{OLS} - E(v_i)$$

Allerdings sind in Bezug auf die regulatorische Anwendung auch gegen die MOLS-Methode mehrere Einwände vorzubringen. So ist nicht auszuschließen, dass – wie in Abbildung 8 zu sehen – einige Unternehmen oberhalb der Effizienzgrenze liegen. Falls kein Unternehmen die Effizienzgrenze erreicht, lassen sich ferner die in Bezug auf das COLS-Verfahren geäußerten Kritikpunkte anführen. Nach wie vor kann man nicht zwischen zufälligen Abweichungen und tatsächlichen Ineffizienzen differenzieren. Schließlich müssen auch die an die Verteilung der Störterme gestellten Annahmen als willkürlich bezeichnet werden.

### 3.3.4 Stochastische Effizienzgrenzenanalyse

#### 3.3.4.1 Grundstruktur

Ein wesentlicher Kritikpunkt an der DEA und den OLS-Schätzungen war die fehlende Differenzierbarkeit zwischen technischen Ineffizienzen und Schocks. Die Stochastische Effizienzgrenzenanalyse (Stochastic Frontier Analysis, SFA) betrachtet deshalb sowohl einen symmetrisch verteilten Störterm  $v_i$  als auch eine einseitige, nicht negative Zufallsvariable  $u_i$ , die die Ineffizienzen erfasst, die nicht explizit erklärt werden können.<sup>53</sup> Dabei gilt, dass  $v_i$  identisch verteilt (normalverteilt) und  $u_i$  exponentiell, halbnormal-, gestutzt normal- oder Gamma-verteilt ist; beide Variablen sind zudem unabhängig voneinander und von den Regressionskoeffizienten  $x_i$  verteilt.

Verwendet man beispielhaft eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit einem Output und zwei Inputs, so gilt für ein Unternehmen folgende Produktionsgrenze:

$$(3-35) \quad \ln y_i = \beta_0 + \beta_{1i} \ln x_{1i} + \beta_{2i} \ln x_{2i} + \varepsilon_i \quad \forall \varepsilon_i = v_i - u_i$$

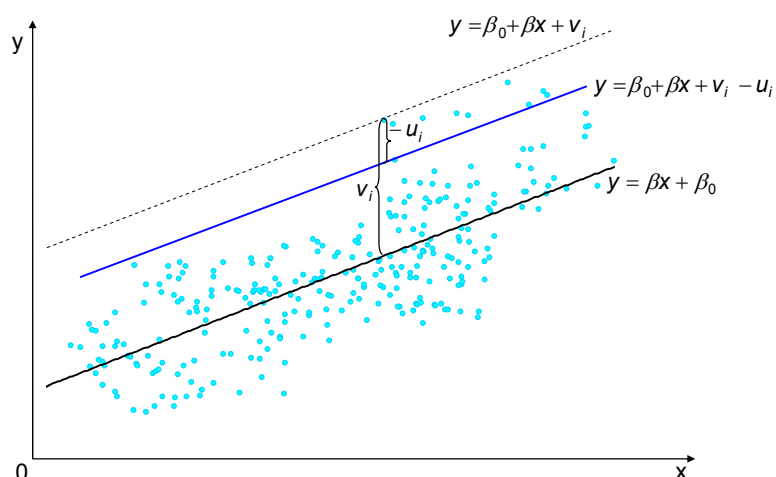
Das Unternehmen erreicht also die Produktionsgrenze nicht, wenn  $v_i$  und  $u_i$  eine negative Wirkung haben; für die Bestimmung der relativen Effizienz ist allerdings allein  $u_i$  relevant. Die Effizienzgrenze kann jedoch selbst bei Ineffizienz überschritten werden, falls  $v_i$  stark positiv ist.

---

<sup>53</sup> Zur SFA vgl. Aigner u.a. (1977). Für eine Einführung vgl. Coelli u.a. (2005: 241ff.).

Die Parameter der SFA werden im Allgemeinen mit Hilfe der sog. Maximum-Likelihood (ML)-Methode ermittelt, einem Punktschätzverfahren, bei dem die effizienten Unternehmen bezüglich der Berechnung der Regressionskoeffizienten von größerer Bedeutung sind als bei den OLS-Ansätzen. Die Koeffizienten werden auf der Basis einer Zufallsvariablen  $x$  und deren Dichtefunktion  $f(x, q)$  bestimmt, die wiederum von einem Parameter  $q$  abhängt. Maximiert man diese Funktion in Bezug auf  $q$ , so erhält man eine ML-Schätzung; beim optimalen  $q$  haben dann die Stichprobenwerte die größte Wahrscheinlichkeit. Unter gewissen Annahmen lässt sich zudem zeigen, dass die ML-Schätzer auch für  $\beta_0$  effiziente Ergebnisse generieren, die allerdings von der getroffenen Verteilungsannahme abhängig sind.<sup>54</sup> Prinzipiell stellt die Schätzgleichung die zu maximierende Funktion (ML-Funktion) dar, und die Maximierungsbedingungen erster Ordnung bilden die Grundlage für die Ermittlung der Schätzgrößen.

Abbildung 9: Stochastische Effizienzgrenzenanalyse



Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Die Situation ist in Abbildung 9 dargestellt. Die SFA geht davon aus, dass die Effizienzvariablen nicht mehr normalverteilt sind, sondern dass es Produktions- bzw. Kostenabweichungen in eine Richtung gibt. Die OLS-Schätzer sind dann nicht mehr für alle Parameter der Regression effizient, was insbesondere für den Achsenabschnitt  $\beta_0$  gilt. Die Effizienzgerade liegt daher nicht mehr in der Mitte der Punktwolke wie die Effizienzgrenze der OLS-Schätzung (untere Gerade), sondern ist nach oben verschoben (mittlere Gerade). Vereinfacht dargestellt, umfasst die SFA die COLS- und MOLS-Verfahren.

<sup>54</sup> Bei normalverteilten Effizienztermen gibt es keinen messtechnisch bedeutsamen Unterschied zwischen OLS- und ML-Schätzern. Wenn aber für einen Teil der Beobachtungen tatsächlich  $u_i > 0$  erfüllt ist, so verbessern sich unter dieser Annahme die Werte der ML-Funktion gegenüber  $u_i = 0$ .

So wird gemäß der COLS-Variante unter Berücksichtigung der Störterme  $v_i$  eine effiziente Grenze ermittelt (obere Gerade). Außerdem erfolgt wie beim MOLS-Ansatz unter Einbeziehung der die technische Ineffizienz beschreibenden  $u_i$  die Schätzung der maßgeblichen Regressionsgerade (mittlere Gerade). Die SFA kombiniert damit die Vorteile der COLS- und MOLS-Methode, ohne dass ihr deren Nachteile anhaften, und ist diesen also vorzuziehen.

#### 3.3.4.2 Vorzüge und Nachteile

Wie bei der DEA können bei der SFA zum einen Distanzfunktionen genutzt werden, zum anderen können neben Produktions- auch (lang- und kurzfristige) Kostenfunktionen geschätzt werden. Weiterhin besteht die Option, die SFA unter Verwendung von Gewinnfunktionen outputorientiert durchzuführen, um Aussagen zur allokativen Effizienz abzuleiten. Ob der Ansatz bei regulierten Eisenbahninfrastrukturunternehmen, die auf den jeweiligen Relationen bzw. an den jeweiligen Standorten größtenteils als Alleinanbieter agieren und deshalb als Preissetzer anzusehen sind, gerechtfertigt ist, muss jedoch angezweifelt werden. Außerdem müssten nicht nur Produktionsfunktionen, sondern auch Nachfragefunktionen spezifiziert werden, was aufgrund fehlender Daten in der Praxis kaum realisierbar sein dürfte. Der SFA-Ansatz sollte deshalb eher inputmen- genorientiert angewendet werden, auch weil Eisenbahninfrastrukturbetreiber über diese Seite des Produktionsprozesses mehr Kontrolle haben dürften.

Als wesentlicher Vorteil der SFA ist die Ableitung konkreter Schätzmaße für die Effizienzwerte anzusehen. Darüber hinaus sind Aussagen zu den Produktionsprozessen, der Kostenstruktur sowie zu Skalen- und Verbundvorteilen möglich. Im Vergleich zu anderen Verfahren können Umweltvariablen leichter integriert sowie über die Einbeziehung der Störterme mögliche Datenfehler berücksichtigt und Hypothesentests durchgeführt werden. Nachteilig zu beurteilen ist vor allem das Erfordernis einer großen Datenbasis (Input- und Outputdaten vieler Unternehmen über einen längeren Zeitraum) sowie im Vergleich zur DEA die Vorgabe funktionaler Beziehungen und die Formulierung von Verteilungsannahmen an die Struktur der Effizienz- und Störterme.

### 3.4 Zwischenfazit zur Methodenwahl im Hinblick auf die geplante Anreizregulierung

Im Folgenden wird nun zusammenfassend diskutiert, welche Methode am ehesten für die Messung des Produktivitätsfortschritts und des Effizienzniveaus im Eisenbahninfrastruktursektor geeignet ist. Als Beurteilungskriterien können dabei das Untersuchungsziel, die Datendefinition bzw. -auswahl, die Datenkonsistenz und -qualität, die Datenstreuung sowie die Annahmen an die Skaleneffekte (Zeithorizont, nationaler bzw. internationaler Vergleich) dienen.



Im Hinblick auf die Bestimmung der TFP-Veränderung über die Zeit sollten die QIN verwendet und aggregierte Daten des Sektors herangezogen werden, die offiziellen Statistiken zu entnehmen sind; geeignete Unternehmensdaten stehen im Allgemeinen nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung. Als empfehlenswert hat sich dabei die Nutzung des Törnqvist-Index herauskristalliert, wenn auch der Fisher-Index nicht grundsätzlich zu verwerfen ist. Allerdings ist zu beachten, ob es Brüche in den Datenreihen gibt, was z.B. wegen Änderungen in den Messverfahren und bei den Definitionen der zugrunde liegenden Parameter auftreten kann. Zu einem späteren Zeitpunkt kann dann – ergänzend zu den QIN – auch eine Malmqvist-DEA oder eine SFA auf der Basis physischer oder monetärer Daten durchgeführt werden.

Für die Kalkulation der TFP mit Hilfe von QIN spricht vor allem deren Einfachheit (im Extremfall sind nur zwei Beobachtungen notwendig) und Transparenz. Allerdings sind geeignete Preise als Gewichte anzusetzen, und der Produktivitätsfortschritt kann nicht in seine Bestandteile zerlegt werden.

Bezüglich der Messung der relativen Effizienz und damit der Bestimmung der individuellen X-Faktoren im Rahmen einer Price-Cap-Regulierung ist die Technik des Benchmarkings angesichts der großen Anzahl der Eisenbahninfrastrukturunternehmen prinzipiell die geeignete Methode. Dabei sind die QIN angesichts des hohen Aggregationsgrades der Daten als ungeeignet zu beurteilen. Ebenso sind die verschiedenen Verfahren der Kleinste-Quadrate-Schätzungen (OLS, COLS, MOLS) zu verwerfen, da ihnen die SFA grundsätzlich überlegen ist.

Hinsichtlich der übrigen Methoden, d.h. der DEA und der SFA, lässt sich jedoch kein eindeutiges Urteil fällen. Bei der Auswahlentscheidung sind verschiedene Faktoren gegeneinander abzuwägen.<sup>55</sup> Beide Verfahren benötigen einen größeren Datenumfang als z.B. die QIN; tendenziell sind aber bei der SFA längere und umfassendere Zeitreihen notwendig. Sowohl die DEA als auch die SFA können Probleme mit der Datenkonsistenz teilweise umgehen, wenn nicht auf monetäre, sondern auf rein physische Daten zurückgegriffen wird.

Betrachtet man den Aspekt der – oftmals noch unzureichenden – Datenqualität, so ist die SFA zu bevorzugen. Während die DEA davon ausgeht, dass es keine Datenungenauigkeiten gibt, werden diese bei der SFA explizit berücksichtigt. Allerdings ist auch die SFA anfällig gegenüber Datenfehlern, da bei der Zerlegung der Residuen in Stör- und Ineffizienzterm ein Schiefemaß verwendet wird, das seinerseits von Ausreißern beeinflusst werden kann. Außerdem kann die SFA die Robustheit der Effizienzergebnisse mittels Konfidenzintervallen überprüfen; mittlerweile kommen im Rahmen der DEA jedoch auch so genannte Bootstrapping-Verfahren zur Anwendung. Eine hohe Varianz von Zeitreihen bzw. Querschnittsdaten spricht hingegen für eine parametrische Methode. Dem Problem nicht beeinflussbarer Strukturmerkmale kann bei der DEA

---

<sup>55</sup> Vgl. Coelli u.a. (2003: 22f., 99ff.).

durch die Berücksichtigung von Umweltvariablen begegnet werden, deren Anzahl jedoch begrenzt werden sollte.

Fasst man die Erkenntnisse zusammen, so sprechen die an die Methoden zu stellenden Anforderungen, ein geringer Datenumfang und eine hohe Datenvarianz für die DEA. Sie benötigt keine funktionale Form für die Effizienzgrenze und keine Annahmen an die Verteilung der Störterme. Die Ergebnisse können jedoch durch Störterme beeinflusst werden, und es sind keine Aussagen zu Input-Output-Beziehungen und zur statistischen Signifikanz sowie keine Hypothesentests möglich. Die höhere Flexibilität und eine unzureichende Datenqualität (Störterme, Ausreißer) favorisieren die SFA. Sie weist die bekannten Vorteile ökonomischer Verfahren auf, verlangt jedoch die funktionale Spezifizierung der Effizienzgrenze und explizite Aussagen zur Verteilung der Störterme.

Grundsätzlich können die DEA und die SFA auch parallel zueinander genutzt werden, um die ermittelten Effizienzwerte gegenseitig auf Plausibilität zu untersuchen. Wenn die DEA- und SFA-Ergebnisse stark voneinander abweichen, so sind beide Methoden auf Fehlerquellen zu analysieren. Als mögliche Ursachen für die Unterschiede kommen Datenfehler, zu restriktive Annahmen an die Produktions- oder Kostenfunktion (SFA) oder die falsche Auswahl der relevanten Inputs und Outputs (DEA) in Frage. Schließlich bietet sich auch die Option an, die Ergebnisse der DEA in einer ökonomischen Analyse zu verwenden. So könnte z.B. bei der Schätzung einer Produktionsfunktion ein Dummy eingefügt werden, der allen DEA-effizienten Unternehmen den Wert Eins und allen anderen den Wert Null zuweist.

Sowohl bei der DEA als auch bei der SFA sind inputmengen- oder kostenbasierte Ansätze gegenüber einer Output-, Erlös- oder Gewinnorientierung zu bevorzugen, obwohl sie keine Schlussfolgerungen zur allokativen Effizienz erlauben. Angesichts des bei den marktmächtigen Stellungen der Unternehmen zu erwartenden Preis setzenden Verhaltens dürften entsprechende Ableitungen aber auch von geringer Relevanz sein.

Im Hinblick auf das von der Bundesnetzagentur vorgeschlagene Konzept zur Anreizregulierung stützt die bereits mehrfach betonte Notwendigkeit einer Berücksichtigung der Skaleneffekte bzw. der Skaleneffizienz sowohl bei der DEA als auch bei der SFA die separate Ableitung von Effizienzgrenzen für die Eisenbahninfrastrukturunternehmen der Deutsche Bahn AG und der NE-Eisenbahninfrastrukturunternehmen. Ob die Effizienzberechnung für die speziellen Dienstleistungskörbe (Schienenwege, Personenbahnhöfe, sonstige Serviceeinrichtungen) nach der DEA oder der SFA vorgenommen werden sollte, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gesagt werden, da hierfür nähere Informationen zu Datenumfang und -qualität vorliegen müssen.

## 4 Empirische Schätzungen zur Produktivität und Effizienz des Eisenbahnsektors

Kapitel 4 widmet sich der empirischen Schätzung des Produktivitätsfortschritts und des Effizienzaufholpotentials im Eisenbahnwesen. Während Abschnitt 4.1 empirische Studien aus den vergangenen 30 Jahren auswertet, beleuchtet Abschnitt 4.2 die britische Praxis der Regulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten. Abschnitt 4.3 berechnet mit Hilfe von zwei alternativen Verfahren den Produktivitätsfortschritt im deutschen Eisenbahn- bzw. Eisenbahninfrastruktursektor.

### 4.1 Methodische Ansätze und Ergebnisse ausgewählter Studien

Nachdem in Kapitel 3 die Verfahren der Produktivitäts- und Effizienzmessung aus theoretischer Sicht dargestellt wurden, referiert und analysiert Abschnitt 4.1 ausgewählte empirische Studien zur Produktivitätsentwicklung im Eisenbahnsektor und zum Effizienzniveau von Eisenbahnunternehmen. Im Zentrum der vergleichenden Betrachtung stehen dabei der Untersuchungsgegenstand, die verwendete Methodik, der ausgewählte Datensatz und die Ergebnisse der Studien.<sup>56</sup>

#### 4.1.1 Globale Produktivitäts- und Effizienzvergleiche

Die Anzahl der Studien, die Eisenbahnunternehmen von verschiedenen Kontinenten (zumeist aus den OECD-Staaten) berücksichtigen, ist sehr gering. Dafür sind die Untersuchungen aber überwiegend neueren Datums und erlauben vor allem umfassende Effizienzvergleiche auf einer breiten Datenbasis:

- Oum u.a. (1992, 1994) verwendeten die DEA und Daten der Betriebs- und Verkehrsleistung zur Messung der produktiven Effizienz von Eisenbahnunternehmen aus 19 OECD-Staaten in den Jahren 1978 bis 1989. So verbesserte sich z.B. die Deutsche Bundesbahn von 0,63 bzw. 0,81 (1978) auf 0,65 bzw. 0,91 (1989). Außerdem wurde mittels einer Tobit-Regression der Einfluss von unternehmerischer Unabhängigkeit, Subventionen, Verkehrsdichte und -mix, Transportentfernung, Auslastung und Elektrifizierung auf die Effizienz gemessen; die Abhängigkeit von Subventionen beeinflusste die Effizienz negativ, eine hohe Unabhängigkeit hingegen positiv.
- Lan u.a. (2003a, 2003b, 2005, 2006) nutzten sowohl stochastische Input- und Output- sowie Konsumdistanzfunktionen zur Ermittlung einer Translog-Produktionsfunktion als auch die DEA (mit unterschiedlichen Skaleneffekten und ver-

---

<sup>56</sup> Gute Überblicksdarstellungen zu den Produktivitäts- und Effizienzstudien im Eisenbahnsektor enthalten Dodgson (1985), Oum u.a. (1996) und Oum u.a. (1999).

schiedenen Umweltvariablen) zur Feststellung der Determinanten der Effizienz und Effektivität (Relation von Konsum zu Output) bei 39 Personen- und Gütereisenbahnen zwischen 1995 und 2002. Positive Einflüsse gingen von dem BSP pro Kopf, der Elektrifizierung und der Netzdichte aus. Westeuropäische Eisenbahnen schnitten tendenziell am besten ab; die Durchschnittseffizienz wurde jedoch als niedrig eingestuft.

- Graham (2008) nahm sowohl eine parametrische Querschnittsproduktivitätsschätzung mittels einer Translog-Produktionsfunktion – einschließlich einer Zerlegung des TFP-Wachstums in die Faktoren Skaleneffekte, Dichtevorteile und spezifische Technologien – als auch anhand einer DEA (CRS, VRS) Effizienzschätzungen für 89 SPNV-Unternehmen in den Jahren 1995 und 1996 vor. Das Transportsystem, das wirtschaftliche Umfeld der Stadt und die Bevölkerungsdichte wurden als maßgebliche Determinanten der Effizienz identifiziert.

#### 4.1.2 Europaweites Benchmarking von Eisenbahnunternehmen

Ab Mitte der 1980er Jahre und verstärkt seit etwa 1994/95 – und damit wesentlich später als für die nordamerikanischen Eisenbahnen – werden auch für europäische Eisenbahnunternehmen Produktivitäts- und Effizienzstudien durchgeführt. Der Fokus liegt dabei auf kombinierten Produktivitäts- und Effizienzanalysen sowie Untersuchungen zum Effizienzniveau; reine Produktivitätsstudien sind hingegen selten. In diesem Abschnitt werden zuerst Arbeiten referiert, die mehrere EG-/EU- bzw. EWR-Staaten in die Betrachtung einbeziehen.

Ausgangspunkt der Analyse sind die Beiträge von Perelman (1986) und Perelman u.a. (1988), die in einer Panelanalyse für 18 europäische Eisenbahnen und mit Daten der Jahre 1970 bzw. 1981 bis 1983 unter Verwendung der COLS-Methode eine Translog-Produktionsfunktion schätzten, um Aussagen zur statischen und dynamischen technischen Effizienz zu generieren; zur Ermittlung der Einflussfaktoren wurde ferner eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die jährliche Effizienzverbesserung lag im Durchschnitt bei 0,1 % (Deutsche Bundesbahn: 0,4 %). Die Veränderungsraten der mit Hilfe des Törnqvist-Index bestimmten TFP beliefen sich auf -2,1 bis +6,1 % (Durchschnitt +1,0 %, Deutsche Bundesbahn: +0,1 %). Deprins u.a. (1989) verfolgten das gleiche Ziel, nutzten aber verschiedene parametrische Ansätze (DOLS, nicht-lineare Kleinste-Quadrate-Ansätze, ML-Methode) und Daten von 19 Eisenbahnunternehmen für 1970 bis 1983 zur Schätzung einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion. Simar (1992) verglich auf dieser Datenbasis mehrere sowohl stochastische als auch deterministische parametrische, nicht-parametrische (u.a. DEA) und semi-parametrische Methoden. Die Effizienzwerte der Deutschen Bundesbahn bewegten sich zwischen 0,60 und 0,95.

Nachfolgend bestimmten Gathon u.a. (1995) mit Hilfe der SFA eine Translog-Produktionsfunktion, um die technische Effizienz (unterteilt in unternehmerische und regulatori-

sche Effizienz) von 19 Eisenbahnen für den Zeitraum von 1961 bis 1988 zu erfassen; außerdem wurden der technische Fortschritt und das Produktivitätswachstum berechnet. Die Effizienz lag bei 0,73 bis 0,95 (Deutsche Bundesbahn: 0,85), die Änderung des Effizienzniveaus bei -22,6 % bis +59,7 % (Deutsche Bundesbahn: -3,9 %), der Produktivitätsfortschritt bei 34,5 % bis 174 % (Deutsche Bundesbahn: 57 %). Gathon u.a. (1992) maßen für den gleichen Datensatz die technische Effizienz an einer inputorientierten Grenze, die sie über verschiedene Modelle einer modifizierten SFA bestimmten. Sie ermittelten eine positive Korrelation zwischen unternehmerischer Unabhängigkeit und technischer Effizienz.

Hinsichtlich der reinen Produktivitätsstudien ist zu verweisen auf die Arbeiten von Nash u.a. (1994), die für 14 Eisenbahnunternehmen partielle Faktorproduktivitäten für die Jahre 1971 bis 1991 berechneten, Preston (1996), der darüber hinaus die TFP kalkulierte (multilateraler TFP-Index, Translog-Kostenfunktion und Kostenelastizitäten) und Andrikopoulos u.a. (1998), die mit Zeitreihendaten aus zehn europäischen Staaten für 1969 bis 1993 eine Translog-Kostenfunktion schätzten. Die Produktivitätsfortschrittsraten betragen -0,29 % (Deutsche Bundesbahn: +0,25 %) bzw. mit Skaleneffekten -3,03 % (Deutsche Bundesbahn: +0,18 %), und der technische Fortschritt belief sich auf 2,74 % (Deutsche Bundesbahn: 0,07 %). In neueren Studien erhoben Loizides u.a. (2002, 2004) den allgemeinen sowie den länder- und unternehmensspezifischen technischen Fortschritt auf der Grundlage einer variablen Cobb-Douglas-Kostenfunktion für zehn Staaten in den Jahren 1969 bis 1992/93; nur für Deutschland und Großbritannien ergaben sich positive Werte. Außerdem zogen sie eine Translog-Kostenfunktion und Monte Carlo-Simulationsmethoden zur Bestimmung des jährlichen Produktivitätsfortschritts (+1,5 %) heran und diskutierten den Einfluss von Input- und Outputpreisänderungen auf bestimmte Verteilungsmaße (Mittelwert, Median, Breite, Schiefe, Wölbung).

Bezüglich der reinen Effizienzanalysen sind aus den letzten zehn Jahren die nachstehenden Arbeiten anzuführen:

- Tsionas u.a. (1999) maßen die unternehmens- und jahresspezifische Ineffizienz sowie deren Bestimmungsfaktoren (Elektrifizierung, Gütertransportentfernung und Auslastung der Personenzüge erhöhten die Effizienz). Sie schätzten dafür unter Verwendung der Paneldaten von neun Eisenbahnunternehmen aus den Jahren 1969 bis 1992 und der SFA eine Translog-Produktionsfunktion als stochastische Effizienzgrenze. Die durchschnittliche technische Effizienz der Unternehmen lag bei 0,68 bis 0,81 (Deutsche Bundesbahn: 0,70).
- Parisio (1999) bestimmte die allokativen Effizienz (als Funktion von Parametern und Störtermen der Kostenanteile) und die technische Effizienz ebenfalls mittels einer auf der Basis der SFA und der ML-Methode geschätzten variablen Translog-Kostenfunktion. Die Datensätze stammten von acht europäischen Eisenbahnen aus den Jahren 1973 bis 1989. Die allokativen Ineffizienz hatte nur minimale

(überwiegend 0 bis 4 %), die technische Ineffizienz (überwiegend 1 bis 8 %) hingegen stärkere Auswirkungen auf die variablen Kosten.

- Christopoulos u.a. (2001) ermittelten produktionsfaktorspezifische technische Ineffizienzen und den daraus resultierenden jährlichen Kostenanstieg mit Hilfe einer SFA auf der Basis einer symmetrischen verallgemeinerten McFadden-Kostenfunktion für zehn Eisenbahnunternehmen in den Jahren 1969 bis 1992. Für die Deutsche Bundesbahn betrug die Kapitaleffizienz 99,5 % sowie die Arbeits- und Energieeffizienz 99,9 %; der Kostenanstieg belief sich auf 0,02 bis 0,92 %.
- Friebel u.a. (2004) begutachteten für zwölf Eisenbahnunternehmen über die Jahre 1980 bis 2000 anhand einer Cobb-Douglas-Grenzproduktionsfunktion den Einfluss des Marktzugangs- und Regulierungsregimes sowie der vertikalen Separierung auf die technische Effizienz des Eisenbahnpersonenverkehrs. Die Reformen erhöhten grundsätzlich die Effizienz; der Erfolg hing jedoch von der zeitlichen Verteilung der Maßnahmen ab.
- Asmild u.a. (2008) zogen gepoolte Paneldaten für 23 Eisenbahnunternehmen aus den Jahren 1995 bis 2001 heran, um im Rahmen einer nicht-parametrischen inputorientierten multidirektionalen Effizienzanalyse die Änderung der Effizienz einzelner Produktionsfaktoren (Personal, Material) zu bestimmen. Ferner analysierten sie den Einfluss von Reformen (unternehmerische Unabhängigkeit, vertikale Entflechtung, Öffnung des Marktzugangs im Güterverkehr, Ausschreibung von SPNV-Diensten) auf die Ineffizienzen bestimmter Kostentreiber. Im Betrachtungszeitraum reduzierte sich die Ineffizienz; einen bestimmenden Einfluss vor allem auf die Sachkosten hatte insbesondere die rechnungsmäßige Trennung der Bereitstellung von Eisenbahninfrastruktur und -verkehrsdiensten.

Schließlich sind noch einige bedeutsame Untersuchungen aus den letzten Jahren anzuführen, die sowohl die Produktivitätsentwicklung als auch die relative Effizienz thematisierten:

- Die ersten neueren umfassenden Arbeiten zur Produktivitäts- und Effizienzmessung stammen von Coelli u.a. (1999, 2000). Sie leiteten unter Verwendung der DEA, der COLS-Methode und einer deterministischen linearen Programmierung output- (Outputs: multilateraler Törnqvist-Outputindex, Gesamterlöse) und inputorientierte sowie Translog-Distanzfunktionen ab. Datenbasis war ein Panel von 17 europäischen Eisenbahnen für die Jahre 1979 bis 1983 bzw. 1988 bis 1993. Die Effizienzwerte lagen im Durchschnitt bei 0,60 bis 0,93 (Deutsche Bundesbahn: 0,63 bis 0,98). Zwischen 1979/83 und 1988/93 war insgesamt ein Produktivitätsfortschritt von 16,7 % (Deutsche Bundesbahn: 17,9 %) und eine Effizienzverbesserung von 28,6 % (Deutsche Bundesbahn: 25,2 %) vor allem wegen reduziertem Inputeinsatz zu verzeichnen.

- Cantos u.a. (1999, 2000a, 2002) analysierten für 17 Unternehmen die jährliche Veränderung der TFP, des technischen Fortschritts und des Effizienzniveaus (Kosten- und Erlös- sowie technische, allokativen und Skaleneffizienz) sowie den Einfluss von Variablen (Betriebs- und Verkehrsleistung, Verkehrsmix, Zugauslastung, Skaleneffekte, Elektrifizierung, Entgeltregulierung, unternehmerische Unabhängigkeit, Rechtsform, vertikale Separierung) auf die Effizienz und den technischen Fortschritt in den Jahren 1970 bis 1995 mittels einer Malmqvist-DEA und einer Tobit-OLS-Regression. Der TFP-Anstieg belief sich auf 1,07 % (Deutsche Bundesbahn: -1,16 %) und der technische Fortschritt auf 0,64 % (Deutsche Bundesbahn: -0,76 %). Die Effizienzgewinne betragen 0,43 % (Deutsche Bundesbahn: -0,40 %); Verbesserungen waren vor allem zwischen 1985 und 1995 sowie bei der technischen Effizienz zu verzeichnen.
- Cantos u.a. (2000b, 2001) nutzten eine kurzfristige Translog-Kostenfunktion, die sie mittels der SFA und der ML-Methode schätzten, um das TFP-Wachstum, den technischen Fortschritt, die Kosten-, Erlös- und Skaleneffizienz, die Gesamtverluste aus Ineffizienzen sowie die Determinanten der Effizienz (Verkehrsaufkommen und -dichte, Elektrifizierung, unternehmerische Unabhängigkeit) zu ermitteln; die Daten stammten von 15 bzw. 16 Eisenbahnen aus den Jahren 1970 bis 1990. Das jährliche TFP-Wachstum betrug 0,81 % (Deutsche Bundesbahn: 1,15 %) und wurde insbesondere durch technischen Fortschritt erzeugt. Die durchschnittliche Kosteneffizienz lag bei 0,87 (Deutsche Bundesbahn: 0,89).
- Kumbhakar u.a. (2007) zogen für ihre Schätzung sowohl separate parametrisch-stochastische Input- und Outputdistanzfunktionen sowie ein gemischtes Modell aus beiden Formen heran. Sie bestimmten mit Hilfe von Paneldaten der Jahre 1971 bis 1994 für 17 europäische Eisenbahnen die jährliche Veränderung der Produktivitätsentwicklung (0,6 bis 1,7 %), des technischen Fortschritts (0,4 bis 1,3 %, zunehmende Raten) und der technischen Effizienz (0,1 bis 0,7 %, abnehmende Raten) sowie das Effizienzniveau (im Durchschnitt über 80 %, Deutsche Bundesbahn: 70 bis 94 %).

#### 4.1.3 Großbritannien, Irland, Belgien und Schweiz

Detaillierte länderspezifische Analysen zur Produktivität und Effizienz des Eisenbahnsektors liegen in Europa im Wesentlichen nur für Großbritannien vor. Während sich die Arbeiten von Bishop u.a. (1992) und Haskel u.a. (1993) lediglich mit der Entwicklung der Arbeitsproduktivität in den 1970er und 1980er Jahren befassten, sind die neueren Untersuchungen sehr viel weitreichender:

- Nach Cowie (2002) betragen die mittels eines Törnqvist-Index bestimmten jährlichen TFP-Änderungen im gesamten Eisenbahnsektor -0,2 % (1972 bis 1980),

0,9 % (1980 bis 1985) und 6,7 % (1985 bis 1990) sowie für alle 25 Train Operating Companies (TOC) 4,6 % (1995 bis 1999).

- Affuso u.a. (2002) verwendeten für ihre Paneleffizienzschatzungen die DEA und die COLS-Methode unter Heranziehung von Translog- und loglinearen Input- und Output-Distanzfunktionen. Sie betrachteten den gesamten Eisenbahnsektor ab 1994/95 und alle 25 TOC ab 1996/97 bis zum Fiskaljahr 1999/2000. Die technische Effizienz erhöhte sich zwischen 1995 und 2000 von 0,62 bzw. 0,70 auf 0,75 bzw. 0,87.
- Auch Pollitt u.a. (2002) befassten sich mit der Veränderung des Effizienzniveaus und analysierten die Entwicklung der Betriebskosten für den gesamten Eisenbahnsektor im Rahmen einer sozialen Kosten-Nutzen-Analyse. Von 1988/89 bis 1992/93 ging die Effizienz jährlich um 1,0 % zurück, während sie zwischen 1992/93 und 1999/2000 um 2,0 % pro Jahr zunahm.
- Kennedy u.a. (2004) schätzten mit Hilfe von mehreren parametrisch-stochastischen Verfahren (COLS, SFA) und mit Paneldaten für die sieben Regionalzonen von Railtrack für die Jahre 1995 bis 2002 Translog-Inputdistanzfunktionen (Kosten, qualitätsdifferenzierter Output). Bis 2000 verringerten sich die Durchschnittskosten für Instandhaltung und Erneuerung im Eisenbahninfrastruktursektor jährlich um 6,8 %, nach dem Hatfield-Unfall erhöhten sie sich in einem Jahr um 38 %, um danach wieder um 6,4 % zurückzugehen.
- Smith (2006) untersuchte erstmals die Produktivitäts- und Effizienzentwicklung des gesamten britischen Eisenbahnsektors von 1963 bis 2002 anhand von drei Modellen, die auf einer ökonometrisch geschätzten Translog-Kostenfunktion beruhten. Die realen Stückkosten stiegen zwischen 1999/2000 und 2001/02 um 47 % (Eisenbahnverkehrssektor +43 %; Eisenbahninfrastruktursektor +53 %, davon Betriebskosten +42 % und Kapitalkosten +62 %). Nach dem Hatfield-Unglück lagen die Stückkosten um 29 % höher als deren Durchschnitt vor dem Unfall. Eine Schätzung der TFP auf der Basis einer Gesamtkostenfunktion ergab ein durchschnittliches jährliches Produktivitätswachstum von 0,7 bis 1,5 %; nach dem Hatfield-Unfall fiel das Produktivitätsniveau um 20 bis 25 %. Unter Heranziehung des Törnqvist-Index wurde ein Durchschnittswachstum von knapp 1,0 % ermittelt; nach 2000 reduzierte sich das Produktivitätsniveau um 25 %.

Darüber hinaus sollen einige empirische Studien nicht unerwähnt bleiben, die für andere europäische Einzelmärkte durchgeführt wurden:

- Für die irische CIÉ kam McGeehan (1993) in einer Zeitreihenanalyse für 1973 bis 1983 auf ein jährliches TFP-Wachstum von 7 bzw. 9 %. Der Schätzung lagen konventionelle variable Translog-Kostenfunktionen (Outputsteigerung bei konstanten Inputmengen, Inputreduzierung bei konstanten Outputmengen) zugrunde.



- De Borger (1991) ermittelte unter Ansetzung konventioneller kurzfristiger Translog-Kostenfunktionen (als generisches und hedonisches Modell, geschätzt anhand der ML-Methode und einer nicht-linearen iterativen SURE) für Belgien jährliche TFP-Wachstumsraten für 1950 bis 1962, 1963 bis 1974 und 1975 bis 1986; für den letzten Zeitraum betragen sie -2,0 bis 3,6 % bzw. 1,0 bis 1,2 %. In De Borger (1992) wurden neben einer verallgemeinerten variablen Box-Cox-Kostenfunktion mit hedonischen Outputaggregaten (geschätzt mittels einer iterativen dreistufigen OLS-Methode) eine verallgemeinerte Leontief- und eine Translog-Kostenfunktion genutzt; die Optimierung erfolgte in Form einer Outputmaximierung und einer Inputminimierung. Das TFP-Wachstum belief sich für 1975 bis 1986 auf 1,6 bis 1,9 % pro Jahr.
- In Bezug auf die Schweiz existieren mehrere Effizienzanalysen. Filippini u.a. (1993) ermittelten in einer Panelschätzung für 48 Privatbahnen (1985-1988) mit Hilfe der MOLS-Methode eine Effizienzgrenze auf der Basis einer Translog-Gesamtkostenfunktion. Untersuchungsgegenstände waren die Skalen-, die allokativen, die technische und die Kosteneffizienz, die Feststellung von Skalen- und Dichteeffekten sowie der Einfluss der Eigentumsverhältnisse und von Subventionen auf die Effizienz. Cowie (1999) bestimmte für 57 Unternehmen von 1990 bis 1995 die technische (78,8 %), unternehmerische (84,7 %) und organisatorische (92,4 %) Effizienz mittels einer inputorientierten DEA sowie die Unterschiede zwischen öffentlichen und teilprivaten Eisenbahnen (Vorteile bei technischen und unternehmerischen Aspekten). Farsi u.a. (2004) berechneten die technische und die Skaleneffizienz von 50 Schweizer Eisenbahnen für 1985 bis 1997 mittels fünf verschiedener SFA-Modelle unter Verwendung einer Cobb-Douglas-Gesamtkostenfunktion; die Ineffizienz lag bei nur 6,3 bis 7,8 %.

#### 4.1.4 Vereinigte Staaten und Kanada

Angesichts der großen Anzahl privater Unternehmen und der guten Datenverfügbarkeit werden für den nordamerikanischen Eisenbahnmarkt bereits seit den 1960er Jahren speziell Erhebungen zur Produktivitätsentwicklung durchgeführt. Beispielhaft genannt seien die Aufsätze von Kendrick (1961, 1973), Hariton u.a. (1979), Gollop u.a. (1980) und Kendrick u.a. (1980), die den Törnqvist-Index verwendeten, sowie von Meyer u.a. (1975), die den Paasche- und Laspeyres-Index heranzogen. Caves u.a. (1980a) bestimmten Niveau und Veränderung der TFP für Canadian National (CN) und Canadian Pacific (CP) in den Jahren 1956 bis 1975, differenzierten dabei in vier Output- und fünf Input-Indizes (Qualitätsgewichtung der Outputs, Kostenelastizitäten) und analysierten die Auswirkungen der Eigentumsverhältnisse (unerheblich) und der Wettbewerbsintensität (positiv) auf den Produktivitätsfortschritt.

Ebenfalls Caves u.a. (1980b, 1981a, 1981b) schätzten danach erstmals auf der Basis von Daten der Jahre 1955/56, 1963 und 1974 für US-amerikanische Class I-Eisenbahnen bzw. für CN und CP eine verallgemeinerte Translog-Kostenfunktion auf der Basis

der gesamten und variablen Kosten (Box-Cox). Daraus leiteten sie dann Kostenelastizitäten als Outputgewichte und Kostenanteile als Inputgewichte zur Berechnung eines Törnqvist-Index ab. Die jährlichen Produktivitätsfortschrittsraten beliefen sich in Abhängigkeit von der Untersuchungsmethode sowie von den analysierten Unternehmen und Zeiträumen auf 0,6 bis 4,5 %. Caves u.a. (1982b) ermittelten dann das jährliche TFP-Wachstum auf der Basis von Kostenelastizitäten und multilateralen TFP-Indizes für 1956 bis 1979; es betrug bei den US-amerikanischen Eisenbahnen 1,6 % und bei den kanadischen Eisenbahnen 2,2 bis 3,0 %.

Auch in der Folgezeit wurden zahlreiche Produktivitätsschätzungen auf der Grundlage von Indexzahlen (vor allem des Törnqvist-Index) durchgeführt. Beispielhaft anzuführen sind:

- Roy u.a. (1985): TFP-Wachstum auf der Basis von Kostenelastizitäten; Kanada, 1956 bis 1981;
- Freeman u.a. (1985): Veränderung partieller (Arbeit, Kapital, Energie), variabler (ohne fixe Inputs) und totaler Faktorproduktivitäten (multilateraler Törnqvist-Index); Regressionsanalyse mittels Cobb-Douglas-Produktionsfunktion zur Bestimmung der Einflussfaktoren des Produktivitätsfortschritts (Verkehrsleistung, Streckenlänge, Transportentfernung, Zeit, technischer Fortschritt); Kanada (CN, CP), 1956 bis 1981;
- Martland (1989): Verknüpfung der Veränderung verschiedener partieller Produktivitätsmaße mit den Veränderungen deflationierter Erlöse und Kosten bzw. mit betrieblichen Aspekten und dem Finanzergebnis; US-Eisenbahnsektor, 1973 bis 1983;
- Tretheway u.a. (1995): Verzerrungen der TFP-Messung durch Datenaggregation; US-amerikanische und kanadische Eisenbahnen, 1981 bis 1988/91;
- Tretheway u.a. (1997): TFP-Änderung anhand eines multilateralen Törnqvist-Index; Kanada (CN, CP), 1956 bis 1991;
- Martland (1999): TFP-Wachstum mittels verschiedener Indexzahlen; Ursachen des Produktivitätswachstums (Verkehrsmix, Infrastrukturinstandhaltung, Kostensenkung bei Fahrpersonal und Verwaltung, Energieeffizienz); US-amerikanische Eisenbahngüterverkehrsunternehmen, 1965 bis 1995;
- Waters II u.a. (1999): Zunahme der TFP und der TPP (Wachstumsrate der Inputpreise minus Wachstumsrate der Outputpreise) unter Nutzung multilateraler Törnqvist-Indizes (zwei Output- und sechs Inputindizes) und indirekter Preisindizes; Kanada (CN, CP), 1956 bis 1995.

Ausgehend von den Arbeiten von Caves u.a. werden seit den 1990er Jahren auch verstärkt parametrische Methoden zur Produktivitätsbestimmung eingesetzt. So schätzte

Bereskin (1996) eine zweistufige variable Translog-Kostenfunktion (Sektor- und Makrofunktion, Zuordnung der Ausgaben zu Kategorien und Inputs, Berücksichtigung zeit- und firmenspezifischer Veränderungen) für 36 US-amerikanischen Class I-Eisenbahnen in der Zeit von 1978 bis 1993; das jährliche Produktivitätswachstum betrug 2,1 %. Wilson (1997) analysierte die Auswirkungen der Deregulierung des US-amerikanischen Eisenbahnwesens auf Produktivität, Kosten sowie Skalen- und Dichteeffekte mit Hilfe einer variablen Translog-Kostenfunktion. Die Panelschätzung mit Daten von 1978 bis 1989 zeigte in den Anfangsjahren ein jährliches TFP-Wachstum von 6,0 bis 7,5 %, das sich dann auf rund 3 % abschwächte. Bitzan u.a. (2003) verwendeten eine Translog-Gesamtkostenfunktion zur Ableitung des TFP-Wachstums bei Class I-Eisenbahngüterverkehrsunternehmen zwischen 1983 und 1997, konnten aber keine Auswirkungen der Deregulierung auf das TFP-Wachstum (3,1 %) erkennen.

Besonders hingewiesen sei auf eine Studie von Chapman u.a. (1997), die im Rahmen einer Kostenanalyse das Produktivitätswachstum im US-amerikanischen Eisenbahninfrastruktursektor betrachtete. Die Instandhaltungskosten der Class I-Eisenbahnen stiegen zwischen Mitte der 1960er und Mitte der 1990er real um insgesamt 6 %, die Kosten pro Bruttotonnenmeile (Btm) bzw. Nettotonnenmeile (Ntm) fielen jedoch um 28 bzw. 39 %. Ausgangspunkt der Untersuchung war die Identifizierung der Kostentreiber (insbesondere Verkehrsleistung, Achslasten und Netzgröße; außerdem relevant waren Beladung, Zuglänge, Auslastung des rollenden Materials und Leistungsfähigkeit der Lokomotiven) sowie ihrer Veränderung im Zeitablauf. Hieraus konnten die Autoren die Auswirkungen auf die fixen und variablen Kosten ermitteln und diese dann extrapolieren. Die durch das Produktivitätswachstum verursachten jährlichen Kosteneinsparungen wurden mit 7,2 Mrd. US\$ veranschlagt (Dichteeffekte: 2,6 Mrd. US\$, bessere Schienentechnologie: 1,8 Mrd. US\$, Rationalisierung: 1,5 Mrd. US\$, bessere Ausrüstung: 1,3 Mrd. US\$).

Im Vergleich zur Anzahl der Produktivitätsstudien gibt es nur relativ wenige Analysen zum Effizienzniveau nordamerikanischer Eisenbahnunternehmen. Von Bedeutung sind die Arbeiten von Kumbhakar (1988a, 1988b, 1989), der unternehmens- bzw. inputspezifische allokativen und technische Ineffizienzniveaus sowie die Auswirkungen auf die Kosten und den Output für ein Panel von 13 bzw. 42 US-amerikanischen Class I-Eisenbahnen im Zeitraum von 1951 bis 1975 mittels einer SFA (Translog- und Cobb-Douglas-Produktionsfunktion) und einer nachfolgenden Kostenminimierung anhand der OLS-Methode analysierte. Er kam zum Ergebnis, dass die Kosten der allokativen Ineffizienz 5,4 bis 20,4 %, der technischen Ineffizienz 7,8 bis 22,9 %, der Überkapitalisierung und des ineffizienten Arbeitseinsatzes 18,3 bis 20,5 % und des ineffizienten Energieeinsatzes 3 bis 4,2 % betragen.

Grabowski u.a. (1990) ermittelten mit der COLS-Methode eine strahlenhomothetische Produktionsfunktion, um die allokativen, die technische (hoch) und die Skaleneffizienz (niedrig) der US-amerikanischen Eisenbahnen zwischen 1950 und 1981 festzustellen. Chapin u.a. (1999) untersuchten die Entwicklung der Effizienz US-amerikanischer Class

I-Güterverkehrseseisenbahnen von 1980 bis 1993 mittels einer DEA und führten eine Regressionsanalyse zur Bestimmung der Einflussfaktoren (Zeit, Fusionen) durch. Bei der Infrastrukturinstandhaltung bewirkten Unternehmenszusammenschlüsse eine höhere technische Effizienz, aber auch einen starken Rückgang der Skaleneffizienz.

Abschließend ist noch auf zwei Studien hinzuweisen, die sowohl die Produktivität als auch die Effizienz begutachten:

- Atkinson u.a. (1996) schätzten auf der Basis der Daten von zwölf US-amerikanischen Eisenbahnunternehmen für 1951 bis 1975 und unter Verwendung der iterativen verallgemeinerten OLS-Methode eine variable Translog-Kostenfunktion. Mittels eines inputorientierten Radialmaßes bestimmten sie den Produktivitätsfortschritt, den technischen Fortschritt und die Ineffizienzen. Das jährliche TFP-Wachstum betrug 0,3 %, das Effizienzniveau veränderte sich uneinheitlich.
- Lim u.a. (2008) wählten hingegen eine sequentielle DEA (und spezielle Indikatoren für Inputpreise und -mengen) sowie Daten von Class I-Eisenbahnen aus den Jahren 1996 bis 2003, um eine stückweise lineare, nicht-parametrische Kostenfunktion abzuleiten. Ziel war die Bestimmung des Produktivitätsfortschritts (stark), des technischen Fortschritt (sehr stark) und der Effizienzverbesserung, die entsprechende Zerlegung der Veränderung der kurzfristigen Kosten sowie die Darstellung der Zusammenhänge zwischen Inputeinsatz, Unternehmensergebnis sowie Kosten- und Produktivitätsänderungen.

#### 4.1.5 Australien und Japan

Für das australische Eisenbahnsystem wurden vor allem in den 1990er Jahren mehrere Produktivitätsstudien durchgeführt. Brunker u.a. (1991) und Brunker (1992) bestimmten die Veränderung der Arbeits- und Kapitalproduktivitäten und der TFP für Australian National Railways in den Jahren 1979 bis 1988 mittels eines Törnqvist-Index (Differenzierung nach Zielfunktionen; Berücksichtigung des Arbeitskräfteabbaus; Unterscheidung in technischen Fortschritt, Effizienzverbesserung und Skaleneffekte). Das TFP-Wachstum belief sich auf 3,5 bis 5,9 % pro Jahr. Hensher u.a. (1995) wendeten multilaterale TFP-Indizes und zusätzlich Regressionsanalysen zur Ableitung der Einflussfaktoren des Produktivitätsfortschritts (Skalen- und Dichteeffekte, technologische Entwicklung, Management) an. Die fünf bundesstaatlichen Eisenbahnunternehmen wiesen in der Zeit von 1971 bis 1992 ein jährliches TFP-Wachstum von 0,4 bis 2,4 % auf. Bloch u.a. (2004) ermittelten den Produktivitätsfortschritt auf vier Strecken von WestNet Rail (WNR) zwischen 2001 und 2003 mit Hilfe eines Törnqvist-Index. Aus der Veränderung der TFP in Höhe von -2,0 bis +1,8 % und der sektorspezifischen Inputpreise von -4,6 bis +4,2 % ergab sich für WNR ein X-Faktor von 0,2 bis 2,2 %.

Seit Mitte der 1990er Jahre werden auch Studien zur Produktivitätsentwicklung im japanischen Eisenbahnmarkt publiziert. So errechneten Nakajima u.a. (1996) die TFP-

Veränderung – separat für das Angebot von Verkehrsdiensten, den Zugbetrieb sowie die Bereitstellung und den betrieb der Schieneninfrastruktur – mit Hilfe eines Törnqvist-Typenindex; zwischen 1956-1986 sank die TFP um 3,6 % pro Jahr. Mizutani u.a. (1996, 1997) beobachteten im Personenverkehr ein jährliches Wachstum von 6,4 % (1980 bis 1984), 21,5 % (1984 bis 1987) bzw. 4,7 % in der Nachprivatisierungsphase (1987 bis 1994). Unter Berücksichtigung weiterer Faktoren wurde das auf die Privatisierung zurückzuführende Gesamtwachstum aber nur auf 29 % geschätzt. In einer ökonometrischen Studie von 2007 schätzten Mizutani u.a. (2007) eine kurzfristige Translog-Kostenfunktion, mit deren Hilfe für drei Gruppen von Eisenbahnunternehmen die Entwicklung der TFP (1971 bis 1981: -4,1 bis -1,2 %; 1982 bis 1986: -3,3 bis 2,4 %; 1987 bis 1999: 0,3 bis 3,0 %) und ihre Bestimmungsfaktoren (Outputmenge, Verkehrsmix, Auslastung, Netzgröße, Kapitaleinsatz, Technologie, Privatisierung) abgeleitet wurden.

#### 4.1.6 Zwischenfazit

Seit Anfang der 1970er Jahren sind weltweit mindestens 120 Studien zur Produktivitätsentwicklung und Effizienz im Eisenbahnsektor durchgeführt worden. Mit wenigen Ausnahmen, wie z.B. Nakajima u.a. (1996), Chapman u.a. (1997), Chapin u.a. (1999), Kennedy u.a. (2004) und Smith (2006), enthalten die Untersuchungen jedoch keine speziellen Aussagen zum Eisenbahninfrastruktursektor. Weit verbreitet sind Auswertungen unter Heranziehung einer größeren Anzahl an Eisenbahnunternehmen aus den OECD- oder EU-/EWG-Staaten. Darüber hinaus existieren auch Quer- und Längsschnittanalysen der Eisenbahnmärkte bestimmter Staaten. Hauptsächlich betrachtet wurden dabei Gesellschaften in den Vereinigten Staaten, Kanada und Großbritannien sowie in zweiter Linie in Australien und Japan. Bekannt sind weiterhin Länderstudien zu Belgien, Irland, der Schweiz, Spanien, Taiwan, Südkorea, Argentinien und Brasilien. Der Untersuchungszeitraum deckt zumeist die 1970er bis 1990er Jahre ab; die Datensätze für nordamerikanische Eisenbahnen reichen oftmals bis in die 1950er Jahre zurück.

Untersuchungsziele der empirischen Studien sind sowohl die Produktivität als auch die Effizienz. Bezüglich der Produktivität steht in jüngster Zeit die Veränderung der TFP im Mittelpunkt, während frühere Studien eher partielle Faktorproduktivitäten berechneten; Erhebungen zum Produktivitätsniveau sind eher selten. Eine zunehmend bedeutsamer werdende Fragestellung sind die Beiträge spezifischer Einflussfaktoren (technischer Fortschritt, technische Effizienz, Skaleneffekte) zum Produktivitätswachstum. Die Effizienzvergleiche betreffen in erster Linie das Niveau der technischen Effizienz, aber auch die alloкатive Effizienz, die Kosten- und Erlöseffizienz, die Skaleneffizienz und Dichteeffekte sind von Relevanz. Außerdem wird nach den Determinanten des Effizienzniveaus gefragt.

In methodischer Hinsicht erfolgte die Kalkulation der Produktivitätsveränderung ursprünglich zumeist über die Messung partieller und totaler Faktorproduktivitäten auf der

Basis von Indexzahlen (z.B. Törnqvist-Index). Ausgehend von den ökonometrischen Untersuchungen zum nordamerikanischen Eisenbahnwesen werden seit Ende der 1980er Jahre überwiegend Produktions- und Kostenfunktionen geschätzt. Bei der Effizienzmessung dominieren stochastische und deterministische parametrische Methoden auf der Basis von Translog-Produktionsfunktionen, wobei die SFA zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die nicht-parametrische DEA wird etwas seltener angewendet, während die OLS-Methoden nur vereinzelt herangezogen werden. Eindeutige Aussagen zu den bevorzugten Variablen sind aufgrund der Heterogenität der Untersuchungsziele und -methoden nicht möglich.

Diese Problematik lässt auch nur beschränkt tragfähige Aussagen zu den Ergebnissen der Studien zu. Die ermittelten TFP-Wachstumsraten lagen in den letzten 15 Jahren durchschnittlich bei etwa 0 bis 3 %. In früheren Jahren und/oder bei Untersuchungen zu einzelnen Eisenbahnunternehmen zeigten sich auch deutlich niedrigere oder höhere Werte. Die Effizienzniveaus sind abhängig von der gewählten Methodik, dem Datensample (Eisenbahnunternehmen, Untersuchungszeitraum) und der Art der betrachteten Effizienz. In Bezug zum besten Unternehmen (Effizienzgrenze) variieren die Effizienzwerte der Unternehmen überwiegend zwischen 60 und 100 %.

## **4.2 Produktivität und Effizienz in der britischen Entgeltregulierungspraxis**

Abschnitt 4.2 legt nun näher dar, auf welche Weise das ORR (Office of the Rail Regulator, seit 2004 Office of Rail Regulation) im Rahmen der Netzentgeltregulierung von Railtrack bzw. Network Rail den Produktivitätsfortschritt und das Effizienzsteigerungspotential während der drei letzten Entgeltregulierungsperioden festgelegt hat bzw. gegenwärtig bestimmt. Dabei wird insbesondere auf die Methodik und Ergebnisse der verschiedenen Studien eingegangen, die den Regulierungsentscheidungen zugrunde lagen.

### **4.2.1 Access Charges Review 2000**

In Großbritannien waren die Eisenbahninfrastrukturentgelte für die erste Regulierungsperiode (Control Period, CP1), die von 1995 bis 2001 dauerte, zuerst vom Department of Transport festgelegt worden. Das ORR senkte später die Entgelte ab, um die prognostizierten Effizienzgewinne von Railtrack während der Restlaufzeit der CP1 zu berücksichtigen. Der Access Charges (Periodic) Review 2000 für die CP2, die ursprünglich von April 2001 bis März 2006 terminiert war, verfolgte das Ziel, für Railtrack angemessene Erlöse aus den Zugangsentgelten der TOC festzulegen, die dem Unternehmen den Betrieb, die Instandhaltung und Erneuerung der bestehenden Infrastruktur sowie die Durchführung bestimmter Erweiterungen ermöglichen sollten.

Zu diesem Zweck wurden umfassende Erwägungen angestellt zum Erlösbedarf (Aktivitäten, veranschlagte Ausgaben, Effizienzerfordernisse, Vermögensbewertung, Kapitalkosten) und zum Anreizsystem (Entgeltstruktur, Leistungsqualität, Optimierung von Streckenarbeiten, Angebot von Outputs, Informationsbereitstellung durch Railtrack, Überprüfung, Durchsetzung und Sanktionierung durch das ORR). Maßgeblich für die Effizienzvorgaben sollten die Effizienzverbesserung während der CP1 und die aufgrund der Entwicklungen in anderen Netzsektoren zu erwartenden Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen sein. Um die Regulierungsentscheidung ausreichend methodisch und empirisch zu fundieren, gab das ORR vier Studien in Auftrag:

- Die Studien von Booz Allen Hamilton (1999, 2000) verfolgten einen ingenieurwissenschaftlichen Bottom-up-Ansatz. Aus der Bewertung der Ausgabenpläne von Railtrack (Überprüfung des Aktivitätsniveaus für bestimmte Anlagevermögenskategorien), des Inputeinsatzes (Umfang der physischen Ressourcen), der Outputerstellung (Netzzustand, Qualität des Anlagevermögens) und der Effizienz (Stückkosten der Aktivitäten und Produktionsfaktoren) sollten – unter Berücksichtigung der Notwendigkeit ausreichender Erneuerungs- und Instandhaltungsmaßnahmen bei gleichzeitiger Minimierung der Lebenszykluskosten – Effizienzaufholpotentiale und langfristige Produktivitätstrends abgeleitet werden.

Die Studie bestand aus folgenden Arbeitsschritten: Begutachtung der Anlagekategorien (quantitative und qualitative Bestandsaufnahme, anlagenspezifische Abschätzung von Instandhaltungsaktivitäten und -kosten sowie der Investitionsausgaben), Analyse sonstiger Betriebs- und Managementkosten (Signalisierungs- und anderes Personal, Traktionsstrom, Verkehrssicherheit, Lizenzgebühren), Untersuchung der für alle Anlagevermögenskategorien sowie allgemein für Kapital- und Betriebskosten geltenden Aspekte (Outsourcing-Verträge für Infrastrukturerneuerung und -instandhaltung, Supply-chain-Management, Materialtransport, Streckenarbeiten, Einsatz neuer Technologien, Arbeitsplanung), Bewertung der Netzleistung (infrastrukturbedingte Verspätungen), Ermittlung der Potentiale und der Größenordnung für Effizienzgewinne sowie Einbeziehung weiterer Ausgaben und der aufgrund des projizierten Verkehrswachstums zu erwartenden variablen Kosten. Die Autoren kamen zum Ergebnis, dass jährliche Effizienzgewinne von 4 bis 4,9 % im Vergleich zu den von Railtrack angesetzten Ausgaben realistisch seien. Allerdings basierten die Ergebnisse ausschließlich auf Unternehmensinformationen und subjektiven Werturteilen. Mögliche Verbesserungen im Management- und Beschaffungsbereich wurden nicht betrachtet.

- Europe Economics (1999) leitete in seiner Studie das für Railtrack anzusetzende TFP-Wachstum aus einem nationalen sektorübergreifenden Benchmarking mit anderen privatisierten britischen Netzbetreibern ab (Wasser- und Abwassernetze, Stromübertragungs- und -verteilnetze, Gasfernleitungsnetze). Kriterien für die Auswahl der Sektoren waren die rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen, der Grad und der Zeitpunkt der Privatisierung, die Wettbewerbsintensität, die Art der Aktivitäten sowie die Kostenstruktur und -effizienz.

Nach Festlegung der Kostenbasis (Ausgaben am Periodenende, bei konstanter Netzkapazität, Effizienz und Nachfrage) wurde die Entwicklung des realen durchschnittlichen Betriebsaufwands ohne Abschreibungen (Real Unit Operating Expenses, RUOE) zwischen 1988/94 und 1998 analysiert. Demnach lag das jährliche TFP-Wachstum bei 3,7 bis 9,1 %. Nach Ausschluss der Gasfernleitungsnetze (wegen Mengen- und intertemporalen Effekten) und der Berücksichtigung von Leistungs- und Qualitätsverbesserungen sowie von Risikoaspekten erfolgte eine Korrektur auf 3 bis 5 %; Skaleneffekte (keine Schätzung der variablen Kosten möglich), die zunehmende Kapitalintensität (wegen der Einbeziehung von Ersatzinvestitionen) und die Veränderung der realen Inputpreise im Eisenbahnsektor (wegen der Vergleichbarkeit der Sektoren) wurden hingegen vernachlässigt. Angesichts der Unterschiede zwischen den Netzsektoren konnte die Studie jedoch keine präziseren Aussagen zum Produktivitätsfortschritt treffen.

- NERA (2000) berechnete in einer ökonomischen Zeitreihenanalyse das jährliche TFP-Wachstum von neun US-amerikanischen Class I-Eisenbahnen zwischen 1986 und 1998. Der Analyse lagen die Infrastrukturausgaben für Schienenwege und Kunstbauten in Preisen von 1998 zugrunde. Angesichts der unzureichenden Datenqualität sowie erheblicher Unterschiede beim Eisenbahnverkehr (Verkehrsmix, Verkehrsdichte, Beladung) blieben andere Staaten unberücksichtigt. Die Studie ermittelte ein TFP-Wachstum von 3,3 bis 3,9 %. Darin einbezogen waren Skaleneffekte (in Btm) und die abweichende Verkehrsdichte (in Btm je Streckenmeile). Bei Vernachlässigung der Dichteeffekte hätte die TFP um 6,1 bis 6,3 % zugenommen. Außerdem wurden die Kapital- und Betriebskosten verglichen: Kosten je Strecken- bzw. Gleisemeile (stiegen mit Anzahl der Züge), Kosten je Zugmeile (fielen mit der Anzahl der Züge), Kosten je Personenmeile (Pm) bzw. Btm. Zu bemängeln ist, dass NERA (2000) keine Aussagen zum Aufholpotential von Railtrack traf.
- Horton 4 Consulting (2000) prüfte dann abschließend die drei vorhergehenden und weitere Studien bezüglich des Effizienzbegriffs (konzeptionelle Unterschiede zwischen Instandhaltungs- und Erneuerungsausgaben einerseits und TFP andererseits bei der Einbeziehung von Kapitalzinsen und Investitionsausgaben; Notwendigkeit der Berücksichtigung von Skaleneffekten), der Auswahl der Vergleichsunternehmen, der geschätzten Produktivitätswachstumsraten, der das Effizienzsteigerungspotential von Railtrack reduzierenden Sonderfaktoren (Inputpreisanstieg, Maßnahmen zur Outputsteigerung, geringer technischer Fortschritt, hohe Arbeitsintensität, kaum Zunahme der Kapitalproduktivität, fehlende Kontrollierbarkeit von Unterauftragnehmern) sowie des Ausgangskosten- bzw. -ausgabenniveaus.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass zwar mehrere Studien mit unterschiedlichen methodischen Herangehensweisen beauftragt wurden, dass jedoch kein internes Benchmarking von Railtrack durchgeführt wurde und insbesondere keine Studie eine



Effizienzgrenze identifizierte, an der die relative Effizienz von Railtrack gemessen werden konnte. Als spezifische Probleme sind zu nennen, dass kein anderer nationaler Eisenbahninfrastrukturbetreiber existierte, auf internationaler Ebene lediglich Daten für vertikal integrierte Eisenbahnunternehmen verfügbar waren und die Vergleichbarkeit wegen Unterschieden bei der Netztopologie, der Zusammensetzung des Eisenbahnverkehrs und der Ausgestaltung des Rechnungswesen eingeschränkt war.

Bei der Festlegung des Effizienzaufholpotentials spielte der nationale sektorübergreifende Vergleich von Europe Economics für das ORR die größte Rolle. Das Ergebnis eines jährlichen Produktivitätsfortschritts von 3 bis 5 % wurde allerdings auch durch die Resultate der Studien von Booz Allen Hamilton (1999) und NERA (2000) gestützt. Außerdem berücksichtigte das ORR die realen Preissteigerungen bei den Produktionsfaktoren, die nur begrenzte Kostenbeeinflussbarkeit, den geringeren technischen Fortschritt als in anderen Netzsektoren sowie die Prämissen der Erreichbarkeit der Ziele und der Aufrechterhaltung von Anreizen. Railtrack sollte deshalb seine Effizienz innerhalb von fünf Jahren stufenweise um insgesamt 17 % verbessern, was einem einfachen Durchschnitt von 3,6 % bzw. einer konstanten Effizienzverbesserung von 3,1 % auf der Basis von 2000/2001 entsprach.

Im Nachhinein stellten sich jedoch die Ergebnisse der Studien und die Vorgaben des ORR als zu optimistisch heraus. Produktivität und Effizienz hatten sich nach der Privatisierung von British Rail und vor dem Hatfield-Unglück von 2000 sowohl bezüglich der Infrastrukturbereitstellung als auch hinsichtlich des Verkehrsangebots deutlich verbessert. Mögliche Gründe sind Kostenreduktionen aufgrund von Einsparungen bei der Instandhaltung und bei Ersatzinvestitionen sowie Rationalisierungen bei der Betriebsführung. Zwischen 1999/2000 und 2003/04 stiegen dann jedoch infolge des Hatfield-Unfalls vor allem die realen Infrastrukturkosten um 94 % und dabei insbesondere die Kosten von Ersatzinvestitionen um 122 %. Railtrack sah sich mit dem Erfordernis konfrontiert, weitere Instandhaltungsmaßnahmen und Ersatzinvestitionen durchzuführen, da ein hoher Anteil der Schienen das Ende der durchschnittlichen Lebensdauer erreicht hatte und aufgrund der unzureichenden Investitionstätigkeit von British Rail in der Vergangenheit ein erheblicher Nachholbedarf bestand. Allerdings nahmen auch die Betriebskosten des Zugverkehrs und die Kosten für das rollende Material deutlich zu.<sup>57</sup>

Ergänzend wurden im Auftrag der betroffenen Eisenbahnunternehmen zwei weitere Studien durchgeführt:

- Die von Railtrack bei Oxera (2000) beauftragte Studie berechnete die TFP-Veränderung gemäß dem Nature-of-Work-Ansatz. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Funktionsbereiche definiert. Für diese wurden dann Gewichte (Anteil der Kosten der Aktivitäten an den Gesamtkosten) und TFP-Wachstumsraten

---

<sup>57</sup> Vgl. ORR (2000: 31ff.). Zu den Auswirkungen des Hatfield-Unfalls vgl. auch die in Abschnitt 4.1.3 genannten Untersuchungen von Kennedy u.a. (2004) und Smith (2006).

(Werte vergleichbarer Industriesektoren bzw. Unternehmen in ihrer Nachprivatisierungsperiode von 1973 bis 1995, unter Berücksichtigung von Skaleneffekten) bestimmt. Demnach ähnelte die Tätigkeit von Railtrack zu 40 % derjenigen der Netzsektoren Strom, Gas und Wasser (TFP von 2,5 %), zu 25 % der des Dienstleistungssektors (TFP-senkend), zu 25 % der des Baugewerbes (TFP von 2 %) und zu 10 % der des produzierenden Gewerbes sowie des Verkehrs- und Telekommunikationssektors (TFP von 2 %); daraus ergab sich ein Durchschnittswert von 1,7 bis 2,0 %. Außerdem wurden die Ergebnisse anderer Studien (1,0 bis 2,7 %, unter Beachtung von Skaleneffekten und anderen Faktoren), die Regulierungsvorgaben für den Strom- und Wassersektor (2,4 bis 2,7 %) sowie die tatsächlichen Verbesserungen in anderen Netzsektoren (2,0 %) einbezogen.

- Die von L.E.K. Consulting (2000) für English, Welsh & Scottish Railway erstellte Studie verglich zum einen die güterverkehrsbezogenen Infrastrukturkosten pro Btm der fünf größten US-amerikanischen Class I-Eisenbahnen mit den Nutzungsentgelten pro Btm von Railtrack und kam zum Ergebnis, dass die britischen Entgelte signifikant höher waren, auch nachdem Anpassungen zur Berücksichtigung der Unterschiede bei den Zuggeschwindigkeiten, den Achslasten und der Bevölkerungsdichte vorgenommen worden waren. Als Grund dafür genannt wurde das größere Durchschnittsgewicht US-amerikanischer Züge und damit der höhere Btm-Wert. Die Kritik an der Studie richtete sich vor allem auf den Kosten-Entgelt-Vergleich, die Verwendung eines einfachen Effizienzmaßes, die fehlende Differenzierung in Ineffizienzen und sonstige Faktoren sowie auf die Nichtberücksichtigung der voneinander abweichenden Verkehrsdichten, der besseren Schienenwegequalität in Großbritannien und des unterschiedlichen Verkehrsmixes. Außerdem berechnete die Studie das jährliche TFP-Wachstum der US-Eisenbahnen seit 1980 mit 6,7 %. Als Ursachen angeführt wurden zielgerichtete Investitionen und eine effiziente Betriebsführung. In diesen Wert wurden jedoch vermutlich auch Effizienzverbesserungen und Skaleneffekte einbezogen.

#### 4.2.2 Access Charges Review 2003

Der Eisenbahnunfall von Hatfield im Oktober 2000, der Railtrack zu zusätzlichen Instandhaltungs- und Investitionsmaßnahmen veranlasste sowie zu Kompensationszahlungen an die TOC verpflichtete, und die Kostenüberschreitungen beim West Coast Mainline-Projekt trugen wesentlich zur Insolvenz von Railtrack im Jahre 2001 und zur Übernahme von Railtrack durch Network Rail im Jahre 2002 bei. Die Entwicklungen veranlassten das ORR im Juni 2002, im Hinblick auf die Festsetzung der von Network Rail zu erhebenden Infrastrukturzugangsentgelte die CP3 um zwei Jahre auf den Zeitraum April 2004 bis März 2009 vorzuziehen und zu diesem Zweck den Access Charges (Interim) Review 2003 einzuleiten.

Analysebereiche waren die Outputbereitstellung und die Bemessung der notwendigen Ausgaben, die Unternehmensfinanzierung, die Feststellung des Erlösbedarfs, das erforderliche Niveau der Infrastrukturzugangsentgelte und die Ausgestaltung der Anreizsysteme. Bezüglich der Produktivitäts- und Effizienzbestimmung wurden sechs Studien in Auftrag gegeben (Überprüfung der Vertragsstrategie; Prozess-, unternehmensinternes und internationales sektorinternes Benchmarking; Entwicklungen in anderen Netzsektoren):<sup>58</sup>

- In einem ingenieurwissenschaftlichen Bottom-up-Benchmarking untersuchten L.E.K. Consulting u.a. (2003a) die Arbeitsprozesse und -verfahren von vier ausländischen Eisenbahninfrastrukturbetreibern hinsichtlich der Instandhaltung, der Erneuerung und des Betriebs der Schienenwege. Zu diesem Zweck wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt: Identifikation geeigneter europäischer, australischer und nordamerikanischer Unternehmen; Entwicklung eines Benchmarking-Gerüsts für mehrere Prozesse (Einbau und Erneuerung von Schienenwegekomponenten; Instandhaltungs- und Erneuerungstätigkeiten aufgrund der Abnutzung; Abwägung zwischen Instandhaltung und Ersatzinvestitionen; Verteilung und Einbringung von Schotter; spezielle Instandhaltungsverfahren; Outsourcing); Identifizierung unternehmensspezifischer Verfahren und deren Bewertung; Quantifizierung der Vorteile von Network Rail bei einer Übernahme von sechs Best-practice-Prozessen. Die Studie prognostizierte Einsparungen, die sich nach fünf Jahren auf 1 bis 2,2 %, nach zehn Jahren auf 3,6 bis 6 % und nach 15 Jahren auf 4 bis 7,1 % der jährlichen Kosten belaufen sollten.
- Die zweite ingenieurwissenschaftliche Bottom-up-Analyse von L.E.K. Consulting u.a. (2003b) überprüfte den Geschäftsplan von Network Rail und bewertete dabei die Angemessenheit des Umfangs, der Kosten und der zeitlichen Terminierung ausgewählter Aktivitäten der Instandhaltung und Erneuerung in den Geschäftsjahren 2003/04 bis 2005/06. Untersuchungsaspekte waren das Verfahren zur Aufstellung des Geschäftsplans (Zuständigkeits- und Verantwortungsebenen, Einbringung von Vorschlägen für Aktivitäten und deren Abstimmung, Formulierung von Anlässen, Zielen und Konsequenzen, Ressourceneinsatz, Nutzung von IT-Systemen, Dokumentation), die Vorhaben zur Erneuerung von Schienenwegen, Signalanlagen, Anlagen zur Stromversorgung und Betriebsgebäuden (Mengen- und Ausgabenprognose, regionalspezifische und Konzerngemeinkosten, Prüfung und Auswahl der Aktivitäten, Rechtfertigung der Notwendigkeit der Aktivitäten, Kostentreiber), die geplanten Instandhaltungsaktivitäten (Gesamtausgaben, Ziele, Planungsverfahren, Umsetzung, Kostentreiber, Informationsbereitstellung, Outsourcing) und die Beurteilung der Umsetzbarkeit (Arbeitsplanung, verfügbare Ressourcen, internes Controlling).

---

58 Vgl. ORR (2003a: 64ff.).

- Die Studie von Accenture (2003) nahm einen Bottom-up-Vergleich des Lieferkettenmanagements von Network Rail gemäß der internationalen Best-practice vor. Dabei wurden die Vorgaben des Unternehmensplans von Network Rail anhand eines Kriterienkatalogs mit den in anderen Netzsektoren praktizierten Verfahren verglichen, die Aktivitäten bzw. Prozesse von sechs Teilbereichen der Lieferkette (Erneuerung von Schienenwegen und der Elektrifizierung, Signal- und Telekommunikationsanlagen, Instandhaltung, Kunstbauten und Betriebsgebäude, freiberufliche Dienstleistungen, Logistik) bezüglich der Parameter „Strategie und Planung“, „Auswahl der Vertragspartner und Vertragsabschluss“, „Lieferung und Ausführung“ sowie „Organisation, Mitarbeiter und Informationstechnologie“ anhand von Befragungen bewertet sowie abschließend Effizienzgewinne (differenziert nach laufenden Initiativen und gemäß der Best-practice; zeitliche Verteilung der Vorteile; Ausweis von Stand-alone-Gewinnen und Überlappungen) abgeleitet.

Die möglichen Effizienzsteigerungen sollten sich bei der Erneuerung von Schienenwegen, Stromversorgungs-, Signal- und Telekommunikationsanlagen sowie von Kunstbauten und Gebäuden auf 17 % und bei der Instandhaltung auf 18 % belaufen; kurzfristig schien eine Verbesserung um 9 % realistisch zu sein. Als Ansatzpunkte für eine Optimierung genannt wurden die Berücksichtigung unterschiedlicher Nachfragerprofile, die Definition von Anforderungen, die Entwurfs-umsetzung, das Risiko-, Vertrags- und Beschaffungsmanagement sowie die Ausnutzung der Wettbewerbsintensität der Liefermärkte bzw. der strategischen Beschaffungs- und Verhandlungsmacht. Unternehmensinterne Probleme sah die Studie in der kaum entwickelten Lieferkette, dem laufenden Umstrukturierungsprogramm, den bestehenden Rechts- und Sicherheitsvorschriften sowie den fehlenden Informationen über das Anlagevermögen.

- Oxera (2003b) verfolgte das Ziel, unter Verwendung von anderen Studien und Datensammlungen die Effizienz bestimmter Nichtkernfunktionen bzw. -aktivitäten von Network Rail an denen anderer Unternehmen zu messen. Hierzu zählten allgemeine Leitungsfunktionen (Unternehmensstrategie, Finanzen, Personalwirtschaft, Informationstechnologien), spezifische Aktivitäten von Versorgungsunternehmen (Rechtsfragen, Unternehmensplanung, Regulierung) und hinsichtlich anderer Industriesektoren die Bereiche Grundbesitz und Sekretariat. Die Effizienzbewertung erfolgte anhand des Anteils der aktivitätsbezogenen Mitarbeiter an der Gesamtmitarbeiterzahl oder hilfsweise des Anteils der aktivitätsbezogenen Kosten an den Gesamtkosten in Verbindung mit einer Überprüfung der Mitarbeiter- bzw. Kostenbasis.

Ergänzend wurden ein unternehmensinternes Benchmarking ähnlicher Geschäftsbereiche (z.B. Personenbahnhöfe) und der historischen Entwicklung der Mitarbeiterzahlen bzw. der Kosten durchgeführt. Einige Geschäftsbereiche, wie die Unternehmensentwicklung, Güterverkehr und Logistik, gewerbliche Leistun-

gen, die Verkehrssicherheit und bestimmte technische Aspekte, wurden nicht betrachtet. Die Gesamteffizienz wurde auf 17 % geschätzt, insbesondere in den Bereichen Rechtsfragen, Personal, Grundbesitz, Unternehmensplanung, Regulierung und Personenbahnhöfe. Bei einer Reduzierung der zonenspezifischen Betriebskosten um 15 % wurde ein Effizienzpotential von 18 % errechnet; unter Einbeziehung der Ineffizienzen in unberücksichtigt gebliebenen Bereichen erwartete die Studie Verbesserungen von 18 bis 20 %.

- L.E.K. Consulting (2003) wandte erstmals das Verfahren eines unternehmensinternen Benchmarkings an und verglich die Stückkosten der Betriebsführung, der Instandhaltung und der Ersatzinvestitionen in Schienenwege der sechs Regionen und 19 Vertragsgebiete von Network Rail. In die Analyse einbezogen wurden 31 % der Betriebsführungskosten (z.B. Personalkosten in den Bereichen Zugkontrolle, Qualitäts- und Verkehrssicherheitsmanagement; Trassenzuweisung; Planung von Instandhaltung und Erneuerung; Finanzmanagement; Mieten; Kosten der Strom-, Gas- und Wasserversorgung sowie der Telekommunikation; Sozialleistungen) und 72 % der Instandhaltungskosten (Reparatur, Streckenkontrolle, Vertragsbeziehungen), aber unter 1 % der Kosten für Ersatzinvestitionen (ohne Weichen, Bahnübergänge, Signalanlagen und Kunstbauten).

In methodischer Hinsicht ging die Studie folgendermaßen vor: Bestimmung geeigneter Outputs; Normalisierung der Kosten anhand regionalspezifischer Struktur-faktoren (nicht beeinflussbare Kostentreiber); Festlegung der Effizienzfaktoren (beeinflussbare Kostentreiber), wie z.B. Personalstruktur und -qualität, Organisation der Arbeitsabläufe, Inputkosten, vertragliche Vereinbarungen, Geschäftsbeziehungen zu den TOC, Planung und Management von Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen; Durchführung einer Regressionsanalyse; Ermittlung von Kostensenkungspotentialen für jede Aktivität und Region (bezüglich der besten und zweitbesten Region sowie des besten Quartils). Die Kostensenkungspotentiale wurden auf 12 bis 20 % bei den Personalkosten, 13 bis 17 % bei den nicht personalbezogenen Betriebskosten, 10 bis 24 % bei der Gleis-instandhaltung, 14 bis 23 % bei der Instandhaltung von Signal- und Telekommunikationsanlagen und 7 bis 13 % bei der Gleiserneuerung sowie insgesamt auf 11 bis 21 % veranschlagt. An der Studie zu kritisieren ist die rein kostenbezogene Betrachtung und der fehlende externe Vergleich; dafür sind Unterschiede in Skaleneffekten, Technologien und Umweltvariablen irrelevant.

- In Anlehnung an Europe Economics (1999) und Oxera (2000) bestimmte Oxera (2003a) zum einen das Effizienzaufholpotential von Network Rail anhand einer Analyse der Entwicklung der RUOE anderer britischer Netzbetreiber. Ausgewählt wurden der Wasser-, Abwasser-, Strom- und Telekommunikationssektor. Der Untersuchungszeitraum umfasste die Phase von der Privatisierung bis 2002, wobei auf vollständige Regulierungsperioden und Konjunkturzyklen geachtet wurde. In Bezug auf das Outputwachstum und die Skaleneffekte nahm

die Studie Korrekturen vor; unberücksichtigt blieben die nicht beeinflussbaren Kosten, Qualitätsfortschritte, die Entwicklung der Inputpreise und das Ausgangseffizienzniveau.

Daraus ergaben sich für die einzelnen Sektoren folgende Effizienzverbesserungen: Wasser 2,5 bis 2,6 %, Abwasser 0 bis 0,9 %, Stromverteilnetze 3,1 bis 3,8 %, Stromübertragungsnetze 3,9 bis 5,7 %, British Telecom 3,4 % bzw. 10,1 bis 10,3 %; der Durchschnitt lag bei 2,5 bis 5,5 %. Eine modifizierte Untersuchung der RUOE-Entwicklung auf der Basis von TFP ermittelte eine Bandbreite von 0 bis 4,5 %. Außerdem begutachtet wurden die zeitliche Verteilung der Effizienzgewinne, die Anreizkompatibilität (z.B. höhere Zielvorgaben), die Umstrukturierungskosten und ergänzende Qualitätsvorgaben. Ohne Berücksichtigung von Qualitätsverbesserungen wurde für Network Rail eine jährliche Effizienzsteigerung von 5 bis 6 % als angemessen betrachtet. Zum anderen befasste sich die Untersuchung mit der langfristigen Produktivitätsentwicklung in den oben genannten Sektoren. Auf der Grundlage der Ergebnisse von anderen Studien für die Jahre 1989 bis 1999 (-0,3 bis 4,4 %), nach Korrektur um Skaleneffekte (0 bis 3,2 %), bei Beachtung der Regulierungsvorgaben für andere Sektoren (0 bis 3 %) sowie unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Ausgestaltung der Anreizsysteme wurde ein allgemeiner Produktivitätsfortschritt von 1,0 bis 1,5 % als vertretbar angesehen.

Im Vergleich zum Review 2000 beauftragte das ORR damit beim Review 2003 eine größere Anzahl an Studien, die auf verschiedene methodische Ansätze (ingenieurwissenschaftliche Bottom-up-Modelle, Top-down-Analysen, unternehmernehmensinternes und externes Benchmarking, Einbeziehung anderer Netzsektoren) und unterschiedliche Datenbasen zurückgriffen. Ein belastbares internationales Benchmarking scheiterte jedoch an der mangelnden Datenqualität; die Bottom-up-Untersuchungen konnten diese Lücke nur in begrenztem Umfang schließen. Auch erfolgte kein Vergleich mit den historischen Kostenniveaus von British Rail.

Als besonders relevant für die Festlegung des Ermittlung des für Network Rail maßgeblichen Effizienzfortschritts sah das ORR das interne Benchmarking (L.E.K. Consulting, 2003) und zwei der Bottom-up-Studien (Accenture, 2003; L.E.K. Consulting u.a., 2003b) an. Ein Vergleich mit den anderen Netzindustrien (Oxera, 2003a) sollte aufgrund der eisenbahnspezifischen Entwicklungen nach dem Hatfield-Unfall diesmal unterbleiben. Die Studie von L.E.K. Consulting u.a. (2003a) brachte kaum Erkenntnisse zu sofortigen Einsparmöglichkeiten. Das Prozess-Benchmarking von Oxera (2003b) wurde als nur am Rande bedeutsam eingestuft, da die betrachteten Aktivitäten nur einen geringen Anteil am Umsatz von Network Rail hatten.

Aufgrund der Ergebnisse des Bottom-up-Reviews von L.E.K. Consulting u.a. (2003b) verpflichtete das ORR Network Rail, bestimmte Aktivitäten aufzugeben. Außerdem sollten die realen Stückkosten während der CP3 um 31 % (Instandhaltungskosten minus

35 %, Kosten der Betriebsführung und Ersatzinvestitionen minus 30 %) bzw. um 1,5 Mrd. £ pro Jahr zurückgeführt werden. Während der ersten drei Jahre war eine Reduzierung von jeweils 8 %, im vierten und fünften Jahr von jeweils 6 % vorgesehen. Auch diese Zielvorgaben wurden durch Studienergebnisse gestützt: L.E.K. Consulting (2003) hatte bis zu 21 %, Oxera (2003b) bis zu 20 % und Accenture (2003) bis zu 18 % Kostensenkung als realisierbar angesehen; Network Rail selbst war sogar von 28 % ausgegangen. Zusätzliches Effizienzsteigerungspotential sah das ORR bei der Optimierung von Streckenarbeiten, dem Einsatz neuer Technologien und bei neuen Sicherheitsstandards; die zu erwartenden Inputpreissteigerungen wurden als Effizienz schmälern berücksichtigt. Wegen des Kostenanstiegs in der CP2 sollte damit allerdings erst 2007/08 das Kostenniveau von 2001/02 unterschritten, das von 1999/2000 aber noch nicht wieder erreicht werden.<sup>59</sup> Nach neuesten Erhebungen kann Network Rail die Effizienzvorgaben bis zum Ende der dritten Regulierungsperiode größtenteils, aber nicht vollständig erfüllen.<sup>60</sup>

#### 4.2.3 Access Charges Review 2008

Bereits im Vorfeld des Access Charges Review 2008 führten L.E.K. Consulting u.a. (2005) eine Untersuchung zum Produktivitäts- und Effizienzfortschritt im Eisenbahnsektor durch, die unter Berücksichtigung der tatsächlichen Zielerreichung durch Network Rail sowie der zu erwartenden Entwicklung eine angemessene Größenordnung für die zukünftigen Effizienzgewinne bei den steuerbaren Betriebs-, Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionsausgaben ableitete. Außerdem betrachtete die Studie die Tendenzen in anderen Wirtschaftssektoren und speziell in den übrigen regulierten britischen Netzsektoren (einschließlich der regulatorischen Vorgaben) sowie bei den US-amerikanischen Eisenbahngüterverkehrsunternehmen und wertete ältere Studien aus.

So gingen die totalen Stückkosten bei Network Rail im Geschäftsjahr 2004/2005 um 16 % (Betriebsführung), 10 % (Instandhaltung) bzw. 8 bis 9 % (Ersatzinvestitionen) zurück. Allerdings konnten nicht alle vorgesehenen Einzelvorhaben zur Effizienzverbesserung angegangen bzw. vollständig abgeschlossen werden. Im britischen Wasser-, Abwasser-, Strom- und Telekommunikationssektor waren die RUOE nach Berücksichtigung der Skalen- und Qualitätseffekte jährlich um 2,5 bis 5,7 %, in der zweiten Regulierungsperiode um 3 bis 12,8 % (im Durchschnitt um 6,5 %), in der zweiten Privatisierungsperiode um 3,7 bis 4,5 % (im Durchschnitt um 4,3 %) und damit im Gesamtmittel um 5,4 % gesunken.

Die Analyse der TFP für die britische Gesamtwirtschaft und bestimmte Wirtschaftssektoren ergab für die Jahre 1973 bis 1999 nach Anpassung an die Skaleneffekte ein jährliches Wachstum von 0,7 bis 3,2 %. Die Auswertung von Produktivitätsstudien führte zu

---

<sup>59</sup> Vgl. ORR (2003b: 91ff.).

<sup>60</sup> Vgl. Ernst & Young (2008: 11).

einem Intervall von 0 bis 3 %. Die TFP-basierten RUOE nahmen im Mittel um 0,7 bis 1,2 % zu, während die TFP-basierten realen Stückkosten (Real Unit Total Costs, RUTC) um 0,7 bis 1,1 % stiegen. Die Vorgaben der anderen britischen Regulierer beliefen sich auf 0 bis 3 % (im Durchschnitt auf 1,4 %). Die US-amerikanischen Class I-Eisenbahnen verzeichneten zwischen 1980 und 2004 insgesamt einen Produktivitätsanstieg um 178 % und einen Rückgang der RUOE um 64 %. Nach Anpassung an das Größenwachstum lag der jährliche TFP-Zuwachs in der zweiten Periode bei 4,2 % und in der dritten Periode bei 4,5 %.

Die Beurteilung des bisherigen Effizienzsteigerungspfades von Network Rail legte nach Auffassung von L.E.K. Consulting u.a. (2005) zu Beginn der CP4 bei den steuerbaren Betriebskosten eine verbleibende Differenz von 15 bis 25 % (2 bis 5 % pro Jahr) nahe, die allerdings nur zum Teil als Effizienzurückstand eingestuft wurde; die Größenordnung war davon abhängig, ob nur der Rückstand aus der CP3 oder zusätzlich auch die Zielverfehlungen aus der CP2 einbezogen wurden. In den anderen Netzsektoren waren innerhalb der letzten 15 Jahre Kostensenkungen von 20 bis 50 % eingetreten. Im Minimum sollten Effizienzsteigerungen von jährlich 1 bis 2 % plus die nicht realisierten Effizienzsteigerungen aus der CP3 erreicht werden. Aus der Gesamtbetrachtung resultierte deshalb eine Abschätzung realisierbarer Effizienzgewinne von 2 bis 8 % pro Jahr (insgesamt 10 bis 34 %) für die CP4 und von 1,5 bis 5 % pro Jahr für die CP5 (gemäß der Entwicklung in den anderen Netzsektoren). Verbundvorteile, technischer Fortschritt und Qualitätssteigerungen waren aus der Betrachtung ausgeklammert worden.

Der im Jahre 2005 eingeleitete Periodic Review of Access Charges 2008 für die CP4, die von April 2009 bis März 2014 dauern wird, setzt sich wie bereits die früheren Konsultationen detailliert mit dem Finanzierungs- und Erlösbedarf von Network Rail auseinander. In diesem Zusammenhang werden Überlegungen zu der Bestimmung des Outputs und der Aktivitätsbereiche, dem Umfang der Netzkapazitäten und der Infrastrukturnachfrage, dem Ausgabenbedarf, den Effizienzvorgaben, der Höhe der Kapitalkosten, dem Entgeltniveau, den sonstigen Einnahmen, dem Anreizsystem sowie zu den Sicherheits- und Umweltschutzvorgaben angestellt.<sup>61</sup>

Hinsichtlich der Bestimmung eines angemessenen Produktivitäts- und Effizienzfortschritts folgte das ORR den Empfehlungen der Studie von L.E.K. Consulting u.a. (2005). Diese hatte angeregt, ein unternehmensinternes Benchmarking (Vergleich der Regionen anhand einer Paneldatenanalyse), ein Benchmarking der Kosten der Signalanlagen und Streckenarbeiten, ein internationales Top-down-Benchmarking der Instandhaltungs- und Erneuerungskosten (Prozesskostenanalyse, DEA, ökonometrische Analyse), ein Benchmarking übergeordneter Unternehmensaktivitäten, eine Überprüfung neuer Technologien und der Inputpreisentwicklung sowie eine ingenieurwissenschaftliche Bottom-up-Analyse von Geschäftsprozessen, Lieferketten und Anlagever-

---

<sup>61</sup> Vgl. ORR (2005a) und ORR (2005b).



mögensmanagement durchzuführen. Darüber hinaus dienten die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Studie dem ORR als Ausgangspunkt für die Formulierung der eigenen Position.<sup>62</sup> Zur Produktivitäts- und Effizienzmessung wurden bisher folgende Studien vorgelegt (Stand: Oktober 2008):<sup>63</sup>

- Oxera (2006), CEPA (2006) und NERA (2006) befassten sich mit den Auswirkungen der Begrenzung der staatlichen Kreditbürgschaft bzw. der Einführung einer Bürgschaftsgebühr auf die Effizienzentwicklung. Anhaltspunkte boten Vergleiche mit anderen Unternehmen. So erzielten gemischt eigen- und fremdkapitalfinanzierte Unternehmen ohne Kreditbürgschaft durchschnittlich Effizienzgewinne von 5 %. Gemischtfinanzierte Wasserunternehmen übererfüllten die Vorgaben, während die fremdkapitalfinanzierte Welsh Water, die nicht auf Bürgschaften zurückgreifen kann, den Abstand zur Effizienzgrenze verringerte, aber in der Effizienzrangliste zurückfiel. Die gemischtfinanzierte Körperschaft des öffentlichen Rechts Scottish Water verzeichnete erhebliche Effizienzzuwächse, allerdings von einer niedrigen Basis. Die Analysen kamen letztlich zum Schluss, dass eine Begrenzung der Bürgschaft die Effizienz verbessert, aber wahrscheinlich nur in geringem Umfang von ca. 0,5 %.
- Network Rail legte der in seinem Strategischen Geschäftsplan vom Juni 2006 bzw. Oktober 2007 enthaltenen Effizienzanalyse neben einem Bottom-up-Verfahren zur Ableitung von nach Kostenkategorien differenzierten tatsächlichen Kosten auch Kostenmodelle und einen Top-down-Ansatz zugrunde. Das Effizienzsteigerungspotential für die CP4 wurde mit insgesamt 17,6 % und bei Berücksichtigung der Inputpreisentwicklung mit 11,5 % bzw. 2 bis 3,2 % pro Jahr beziffert; bei der Instandhaltung setzte Network Rail 16,5 %, bei den steuerbaren Betriebskosten 5,9 %, bei den gesamten Betriebskosten 0,8 % und bei der Erneuerung 12,6 % an. Für noch nicht identifizierte Steigerungspotentiale sollte zusätzlich ein Streckungsfaktor zur Anwendung kommen.
- In einer nachfolgenden Studie von Ernst & Young (2008) wurden die Vorgehensweise von Network Rail bei der Ermittlung der Effizienzsteigerungspotentiale und die Angemessenheit der Effizienzziele sowie die maßgeblichen Studien begutachtet. Die Kritikpunkte betrafen u.a. die mangelhafte Erläuterung der Annahmen, die Vereinheitlichung der Ziele für die einzelnen Kostenkategorien, die Nichtberücksichtigung neuer Bottom-up-Effizienzsteigerungspotentiale, die zu geringen Vorgaben für die Instandhaltung und die Ersatzinvestitionen, die fehlenden Nachweise für die Angemessenheit des Gesamtziels, die Nichtbeachtung bestimmter Aktivitäten und Steigerungspotentiale, die nur ansatzweise durchgeführte Bottom-up-Ableitung der Betriebskosten und die Vernachlässigung eines internen Benchmarkings der Instandhaltung, die fehlende Konsistenz zwischen Finanz- und Geschäftsmodellen und den Effizienzzielen, die zu

---

<sup>62</sup> Vgl. ORR (2005b: 24ff.) und ORR (2006: 28ff.).

<sup>63</sup> Vgl. dazu auch ORR (2008b: 116ff.).

geringe regionale Differenzierung, eventuelle Doppelzählungen sowie unzureichende Buchprüfungen und Sensitivitätsanalysen.

- In mehreren Studien überprüfte AMCL (2007, 2008) die Unternehmensstrategien von Network Rail in Bezug auf verschiedene Anlagevermögenskategorien und analysierte dabei die Fortschritte, Begründungen, die beste Lösung und das Potential für zukünftige Verbesserungen.
- Im Rahmen eines Top-down-Benchmarking ermittelte Oxera (2008a) erstmals die durch Erweiterungs- und Neuinvestitionen bei Network Rail zu erwartenden Produktivitätsfortschritte. Da direkte Methoden, wie die Malmqvist-DEA oder ökonomische Paneldatenschätzungen, aufgrund unzureichender Daten nicht realisierbar waren, wurden zwei indirekte Methoden angewendet. Zum einen betrachtete die Studie Schätzungen und Regulierungsziele für andere geeignete Netzsektoren. Auswahlkriterien waren der getrennte Ausweis von Erweiterungs- und Neuinvestitionen als Kostenkategorien, die separate Betrachtung von Produktivitätsfortschritt und Effizienzaufholpotential, eine ähnliche Netzstruktur sowie eine ausreichende Vergleichbarkeit bei technischem Fortschritt, Inputpreisveränderung und Risiko. Das spezifische TFP-Wachstum belief sich demnach im Wasser- und Abwassersektor auf 2,5 bis 3 %, bei den Gasverteilnetzen auf 1,2 bis 1,8 % und somit insgesamt auf 1,2 bis 3 %.

Zum anderen berechnete die Studie das TFP-Wachstum für einen virtuellen Vergleichssektor, der aus Sektoren mit vergleichbaren Aktivitäten bzw. Anlagevermöenselementen konstruiert wurde. Notwendige Voraussetzungen waren das Vorliegen einer ausreichend langen Datenreihe (1981-2004 bzw. alternativ 1970-2004 oder 1990-2004), die Abdeckung eines vollständigen Konjunkturzyklus sowie ein ähnliches Inputpreiswachstum und ein vergleichbarer technischer Fortschritt. Herangezogen wurden der Energie- und Wassersektor, der Verkehrs- und Bevorratungssektor, das Baugewerbe, der Post- und Telekommunikationssektor sowie der Maschinen- und Ausrüstungsverleih. Das TFP-Veränderung für den Vergleichssektor ergab sich aus dem gewichteten Durchschnitt der Produktivitätsfortschrittsraten der ausgewählten Sektoren. Die Gewichtungsfaktoren bestimmten sich aufgrund der Ähnlichkeit der Aktivitäten bzw. des Anlagevermögens oder gemäß der Zuordnung der anlagenspezifischen Kosten. Skaleneffekte gingen über Faktoren für die Skalenelastizitäten (0,9 bzw. 1,0) in die Kalkulation ein. Im Ergebnis ermittelte die Studie ein TFP-Wachstum von 1,5 bis 2,0 % (bei Vernachlässigung des Verkehrssektors 1,5 bis 1,8 %, bei Beschränkung auf die Sektoren Baugewerbe und Verleih 0,9 bis 1,8 %). In Abhängigkeit von der Ausprägung des technischen Fortschritts und des Effizienzaufholpotentials reduzierte sich der Wert auf 0,9 bis 1,8 %.

- In einer zweiten Studie aktualisierte Oxera (2008b) die Ergebnisse von L.E.K. Consulting u.a. (2005). Mittels eines Top-down-Benchmarking wurden die Effizienzaufholpotentiale von Network Rail in Bezug auf die Betriebs-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten bestimmt. Die Analyse der jährlichen Abnahme

der RUOE in anderen britischen Netzsektoren (Wasser und Abwasser, Strom- und Gasverteilung, Stromübertragung, Telekommunikation) lieferte unter Beachtung der Privatisierungs- und Regulierungsperioden und der Konjunkturzyklen sowie nach Anpassung aufgrund von Unterschieden bei den Inflationsraten, den Skalenerträgen, der Ausgestaltung des Rechnungswesens und der Outputentwicklung folgende Ergebnisse: Betriebskosten 1,7 bis 14,3 % (zentraler Bereich: 4,0 bis 6,2 %), Instandhaltungskosten -4,5 bis 2,9 % (zentraler Bereich: 0,4 bis 0,9 %), unter Berücksichtigung der Sondereffekte aufgrund des Hatfield-Unfalls und der Insolvenz von Railtrack (Rücksetzung des Vergleichs auf die zweite Regulierungs- bzw. Privatisierungsperiode) 5,2 bis 6,8 %. Die Trendanalyse, die in Form einer OLS-Regression der natürlichen Logarithmen des unternehmensspezifischen Stückkostenindex und der Bestimmung der marginalen Effekte eines weiteren Betrachtungsjahres auf die Stückkosten erfolgte, führte zu einem Intervall von 4,2 bis 8,1 %. Die unternehmens- und sektorspezifischen Verteilungsanalysen (Normalverteilung unter Nutzung des obersten und untersten Quartils) berechneten Spannbreiten von -2,6 bis 7,0 % bzw. -0,5 bis 8,1 %.

Ferner ermittelte die Studie den gewichteten Durchschnitt der TFP-Wachstumsraten wettbewerblich organisierter britischer Netzsektoren. Die Annahmen entsprachen denen der RUOE-Analyse; außerdem bezog man den Kapitalsubstitutionseffekt mit dem Faktor 0,35 ein. Auch die Vergleichssektoren (einschließlich Banken und Versicherungen) und die Beobachtungszeiträume wurden übernommen. Zusätzlich generierte die Studie spezifische Gewichte für die Vergleichssektoren bezüglich der Betriebs-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten. Im Basisfall betragen der TFP-Fortschritt bei den Betriebskosten 1,0 %, der Instandhaltung 2,1 % und den Ersatzinvestitionen 2,1 % sowie insgesamt 1,9 %. Die Sensitivitätsanalysen (ohne Verkehrssektor, Beschränkung auf Bau- und Verleihsektor, andere Werte für den Kapitalsubstitutionseffekt, andere Skalenelastizitäten, gesonderte Schätzung der Arbeitsproduktivität auf OPEX-Basis) lieferten Intervalle von 0,5 bis 1,3 % bei den Betriebskosten, 1,6 bis 2,2 % bei der Instandhaltung und 1,7 bis 2,1 % bei den Ersatzinvestitionen sowie von 1,5 bis 1,9 % bei einer Gesamtbetrachtung. Die Empfehlungen zur Festsetzung der Effizienzziele für Network Rail wurden nach der Beurteilung des Ausgangseffizienzniveaus gestaffelt und beliefen sich bis zu 4 % (effizienter Zustand), 4 bis 6,5 % (durchschnittliche Effizienz) bzw. 5 bis 7 % (ineffizienter Zustand).

- RailKonsult (2008a, 2008b) verglich die Methoden, Verfahren und Systeme bestimmter Ingenieuraktivitäten bei der Instandhaltung und Erneuerung von Eisenbahninfrastrukturen. Arbeitsschritte waren die Identifizierung und Beschreibung der Tätigkeiten, die Herausarbeitung von Unterschieden zwischen der Best-practice und dem Status-quo bei Network Rail, die Abschätzung des Nutzens einer Anpassung sowie Sicherheitsaspekte und Umsetzungsfragen.
- Schließlich führten ITS u.a. (2008) ein Top-down-Benchmarking der Instandhaltungs- und Erneuerungskosten von Network Rail und anderer europäischer Ei-

senbahninfrastrukturbetreiber durch. Im Rahmen einer ökonometrischen Schätzung wurden zwei Effizienzgrenzen (bestes Unternehmens, oberstes Quartil), die relativen Effizienzwerte, die Relevanz bestimmter Kostentreiber und die Kostenvariabilität ermittelt.

In einem ersten Ansatz wurde mit Hilfe eines zeitveränderlichen SFA-Panelmodells eine Cobb-Douglas-Kostenfunktion geschätzt. Exogene Variablen waren die Instandhaltungs- und Erneuerungsstückkosten (sowohl separat als auch aggregiert), erklärende Variablen die Streckenlänge (stark positiv), die Zugdichte, der Anteil eingleisiger (stark negativ) und elektrifizierter Strecken, die Anzahl der Weichen und der Zeittrend; außerdem erfolgte eine Anpassung an das zusätzliche Nachholpotential von Network Rail. Die Daten von 13 Eisenbahninfrastrukturunternehmen aus den Jahren 1996 bis 2006 stammten von der LICB-Datenbank der UIC. Die Analyse zeigte, dass das Effizienzniveau 2000 je nach gewählter Methodik bei 75 % bzw. 100 % lag. Network Rail wies 2004 einen Rückstand von 45 % auf das beste Unternehmen auf, konnte sich aber bis 2006 auf 40 bzw. 43 % verbessern.

Der zweite Ansatz schätzte auf der Basis eines SFA-Panelmodells und der ML-Methode eine Cobb-Douglas-Kostenfunktion. Exogene Variablen waren die durchschnittlichen Instandhaltungs- und Erneuerungskosten bzw. allein die Instandhaltungskosten, erklärende Variablen die Streckenlänge (deutlich positiv), die Zugdichte (deutlich positiv sowohl für den Gesamtverkehr als auch den Personenverkehr) und der Anteil elektrifizierter Strecken. Genutzt wurden über mehrere Jahre verfügbare regionale Daten von fünf ausgewählten Eisenbahninfrastrukturunternehmen (Vereinigtes Königreich, Belgien, Niederlande, Irland, Vereinigte Staaten). Nach dieser Schätzung lag Network Rail 44 % unter der Effizienzgrenze.

Auf die wissenschaftliche Diskussion über die Studie<sup>64</sup> reagierte Smith (2008) mit einem weiteren Bericht, in dem auf verschiedene Kritikpunkte eingegangen und Ergänzungen vorgenommen wurden. Dies betraf z.B. die Modellauswahl, die Sensitivitätsanalysen, die Datenqualität, die Bevorzugung einer Cobb-Douglas-Kostenfunktion, die Generierung einer Varianz-Kovarianz-Matrix zur Ableitung der Standardabweichung, die Nachbildung des Zeitpfades der Effizienzentwicklung und die Annahmen an den Steady-State-Zustand von Network Rail (Betrachtung als ein Unternehmen oder als zwei Unternehmen vor und nach dem Hatfield-Unglück).

Nach den Festlegungen des ORR vom 4. November 2008 beläuft sich das Effizienzaufholpotential für die CP4 insgesamt auf 21 % und hinsichtlich des Betriebs auf 16,4 % (2,8 bis 4 % pro Jahr), der Instandhaltung auf 18 % (3,2 bis 4,5 % pro Jahr) und der Ersatzinvestitionen auf 23,8 % (5 bis 5,5 % pro Jahr); der reine Produktivitätsfortschritt

---

<sup>64</sup> Vgl. Horton 4 Consulting (2008), LECG (2008) und Smith u.a. (2008).

wurde mit 3 % pro Jahr veranschlagt. Angesichts der notwendigen Implementierung neuer Technologien und Arbeitsmethoden sollen die Verbesserungen vor allem im dritten bis fünften Jahr der Regulierungsperiode realisiert werden. Bei der Kalkulation des Ziels spielten insbesondere die Ergebnisse der Studie von ITS u.a. (2008), aber auch die Resultate der anderen Studien, die Ergebnisse der Konsultation sowie das tatsächliche Aufholpotential am Ende der CP3 und die Inputpreisentwicklung (Beeinflussbarkeit, Kostenschocks) eine wichtige Rolle. Insbesondere wurde nicht das beste Unternehmen, sondern das oberste Quartil als Referenz gewählt, womit bereits eine Reduzierung des Effizienzziels von 43 auf 37 % einherging. Um die Zielvorgaben angemessen und realistisch zu halten, soll Network Rail in der CP4 lediglich  $\frac{2}{3}$  des in der ITS-ORR-Studie ermittelten Effizienzurückstands aufholen müssen; die Lücke wird dann erst in der CP5 vollständig geschlossen werden. Die im Geschäftsplan von Network Rail entwickelten Vorstellungen wurden jedoch als unzureichend eingestuft.<sup>65</sup>

#### 4.2.4 Zwischenfazit

In den letzten zehn Jahren hat das ORR zahlreiche Studien zur Messung der Produktivität und Effizienz von Railtrack bzw. Network Rail beauftragt, die die Grundlage diesbezüglicher Vorgaben im Rahmen der Entgeltregulierung bilden sollten. Zu beobachten ist, dass die Anzahl der Studien zugenommen hat und dass mit diesen dann auch zunehmend alle denkbaren methodischen Herangehensweisen (Bottom-up- und Top-down-Kostenanalysen; ingenieurwissenschaftliches und ökonomisches Benchmarking; unternehmensinterne, sektorinterne und sektorübergreifende Vergleiche) berücksichtigt wurden. Allerdings sind die Verfahren nur eingeschränkt robust im Hinblick auf die Gewährleistung einer konsistenten Preisregulierung auf der Basis von Effizienzkosten. Es fehlen vor allem spezifische Daten des regulierten Netzbetreibers zur Durchführung von quantitativen Analysen sowie ein aussagekräftiges Benchmarking mit ausländischen Eisenbahninfrastrukturunternehmen und mit älteren Daten von British Rail. Schließlich ist kritisch anzumerken, dass die Festlegungen im Rahmen der Access Charges Reviews 2000, 2003 und 2008 im Wesentlichen auf der Basis von einer oder zwei Untersuchungen getroffen wurden, während andere Studien unberücksichtigt blieben.

### 4.3 Empirische Ermittlung eines generellen X-Faktors für den deutschen Eisenbahnsektor

In diesem Abschnitt wird auf empirischem Wege der Produktivitätsfortschritt im deutschen Eisenbahn- bzw. Eisenbahninfrastrukturmarkt und damit ein genereller X-Faktor bestimmt, wie er im Rahmen der Anreizregulierung Verwendung findet. Hierfür werden zwei unterschiedliche Wege beschritten. Zum einen erfolgt – basierend auf einem Da-

---

<sup>65</sup> Vgl. ORR (2008a: 97, 109ff.) und ORR (2008b: 159ff.).

tensatz der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR)<sup>66</sup> – die Ermittlung des TFP-Fortschritts und der Inputpreisentwicklung auf zwei Ebenen, nämlich für die Gesamtwirtschaft und den Eisenbahnsektor. Zum anderen werden Daten der Deutsche Bahn Netz AG herangezogen, um Aussagen zur Veränderung der technischen Produktivität für den Eisenbahninfrastrukturbereich abzuleiten. Berechnungen zum Effizienzniveau bzw. -aufholpotential von deutschen Eisenbahninfrastrukturunternehmen und speziell der Tochterunternehmen der Deutsche Bahn AG, die der Kalkulation individueller X-Faktoren zugrunde liegen müssen, sind nicht Bestandteil dieses Abschnitts.

#### 4.3.1 Schätzungen auf der Basis der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen

Wie bereits erwähnt, stützt sich der erste Teil der empirischen Analyse auf Daten aus den VGR. Hierzu wurden die insbesondere die Fachserien 16 bis 18 des Statistischen Bundesamtes genutzt; die Fachserie 8.2 erwies sich im Hinblick auf das Untersuchungsziel als ungeeignet.

Für die Untersuchung wurde ein Betrachtungszeitraum von 2000 bis 2007 gewählt. Damit soll gewährleistet werden, dass die Daten möglichst aktuell sind, die Entwicklungen nach der organisatorischen Umstrukturierung der Deutsche Bahn AG und nach dem Markteintritt der ersten bedeutenden Wettbewerber erfasst werden und dass ein weitgehend vollständiger Konjunkturzyklus abgedeckt wird. Bei der Abschätzung des Produktivitätswachstums aus Vergangenheitswerten ist insbesondere auf die Konsistenz der zur Verfügung stehenden Daten sowie auf ein angemessen langes Zeitintervall für die Analyse zu achten, um zyklische oder andere unsystematische Einflüsse möglichst auszuschalten. Allerdings ist eine reine Vergangenheitsbetrachtung unbefriedigend, da es ja vor allem um eine Abschätzung geht, welcher Produktivitätsfortschritt zukünftig zu erwarten ist. Bei einer solchen Sichtweise spielen dann weit in der Vergangenheit liegende Werte eine eher untergeordnete Rolle, da die wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Laufe der Zeit deutlichen Änderungen unterworfen waren bzw. immer noch sind.

Einschränkend ist hinzuzufügen, dass bei Heranziehung der VGR aufgrund der Datenlage keine separate Berechnung des Produktivitätsfortschritts und des X-Faktors für das Eisenbahninfrastruktursegment oder sogar für die Teilbereiche Schienenwege, Personenbahnhöfe und sonstige Serviceeinrichtungen sowie speziell für die Deutsche Bahn AG und andere Eisenbahnunternehmen möglich ist. Die nachfolgenden Kalkulationen erfassen lediglich den gesamten Eisenbahnsektor.

---

<sup>66</sup> Die Verwendung von VGR-Daten wirft einige grundsätzliche Fragen auf, wie die gesamtwirtschaftliche Betrachtungsweise, den hohen Aggregationsgrad, die fehlende Einbeziehung bestimmter Aktivitäten und Datenungenauigkeiten, die jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter thematisiert werden.

Die weitere Struktur des Abschnitts 4.3.1 orientiert sich an der in Abschnitt 2.3.2 vorgestellten Bestimmungsgleichung für den generellen X-Faktor, die zur Anwendung kommt, sofern in der Price-Cap-Formel die sektorspezifische Inputpreisveränderung durch den RPI bzw. CPI approximiert wird:

$$(4-1) \quad X_{gen} = (\Delta TFP^R - \Delta TFP^G)_+ (\Delta w^G - \Delta w^R)$$

Es wird deshalb zuerst das Produktivitätsdifferential, d.h. die Differenz zwischen der Entwicklung der TFP des Eisenbahnsektors und der Gesamtwirtschaft, und danach das Inputpreisdifferential, d.h. die Differenz zwischen der Inputpreisentwicklung der Gesamtwirtschaft und des Sektors, berechnet. Es müssen also sowohl für die Gesamtwirtschaft als auch für das Eisenbahnwesen die Veränderungen der TFP und der Inputpreise ermittelt werden.

#### 4.3.1.1 Produktivitätsdifferential

Aufgrund der Ergebnisse der theoretischen Analyse in Abschnitt 3.1.3 und seiner Verbreitung in internationalen Studien zur Schätzung des Produktivitätsfortschritts wird für die empirische Bestimmung des Produktivitätsdifferentials der nochmals in Gleichung (4-2) dargestellte Törnqvist-Index herangezogen.

$$(4-2) \quad \Delta TFP = \frac{\prod_{j=1}^J \left[ \frac{y_{j1}}{y_{j0}} \right]^{\frac{\omega_{j0} + \omega_{j1}}{2}}}{\prod_{k=1}^K \left[ \frac{x_{k1}}{x_{k0}} \right]^{\frac{\theta_{k0} + \theta_{k1}}{2}}}$$

Nachfolgend erfolgt zuerst die Berechnung des Produktivitätsfortschritts für die Gesamtwirtschaft und danach für den Eisenbahnsektor, jeweils differenziert nach dem Input- und dem Outputindex.

#### Gesamtwirtschaft

Werden Daten aus den VGR (Fachserie 18, Reihe 1.4) zugrunde gelegt, reduziert sich die Betrachtung auf der Inputseite auf die beiden Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital, da gemäß der Verteilungsrechnung der VGR das BIP bzw. die Bruttowertschöpfung zur Entlohnung dieser beiden Produktionsfaktoren verwendet wird.

$$(4-3) \quad Q_t^T = \left[ \frac{C_t}{C_{t-1}} \right]^{\psi_C} \times \left[ \frac{L_t}{L_{t-1}} \right]^{\psi_L}$$

C Produktionsfaktor Kapital (Bruttoanlagevermögen)

L Produktionsfaktor Arbeit (Arbeitsstunden der Erwerbstätigen)

$\psi_L$  Lohnquote

$\psi_C$  Profitquote ( $\psi_C = 1 - \psi_L$ )

Der Inputindex ergibt sich also aus der Veränderung des Kapitaleinsatzes, gewichtet mit der Profitquote, multipliziert mit der Veränderung des Arbeitseinsatzes, gewichtet mit der Lohnquote.

Die Lohnquote zeigt an, welcher Teil des gesamtwirtschaftlichen Outputs (Bruttowertschöpfung, BIP) auf die Entlohnung des Faktors Arbeit entfällt. Die Lohnquote ergäbe sich, wenn nur unselbstständige Arbeitnehmer tätig wären, aus dem Quotient von Arbeitnehmerentgelten und nominaler Bruttowertschöpfung bzw. BIP zu Marktpreisen. Allerdings muss noch die bisher nicht berücksichtigte Entlohnung der Selbstständigen einbezogen werden; dabei wird gemeinhin angenommen, dass diese dem durchschnittlichen Arbeitnehmergehalt entspricht. Die Lohnquote lässt sich also aus dem Verhältnis der beiden Quotienten Arbeitnehmerentgelt zur Anzahl der Arbeitnehmer und nominaler Bruttowertschöpfung bzw. BIP zu Marktpreisen zur Anzahl der Erwerbstätigen ermitteln.

Im Gegensatz zum Törnqvist-Inputindex  $Q_I^T$  ergibt sich der Törnqvist-Outputindex  $Q_O^T$  durch die Division der Outputs der beiden betrachteten Perioden, da die VGR nur die Bruttowertschöpfung oder das BIP als Output ausweisen. Tabelle 1 stellt nochmals zusammenfassend dar, welche Variablen und VGR-Größen genutzt werden.

Tabelle 1: Berechnung der TFP mit Daten aus den VGR

Variablen in der TFP-Formel	dafür verwendete Größen aus den VGR
Output [y]	Bruttowertschöpfung in Preisen von 2000
Input	
Kapital [C]	Bruttoanlagevermögen in Preisen von 2000
Arbeit [L]	Arbeitsstunden der Erwerbstätigen
Lohnquote [ $\psi_L$ ]	$\frac{(1)}{(2)} \bigg/ \frac{(3)}{(4)}$ <p>(1) Arbeitnehmerentgelt                      (2) Arbeitnehmer                      (3) Bruttoinlandsprodukt zu Marktpreisen                      (4) Erwerbstätige</p>

Quelle: Eigene Darstellung WIK.

Zur Bestimmung der Veränderung der TFP zwischen zwei Perioden wird gemäß der bereits bekannten Formel verfahren:



$$(4-4) \quad \Delta TFP = \frac{TFP_t}{TFP_{t-1}} = \frac{Outputindex_t}{Inputindex_t} \bigg/ \frac{Outputindex_{t-1}}{Inputindex_{t-1}}$$

Die für die Berechnung des Produktivitätsdifferentials maßgeblichen Größen der VGR sind in Tabelle 2 aufgelistet.

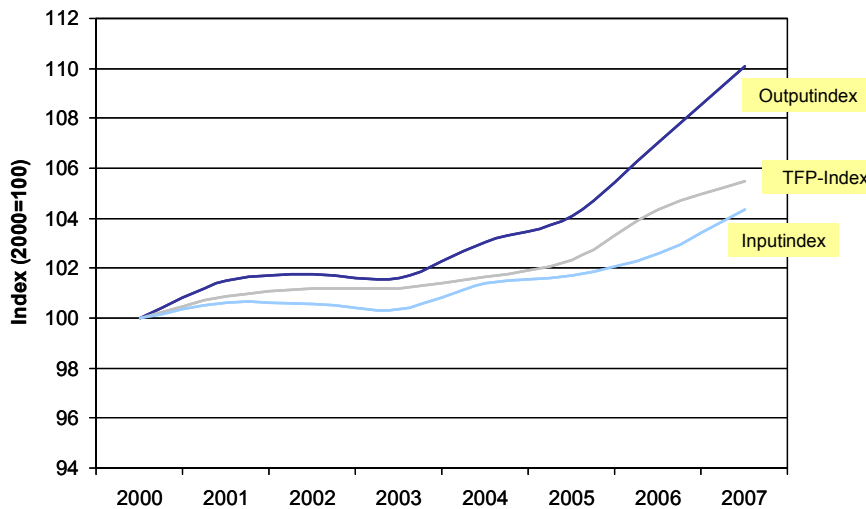
Tabelle 2:           Eingangsdaten zur Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsentwicklung

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bruttowertschöpfung in Preisen von 2000 (Kettenindex 2000 = 100)	100	101,48	101,75	101,60	103,07	104,08	107,04	110,10
Bruttoanlagevermögen in Preisen von 2000, in Mrd. Euro	10.158,72	10.390,48	10.597,76	10.761,74	10.390,44	11.089,83	11.248,69	11.433,13
Arbeitsstunden der Erwerbstätigen, in Mill. Stunden	57.659	57.338	56.509	55.727	56.049	55.740	56.001	56.987
Arbeitnehmerentgelt, in Mrd. Euro	1.100,06	1.120,61	1.128,32	1.132,08	1.137,07	1.129,90	1.149,36	1.182,14
Arbeitnehmer, in 1.000 Personen	35.229	35.333	35.093	34.653	34.658	34.490	34.696	35.319
Bruttoinlandsprodukt in Marktpreisen, in Mrd. Euro	2.062,50	2.113,16	2.143,18	2.163,80	2.211,20	2.244,60	2.322,20	2.423,80
Erwerbstätige, in 1.000 Personen	39.144	39.316	39.096	38.726	38.880	38.846	39.088	39.765
Lohnquote	0,5926	0,5901	0,5865	0,5847	0,5769	0,5670	0,5576	0,5491
Profitquote	0,4074	0,4099	0,4135	0,4153	0,4231	0,4330	0,4424	0,4509

Quelle: Statistisches Bundesamt und eigene Berechnungen.

Aus diesen Daten lassen sich der Input-, der Output- und der TFP-Index ableiten, deren Entwicklung von 2000 bis 2007 in Abbildung 10 veranschaulicht ist. Output- und Inputindex wiesen in den ersten beiden Jahren eine leicht positive Tendenz auf und stiegen nach einer kurzen Stagnation bzw. einem leichten Rückgang in den Jahren 2002 und 2003 seit 2004 deutlich an; ab 2005 war der Wachstumstrend des Outputindex jedoch deutlich ausgeprägter. Da der Outputindex während des gesamten Zeitraums oberhalb des Inputindex lag, nahm auch der TFP-Index im Mittel zu. Aufgrund der Vergrößerung des Abstands zwischen Output- und Inputindex seit 2005 zeigten sich ab diesem Jahr auch höhere TFP-Wachstumsraten. Während sich der Gesamtanstieg des Outputindex auf 10,1 % belief, erhöhte sich der Inputindex lediglich um 4,36 %. Hieraus resultierte eine Verbesserung des TFP-Index auf 105,5, was einem jährlichen Durchschnittsplus von 0,77 % entsprach.

Abbildung 10: Gesamtwirtschaftlicher TFP-, Output- und Inputindex



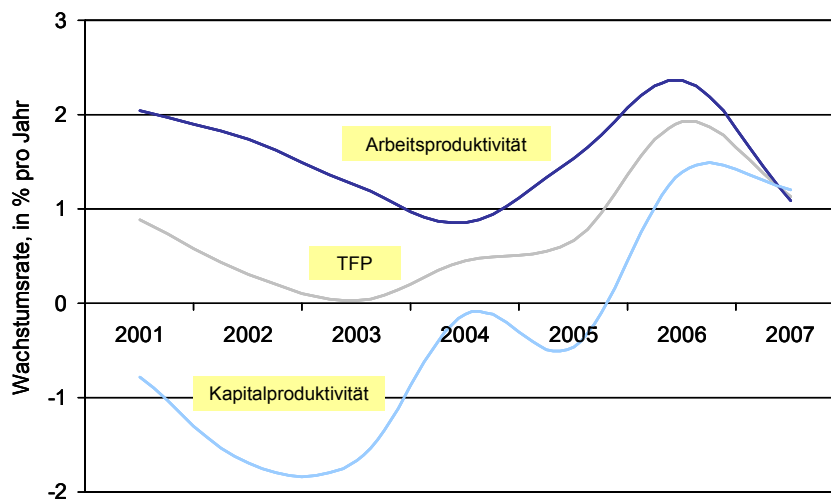
Quelle: Eigene Berechnungen WIK auf der Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes.

Abbildung 11 zeigt neben der prozentualen Veränderung der TFP auch die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Kapital- und Arbeitsproduktivität. Die Kapitalproduktivität wies bis 2005 einen negativen Trend auf, wobei vor allem 2002 und 2003 deutliche Rückgänge zu registrieren waren; 2006 und 2007 nahm die Kapitalproduktivität dann moderat zu. Im Mittel reduzierte sie sich um 0,31 % pro Jahr. Die Arbeitsproduktivität erhöhte sich hingegen über den gesamten Zeitraum, vor allem in den Jahren 2001/2002 und 2005/2006; sie erreichte eine durchschnittliche Wachstumsrate von 1,55 %.

### Eisenbahnsektor

Entsprechend zum Vorgehen für die Gesamtwirtschaft lässt sich auch die TFP-Veränderung für den Eisenbahnsektor berechnen. Hierbei bestand allerdings die Notwendigkeit, zum Teil auf Daten des Landverkehrs (Straßenverkehr, Binnenschifffahrt, Eisenbahnverkehr) zurückzugreifen, wie z.B. bei der Bruttowertschöpfung zur Ermittlung des Outputindex oder bei den Eingangsdaten zur Bestimmung der Lohnquote, da keine spezifischen Daten für den Eisenbahnsektor erhoben werden. Zudem sind die Datenreihen für 2006 und 2007 vielfach unvollständig, so dass die jeweiligen Größen geschätzt werden mussten.

Abbildung 11: Veränderung der gesamtwirtschaftlichen TFP, Kapital- und Arbeitsproduktivität



Quelle: Eigene Berechnungen WIK auf der Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes.

Zweifellos spiegeln die Daten des Landverkehrs nicht exakt die Entwicklung im Eisenbahnsektor bzw. im Eisenbahninfrastruktursegment wider. Die Erstellung von Verkehrsleistungen z.B. im gewerblichen Straßengüterverkehr weist sicherlich eine andere Arbeitsintensität auf, und die Entwicklung der Anzahl der Erwerbstätigen bzw. Arbeitnehmer und der Arbeitnehmerentgelte dürfte aufgrund des Angebots an und der Nachfrage nach Arbeitskräften sowie der spezifischen Wettbewerbsintensität und der jeweiligen Veränderung der Verkehrsleistungsnachfrage bei den einzelnen Landverkehrssektoren unterschiedlich sein. Weiterhin kann die Entwicklung der Bruttowertschöpfung bzw. des BIP zu Marktpreisen anderen Faktoren unterworfen sein (z.B. Nachfrage durch andere Wirtschaftssektoren, Abhängigkeit von außenwirtschaftlichen Entwicklungen). In welcher Größenordnung die Ergebnisse korrigiert werden müssen, um exakt die Situation im Eisenbahn- bzw. im Eisenbahninfrastruktursektor abzubilden, ist jedoch rein spekulativ. Eine mögliche Lösung für dieses Problem besteht in einer detaillierteren sektoralen Differenzierung der verfügbaren VGR-Daten.

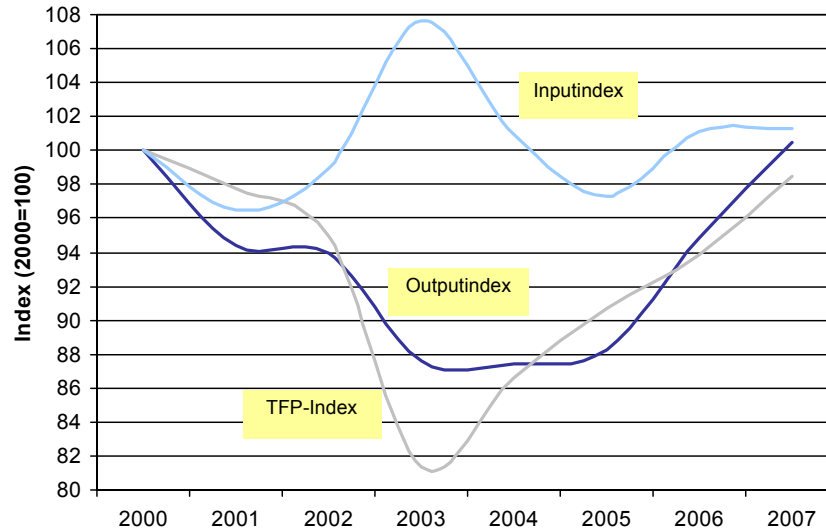
Tabelle 3: Eingangsdaten zur Bestimmung des Produktivitätsfortschritts im Eisenbahnsektor

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bruttowertschöpfung in Preisen von 2000 (Kettenindex, 2000=100) [Landverkehr]	100	94,39	93,96	87,59	87,47	88,27	94,90	100,46
Bruttoanlagevermögen in Preisen von 2000, in Mrd. Euro	175,45	176,75	180,50	184,41	187,73	189,03	190,79	192,54
Anzahl der Erwerbstätigen, in 1.000 Personen	246	234	240	263	245	235	245	247
Arbeitnehmerentgelt, in Mrd. Euro [Landverkehr]	24,63	24,58	24,73	24,71	24,47	24,12	24,53	25,33
Arbeitnehmer, in 1.000 Personen [Landverkehr]	877	880	875	864	861	844	850	865
Bruttoinlandsprodukt in Marktpreisen, in Mrd. Euro [Landverkehr]	28,88	30,96	30,40	29,57	28,34	28,57	28,74	29,12
Erwerbstätige, in 1.000 Personen [Landverkehr]	947	946	938	924	920	901	904	918
Lohnquote [Landverkehr]	0,9209	0,8535	0,8721	0,8937	0,9226	0,9013	0,9077	0,9231
Profitquote [Landverkehr]	0,0791	0,1465	0,1279	0,1063	0,0774	0,0987	0,0923	0,0769

Quelle: Statistisches Bundesamt und eigene Berechnungen.

Die Entwicklung des Input-, des Output- und des TFP-Index ist in Abbildung 12 dargestellt. Der Inputindex lag 2001 und 2002 sowie 2004 und 2005 auf oder knapp unter dem Ausgangsniveau, während er 2003 vermutlich aufgrund von Sondereffekten deutlich sowie 2006 und 2007 geringfügig über der Startgröße angesiedelt war. Der Outputindex fiel bis 2003, stabilisierte sich dann und nahm ab 2006 stark zu, so dass er 2007 wieder das Niveau von 2000 erreichte. Dementsprechend ging der TFP-Index bis 2003 stark zurück und zeigte seitdem wieder eine Aufwärtstendenz. 2007 erreichte er einen Wert von 98,52; das Durchschnittswachstum belief sich auf 0,08 %.

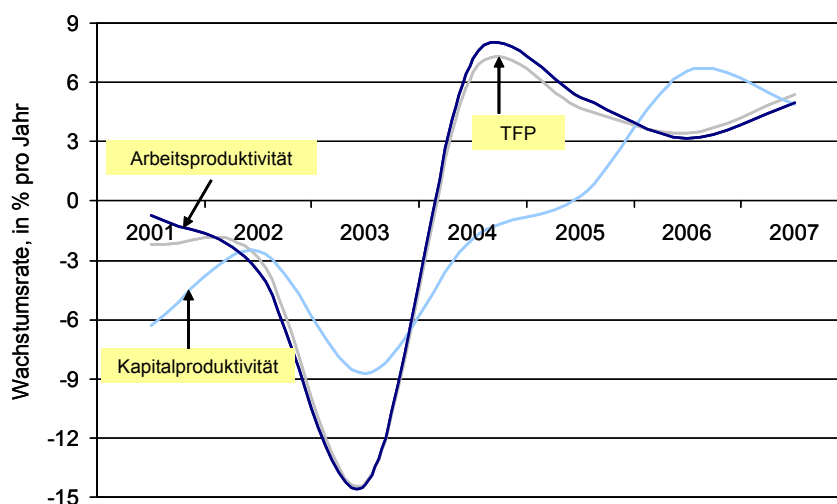
Abbildung 12: TFP-, Output- und Inputindex im Eisenbahnsektor



Quelle: Eigene Berechnungen WIK auf der Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes.

In Abbildung 13 sind die Veränderungsrate der TFP sowie der Arbeits- und Kapitalproduktivität veranschaulicht. Die Kapitalproduktivität wies bis 2004 zum Teil stark negative Wachstumsraten auf; 2006 und 2007 nahm sie hingegen deutlich zu. Die Durchschnittsrate betrug 0,26 %. Die aufgrund der hohen Lohnquote eng aneinander gekoppelten prozentualen Veränderungen der Arbeitsproduktivität und der TFP waren bis 2002 leicht und 2003 (wahrscheinlich aufgrund von Sondereffekten) mit -14,3 bzw. -14,4 % ausgeprägt negativ; seit 2004 waren Wachstumsraten zwischen 3 und 7 % zu verzeichnen. Im Mittel nahm die Arbeitsproduktivität um 1,12 % ab.

Abbildung 13: Veränderung von TFP, Kapital- und Arbeitsproduktivität im Eisenbahnsektor



wik

Quelle: Eigene Berechnungen WIK auf der Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes.

### Produktivitätsdifferential

Vergleicht man die Veränderung der TFP im Eisenbahnwesen mit der in der Volkswirtschaft, so zeigt sich, dass die sektorale TFP-Entwicklung vor allem aufgrund von Schwankungen bei der Anzahl der Erwerbstätigen sehr viel stärkeren Fluktuationen unterworfen war. Das gesamtwirtschaftliche Wachstum der TFP lag relativ konstant zwischen 0 und 2 %. Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, folgt daraus, dass auch die Produktivitätsdifferentialen der einzelnen Jahre erheblich von den sektorspezifischen Veränderungsrate determiniert wurden. 2001 und 2002 beliefen sich die Differentialen auf ca. -3 %, und von 2004 bis 2007 variierten sie zwischen 1,5 und 6 %. Aus den mittleren TFP-Wachstumsraten des Eisenbahnsektors von 0,08 % und der Gesamtwirtschaft von 0,77 % erhält man durch Differenzbildung ein durchschnittliches Produktivitätsdifferential von -0,69 %.

Tabelle 4: Produktivitätsdifferential (in %)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Durchschnitt
Eisenbahnsektor	-2,22	-2,89	-14,30	6,47	4,71	3,43	5,35	0,08
Gesamtwirtschaft	0,88	0,30	0,03	0,45	0,66	1,93	1,13	0,77
Produktivitätsdifferential	-3,10	-3,19	-14,33	6,02	4,05	1,50	4,22	-0,69

Quelle: Eigene Berechnungen.

#### 4.3.1.2 Inputpreisdifferential

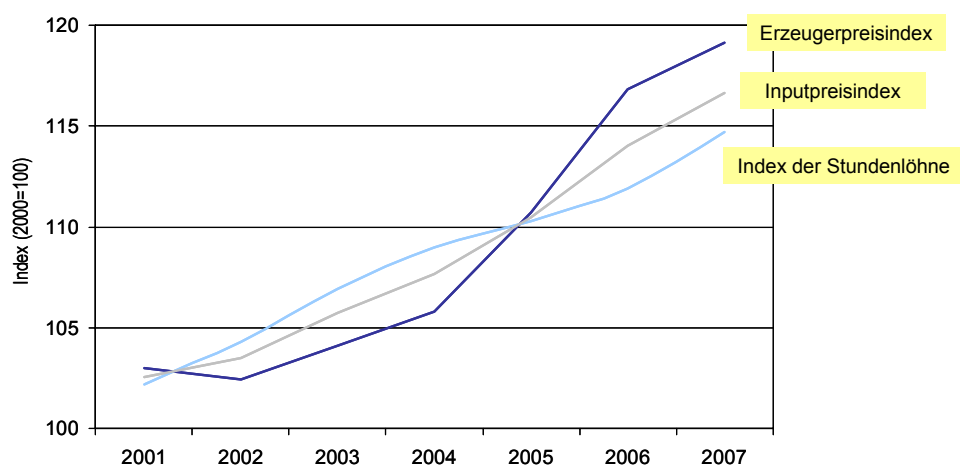
Zur Ermittlung des Inputpreisdifferentials werden aus den öffentlich zugänglichen Daten des Statistischen Bundesamtes zuerst ein Inputpreisindex für die Volkswirtschaft und danach die Veränderung der Inputpreise im Eisenbahnsektor berechnet.

##### Gesamtwirtschaft

Maßgeblich für gesamtwirtschaftliche Inputpreisentwicklung sind die Veränderungsraten der Inputpreise für die beiden Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit. Der Preisindex für Kapital wird durch den Erzeugerpreisindex gemäß der Fachserie 17, Reihe 2, abgebildet. Für den Faktor Arbeit ist der Index der Stundenlöhne für alle Wirtschaftsbereiche heranzuziehen (Verdienste und Arbeitskosten, Index der Tarifverdienste und Arbeitszeiten). Die Veränderungsraten dieser beiden Teilindizes werden danach mit Hilfe der Profitquoten (für Kapital) bzw. der Lohnquoten (für Arbeit) der jeweiligen Jahre zu einem Inputpreisindex aggregiert.

Die Entwicklungen sind in Abbildung 14 dargestellt. Nachdem der Erzeugerpreisindex zwischen 2002 und 2004 um bis zu 3,2 Punkte unter dem Index der Stundenlöhne gelegen hatte, holte er ihn 2005 ein und übertraf ihn 2006 und 2007 um über vier Punkte. Die Erzeugerpreise stiegen im Mittel um 2,55 %, die Stundenlöhne hingegen nur um 1,98 %. Der mittlere Anstieg der gesamtwirtschaftlichen Inputpreise betrug 2,23 %.

Abbildung 14: Gesamtwirtschaftliche Erzeugerpreise, Stundenlöhne und Inputpreise

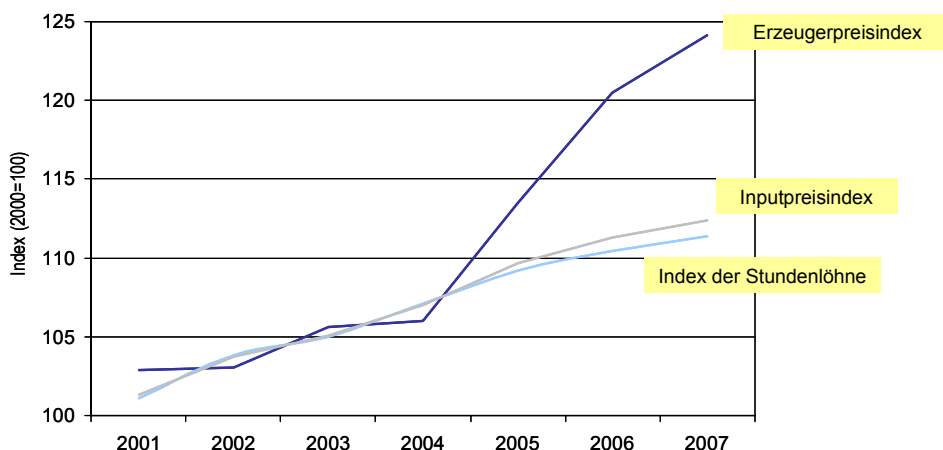


## Eisenbahnsektor

Da es für den Eisenbahnsektor keinen speziellen Erzeugerpreisindex gibt, ist unter Heranziehung anderer Indizes und Datenreihen ein sektorspezifischer Kapitalpreisindex zu entwickeln. Zu diesem Zweck werden – ausgehend von den Input-Output-Tabellen der Fachserie 18, Reihe 2, für die Jahre 2000 bis 2005 – zu den dort für das Eisenbahnwesen (CPA 60.1) angegebenen Inputsektoren die jeweiligen Preisindizes aus der Fachserie 17, Reihe 2, herausgesucht. Dabei sind lediglich die Wirtschaftsbereiche bis zur CPA-Nummer 41 berücksichtigungsfähig, weil danach nur Vorleistungen anderer Sektoren (insbesondere Dienstleistungen) aufgelistet werden, für die es keine Preisindikatoren gibt. Somit wird der Kapitalinput des Eisenbahnsektors ohne sonstige Vorleistungen abgebildet. Anhand der Input-Output-Tabellen sind ferner die Gewichte zu bestimmen, mit denen die einzelnen Preisindikatoren in den Kapitalpreisindex für das Eisenbahnwesen eingehen.

Der Index der tariflichen Stundenlöhne für den Eisenbahnsektor kann direkt aus der Fachserie 16, Reihe 4.3, entnommen werden. Die Veränderungsrate der beiden Teilindizes für Kapital und Arbeit werden danach wiederum über die Profit- und Lohnquoten der jeweiligen Jahre zu einer Gesamtänderungsrate der Inputpreise des Eisenbahnsektors zusammengeführt.

Abbildung 15: Erzeugerpreise, Stundenlöhne und Inputpreise im Eisenbahnsektor



Quelle: Eigene Berechnungen WIK auf der Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes.

Wie aus Abbildung 15 zu ersehen, entwickelten sich der Erzeugerpreisindex, der Index der Stundenlöhne und der Inputpreisindex entwickelten sich bis 2004 sehr ähnlich; die



Preissteigerungsraten lagen im Allgemeinen zwischen 1 und 3 % pro Jahr. Von 2005 bis 2007 setzten der Index der Stundenlöhne und der Inputpreisindex ihren moderaten Trend fort; hingegen stieg der Erzeugerpreisindex wohl aufgrund der starken Nachfrage nach den Produktionsfaktoren steil an (2005: +7,1 %, 2006: +6,2 %). Die Erzeugerpreise nahmen durchschnittlich um 3,16 % zu, die Stundenlöhne um 1,56 % und die Inputpreise um 1,70 %.

#### Inputpreisdifferential

Tabelle 5 vergleicht die Entwicklung der Kapitalpreise, der Löhne und der Inputpreise in der Volkswirtschaft und im Eisenbahnsektor. Demnach beliefen sich das durchschnittliche Kapitalpreisdifferential auf -0,61 % und das mittlere Lohndifferential auf 0,42 %. Aus dem durchschnittlichen Anstieg der gesamtwirtschaftlichen Inputpreise von 2,23 % und der Inputpreise im Eisenbahnsektor von 1,70 % resultiert ein gemittelt Inputpreisdifferential von 0,53 %.

Tabelle 5: Kapitalpreis-, Lohn- und Inputpreisdifferential (in %)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Durchschnitt
Gesamtwirtschaftliche Erzeugerpreise	+3,00	-0,58	+1,66	+1,63	+4,63	+5,51	+1,97	+2,55
Erzeugerpreise im Eisenbahnsektor	+2,87	+0,17	+2,48	+0,36	+7,05	+6,22	+3,00	+3,16
Kapitalpreisdifferential								-0,61
Gesamtwirtschaftliche Stundenlöhne	+2,20	+2,05	+2,49	+1,96	+1,19	+1,45	+2,50	+1,98
Stundenlöhne im Eisenbahnsektor	+1,10	+2,67	+1,16	+2,00	+1,96	+1,10	+0,91	+1,56
Lohndifferential								+0,42
Gesamtwirtschaftliche Inputpreise	+2,53	+0,96	+2,15	+1,81	+2,62	+3,27	+2,30	+2,23
Inputpreise im Eisenbahnsektor	+1,36	+2,31	+1,31	+1,86	+2,44	+1,56	+0,94	+1,70
Inputpreisdifferential	+1,17	-1,35	+0,84	-0,05	+0,18	+1,71	+1,36	+0,53

Quelle: Eigene Berechnungen.

#### 4.3.1.3 Genereller X-Faktor

Der generelle X-Faktor ergibt sich als Summe aus dem durchschnittlichen Produktivitätsdifferential von -0,69 % und dem mittleren Inputpreisdifferential von 0,53 %. Der nach dieser Methode bestimmte generelle X-Faktor beläuft sich also auf -0,16 %. Unter Berücksichtigung der Produktivitäts- und der Inputpreisveränderung ergeben sich also im Vergleich zwischen der Gesamtwirtschaft und dem Eisenbahnsektor keine bedeutsamen Unterschiede.

#### 4.3.2 Bestimmung technischer Produktivitäten auf der Basis von Daten der Deutsche Bahn Netz AG

Aufgrund fehlender Informationen lassen sich zwar aus den monetären Daten der VGR unter gewissen Annahmen Produktivitätskennzahlen für den Eisenbahnsektor, nicht jedoch spezifische Werte für den Eisenbahninfrastrukturbereich (bzw. für die Schienenwege oder die Serviceeinrichtungen sowie für einzelne Unternehmen) berechnen. Hinweise zu den erzielten Produktivitätsfortschritten sind jedoch aus bestimmten Unternehmensdaten ableitbar, mit deren Hilfe partielle technische Produktivitäten und eine technische TFP bestimmt werden. Erlös- und Kostendaten werden aus den in Abschnitt 2.2 dargelegten Gründen nicht verwendet. Im Hinblick auf die Ermittlung des Produktivitätsfortschritts bei der Bereitstellung und beim Betrieb des Schienennetzes werden als Datenquellen die Geschäftsberichte der Deutsche Bahn AG bzw. der Deutsche Bahn Netz AG für die Jahre 2000 bis 2007 genutzt.

Vor diesem Hintergrund werden drei partielle Faktorproduktivitäten berechnet, die bei der Bestimmung der TFP entsprechend einer empirisch abgeleiteten bzw. geschätzten Kostenstruktur gewichtet werden:

- Die Arbeitsproduktivität ergibt sich aus der Betriebsleistung je Vollzeitarbeitskraft im Jahresdurchschnitt.
- Die Kapitalproduktivität bemisst sich anhand der Betriebsleistung je Kilometer Streckenlänge des Betriebsnetzes.
- Hinsichtlich der Produktivität des Einsatzes sonstiger Inputs (Material, Energie, Dienstleistungen) wird näherungsweise die bereits berechnete gesamtwirtschaftliche TFP von 0,77 % angesetzt.

Der Output wird also durch die auf dem Eisenbahnnetz erzielte Betriebsleistung dargestellt, da diese vom Eisenbahninfrastrukturunternehmen noch am ehesten beeinflussbar ist; alternativ könnte z.B. auch die Verkehrsleistung herangezogen werden.<sup>67</sup> Als Inputgrößen dienen die Anzahl der Vollzeitarbeitskräfte im Jahresdurchschnitt und die Länge des Betriebsnetzes.

Ein besonderes Problem stellt die Festlegung der Anteile dar, mit denen die drei partiellen Produktivitätsänderungsraten zur TFP-Rate aggregiert werden. Da die in den Geschäftsberichten der Deutsche Bahn Netz AG enthaltenen Daten keine Aussagen zur Kostenstruktur zulassen, muss diese hilfsweise aus den Aufwandsangaben der Gewinn- und Verlustrechnungen für 2006 und 2007 sowie zusätzlich aus einer Abschätzung des betriebsnotwendigen Eigenkapitals und der kalkulatorischen Eigenkapitalzinsen bestimmt werden. Eine grobe Abschätzung führt zu einer Aufteilung der Gesamtkosten in 40 % Kapitalkosten, 25 % Arbeitskosten und 35 % sonstige Kosten.

---

<sup>67</sup> Vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 2.2.2.

Tabelle 6: Kennzahlen der Deutsche Bahn Netz AG und technische Produktivitäten

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Durchschnitt
Betriebsleistung auf dem Eisenbahnnetz, in Mio. Trassenkilometer	984	977	964	981	993	989	1.006	1.038	
Betriebslänge des Netzes, in km	36.538	35.938	35.755	35.545	34.722	34.150	34.128	33.879	
Vollzeitarbeitskräfte, im Jahresdurchschnitt	62.121	56.643	53.838	48.757	44.733	41.941	39.389	37.888	
Änderung der Kapitalproduktivität, in %		+0,95	-0,83	+2,36	+3,62	+1,27	+1,78	+3,88	+1,85
Änderung der Arbeitsproduktivität, in %		+8,89	+3,81	+12,37	+10,33	+6,23	+8,31	+7,27	+8,14
Änderung der totalen Faktorproduktivität, in %		+2,91	+0,73	+4,05	+4,19	+1,79	+3,47	+3,77	+3,04

Quelle: Geschäftsberichte der Deutsche Bahn AG und der DB Netz AG.

Auf der Basis der in Tabelle 6 dargestellten Daten lassen sich nicht nur die Arbeits- und die Kapitalproduktivität, sondern auch die Veränderungsraten der TFP kalkulieren. Das mittlere Wachstum der Arbeitsproduktivität belief sich auf 8,14 %. Es wird jedoch sehr stark vom Rückgang der Anzahl der für die Deutsche Bahn Netz AG ausgewiesenen Vollzeitarbeitskräfte vor allem in den Jahren 2003 und 2004 beeinflusst. Die Entwicklung der Arbeitskräftezahl kann jedoch nicht nur Ergebnis eines Abbaus, sondern auch einer Zuordnung von Personal mit schieneninfrastrukturbezogenen Tätigkeiten zu anderen Tochterunternehmen bzw. eines Outsourcings dieser Aktivitäten sein, wobei der Gesamtoutput nach wie vor ausschließlich der Deutsche Bahn Netz AG zugerechnet wird. Außerdem sind bei der Beurteilung der Veränderung der Anzahl der Arbeitskräfte und der Arbeitsproduktivität externe Vorgaben (Beschäftigungssicherungspakt) und mögliche Personalbindungsverpflichtungen durch die Deutsche Bahn AG zu berücksichtigen.

Die durchschnittliche jährliche Veränderung der Kapitalproduktivität betrug 1,85 %. Allerdings sind auch in Bezug auf die Verwendung der Betriebslänge des Netzes als repräsentative Variable für den Kapitalinput Vorbehalte zu formulieren, weil dabei nicht alle Anlagevermögens Elemente erfasst werden und der Netzumfang nicht ausschließlich betrieblichen Optimierungskriterien unterliegt (z.B. Erweiterungs- und Neuinvestitionen).

Bezieht man die sonstigen Inputs ein und gewichtet die drei Wachstumsraten, so erhält man einen technischen TFP-Fortschritt von 3,04 % pro Jahr. Unter Einbeziehung des gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsfortschritts von 0,77 % und des Inputpreisdifferentials von 0,53 % ergibt sich hieraus für den Bereich Schienenwege der Deutsche Bahn Netz AG ein  $X_{gen}$  von 2,80 %.

### 4.3.3 Diskussion der Ergebnisse

Die in diesem Abschnitt berechneten Werte für die Produktivitäts- und Inputpreisentwicklung im deutschen Eisenbahnsektor sowie für den generellen X-Faktor sollten nur unter Berücksichtigung der formulierten Annahmen und verwendeten Berechnungsmethoden sowie grundsätzlich mit größter Vorsicht interpretiert werden. Auch sind der gemäß den VGR ermittelte eisenbahnbezogene Produktivitätsfortschritt von +0,08 % ( $X_{\text{gen}} = -0,16$ ) und das aufgrund der Daten der Deutsche Bahn Netz AG bestimmte Produktivitätswachstum von +3,04 % ( $X_{\text{gen}} = +2,80$  %) nur bedingt vergleichbar. Beide Werte passen allerdings gut zu den Ergebnissen der analysierten internationalen Studien zur Produktivitätsentwicklung im Eisenbahnsektor.

Während die VGR-Berechnung auf der Basis von Wertproduktivitäten vorgenommen wurde, eine Abschätzung für den Eisenbahnsektor traf, dabei zum Teil Daten des Landverkehrs und Prognosen verwendete sowie in methodischer Hinsicht den Törnqvist-Index zugrunde legte, basierte der zweite Ansatz auf partiellen technischen Produktivitäten für den Schienenwegesektor der Deutsche Bahn Netz AG, die mittels einer auf Kostenstrukturen beruhenden Gewichtung zu einer TFP zusammengeführt wurden.

Hinsichtlich der Nutzung von Daten aus den VGR ist anzumerken, dass diese hoch aggregiert sind und vielfach periodisierte Einnahmen- und Ausgabengrößen darstellen. Aussagen zu einzelnen Jahren, bestimmten (Teil)Sektoren oder einzelnen Unternehmen sind deshalb nur eingeschränkt möglich. Die in den Geschäftsberichten der Deutsche Bahn Netz AG publizierten Daten sind zum Teil nicht verifizierbar. Insbesondere die Angaben zur Anzahl der Vollzeitbeschäftigten und damit die Resultate für die Arbeitsproduktivität sind wegen der Problematik der Personalzuordnung und des Outsourcings nur wenig belastbar. Darüber hinaus wurde die partielle Produktivität der sonstigen Vorleistungsbereiche (Material, Energie, Dienstleistungen) mit der gesamtwirtschaftlichen TFP gleichgesetzt, und die Gewichtungsfaktoren basieren auf groben Abschätzungen.

## 5 Zusammenfassung und Empfehlungen zur methodischen Ableitung der X-Faktoren

Im Hinblick auf die Berücksichtigung des Produktivitätsfortschritts und des Effizienzaufholpotentials im Rahmen der Anreizregulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten scheint es aufgrund der vorangegangenen Analyse Ziel führend zu sein, diese beiden Aspekte getrennt zu betrachten. Anstelle von lediglich nach Dienstleistungen (Produktkörben) differenzierten X-Faktoren sollte auch die unternehmens- bzw. unternehmensgruppenspezifische Heterogenität berücksichtigt werden, die neben z.B. der Größe und der Wettbewerbsrelevanz vor allem die voneinander abweichenden Effizienzniveaus der Unternehmen aufgreifen muss. Ähnlich wie für den Energiesektor wird deshalb die Bestimmung genereller X-Faktoren für die Abbildung des Produktivitätsfortschritts und individueller X-Faktors zur Einbeziehung der Effizienzaufholpotentiale empfohlen.

Bei der Ermittlung der generellen X-Faktoren sollte die TFP den partiellen Produktivitäten grundsätzlich vorgezogen werden. Dafür sprechen die große Anzahl der Inputs und die Gefahr von falschen Schlussfolgerungen wegen der Substituierbarkeit von Arbeit und Kapital. Aus der Verwendung der TFP ergibt sich fast zwangsläufig die Notwendigkeit, Wertproduktivitäten (z.B. auf der Basis von VGR-Daten) zu berechnen. Bei der speziellen Betrachtung des Eisenbahninfrastruktursektors ist dann jedoch zu beachten, dass aufgrund von überhöhten Preisen und Skaleneffekten Fehlinterpretationen möglich sind. Ergänzend sollten deshalb auch partielle technische Produktivitäten bestimmt werden.

Zum TFP-Fortschritt im Eisenbahninfrastruktursektor existieren fast keine verwertbaren empirischen Studien. Die insbesondere für europäische und nordamerikanische Eisenbahnen in den vergangenen 20 Jahren durchgeführten Schätzungen kommen fast ausschließlich zum Ergebnis, dass der Produktivitätsfortschritt im Eisenbahnsektor zwischen 0 und 3 % lag. Die beiden eigenen alternativen Berechnungen wiesen Fortschrittsraten von 0,08 bzw. 3,04 % aus. Allerdings sind vor allem einige Vorbehalte an die dabei genutzten Daten zu formulieren. Die VGR stellen lediglich Informationen für den Eisenbahn- bzw. zum Teil sogar nur für den Landverkehrssektor bereit, und die Zeitreihen sind nicht vollständig. Bei der Ermittlung technischer Produktivitäten auf der Basis von Daten der Deutsche Bahn AG ist angesichts von Spielräumen bei der Personazuordnung und der Option des Outsourcings die Arbeitskräfteentwicklung bei der Deutsche Bahn Netz AG kaum zu verifizieren.

In diesem Zusammenhang ist nochmals zu betonen, dass der bereits im Vorfeld der Einführung der Anreizregulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten zu beobachtende Produktivitätsfortschritt sowie ggf. damit einhergehende relative Effizienzverbesserungen, die z.B. auf die sich aus dem zunehmenden inter- und intramodalen Wettbewerb und aus der geplanten Privatisierung der Deutsche Bahn AG ergebenden Zwänge in Verbindung mit einem erheblichen Nachholpotential zurückgeführt werden können, die Implementierung einer Anreizregulierung nicht in Frage stellen. Zum einen lassen die

britischen Erfahrungen seit 2001 einen sich intensivierenden Produktivitäts- und Effizienzfortschritt unter dem Anreizregulierungsregime erkennen. Zum anderen dient die Anreizregulierung in erster Linie dazu, die Preissetzungsspielräume eines zumindest in Teilsegmenten marktmächtigen Eisenbahninfrastrukturunternehmens zu beschränken, ohne dass dabei wie bei einer kosten- oder rentabilitätsorientierten Entgeltregulierung das Streben nach Kostensenkungen bzw. Produktivitätsverbesserungen begrenzt wird.

Schätzungen zum Niveau bzw. zum unternehmensbezogenen Aufholpotential bei der technischen Effizienz sind aufgrund fehlender Daten für Deutschland gegenwärtig schwer möglich. Diesbezügliche Ergebnisse internationaler Studien zum Eisenbahninfrastruktursektor sind ebenfalls kaum vorhanden. Einen Ansatzpunkt für die Berechnung von Effizienzpotentialen bietet die von ITS u.a. (2008) in Bezug auf Network Rail durchgeführte Studie, die mit Hilfe eines SFA-Panelmodells eine Cobb-Douglas-Kostenfunktion schätzt und als Variablen die durchschnittlichen Instandhaltungs- und Erneuerungskosten, die Streckenlänge, die Zugdichte, den Anteil eingleisiger und elektrifizierter Strecken, die Anzahl der Weichen und einen Zeittrend nutzt. Generell hängen die für den Eisenbahn- bzw. den Eisenbahnverkehrssektor vorgenommenen Berechnungen stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen, der gewählten Methodik und dem Datensample (Definitionen, Abgrenzung) ab. Außerdem müssen separat zumindest die Skaleneffizienz und der technische Fortschritt sowie ggf. die allokativen, die Erlös- und die Kosteneffizienz analysiert werden.

In methodischer Hinsicht weisen sowohl die theoretische Analyse als auch die Auswertung der empirischen Studien darauf hin, bei der Bestimmung des Produktivitätsfortschritts den Törnqvist-Index anzuwenden; ggf. kann ersatzweise auch der Fisher-Index genutzt werden. Sobald eine umfassende und qualitativ hochwertige Datenbasis verfügbar ist, sollten (darüber hinaus) ökonometrische Schätzungen von Produktions- oder Kostenfunktionen mit einer Zeittrendvariable und die Malmqvist-DEA Verwendung finden. Für die Ermittlung des Effizienzniveaus bieten sich die SFA und/oder die DEA an; auch hierfür sprechen nicht nur theoretische Erwägungen, sondern auch die Begutachtung der empirischen Studien.

Darüber hinaus lassen es die verschiedenen Studien und die Betrachtung der britischen Regulierungspraxis als ratsam erscheinen, hinsichtlich der Plausibilisierung der Ergebnisse mehrere Methoden parallel anzuwenden. Außerdem sollten neben dem nationalen Eisenbahn- bzw. Eisenbahninfrastruktursektor auch Daten aus anderen Staaten und sonstigen geeigneten Sektoren einbezogen werden. Bezüglich der Messung des Produktivitätsfortschritts können vor allem Nature-of-Work-Ansätze adaptiert werden. Für die Bestimmung des Effizienzniveaus kommen außer dem unternehmensinternen Vergleich und dem externen Benchmarking des Eisenbahnsektors auf nationaler Ebene auch externe Benchmarkings z.B. mit EU-Staaten, anderen Netzsektoren und/oder sonstigen Wirtschaftssektoren auf der Basis der SFA und/oder DEA in Frage. In Großbritannien wurden zudem zahlreiche ingenieurwissenschaftliche Bottom-up-Analysen

für bestimmte Unternehmensprozesse und Anlagevermögenskategorien sowie zu den Ausgaben bzw. Kosten (analytische Kostenmodelle) und der Effizienz durchgeführt.

Neben der Auswahl der für den Untersuchungsgegenstand geeigneten Methoden ist jedoch auch die Definition von Variablen sowie die Erhebung und Aufbereitung brauchbarer Daten von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Produktivitäts- und Effizienzmessung. Insbesondere müssen die Informationen vollständig, konsistent, verlässlich und qualitativ hochwertig und über einen längeren Zeitraum zugänglich sind. Eventuellen Datenunschärfen kann allerdings durch die Berücksichtigung von Toleranzmargen oder Korrekturverfahren Rechnung getragen werden.

Im Hinblick auf die Schaffung einer Datenbasis ist es wichtig, Variablen und monetäre und/oder technische Daten für die Inputs Arbeit, Kapital, Boden und sonstige Inputs sowie für die Outputs auszusuchen. Ferner sind Qualitätsunterschiede zu berücksichtigen und eine begrenzte Anzahl von Umweltvariablen auszuwählen. Die benötigten Informationen sollten möglichst nicht auf unternehmensinternen Daten beruhen, da sonst die regulierten Unternehmen sämtliche für die Produktivitäts- bzw. Effizienzmessung relevanten Daten beeinflussen könnten, um die erforderlichen Preissenkungsvorgaben abzumildern. Um die Ableitung von Resultaten auf eine solide Grundlage zu stellen, muss allerdings die Verfügbarkeit von technischen und monetären Größen sowohl in Bezug auf die VGR-Daten, die zum Teil noch nicht einmal für den Eisenbahnsektor verfügbar sind, als auch von Seiten der Eisenbahninfrastrukturunternehmen deutlich verbessert werden.

Abschließend sollen auf der Basis der Ergebnisse dieser Studie zu den anwendbaren Methoden noch konkrete Empfehlungen zur praktischen Ausgestaltung der geplanten Anreizregulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten in Deutschland abgeleitet werden. Dabei ist nicht nur die im Abschlussbericht der Bundesnetzagentur zur Anreizregulierung vorgesehene Untergliederung in die verschiedenen Produktkörbe (Schienenwege, Personenbahnhöfe, sonstige Serviceeinrichtungen; jeweils mit weiteren Differenzierungen), sondern auch die ebenfalls dort vorgenommene Aufteilung der Eisenbahninfrastrukturunternehmen zumindest in die beiden Gruppen der bundeseigenen Deutsche Bahn-Tochterunternehmen und der wettbewerbsrelevanten sonstigen Eisenbahninfrastrukturbetreiber zu berücksichtigen. Dieses Vorgehen ist aus mehreren Gründen sachdienlich:

- Die Unternehmen weisen erhebliche Unterschiede in Bezug auf ihre Größe (Umsatz, Mitarbeiter, Umfang des Schienennetzes bzw. Anzahl der Serviceeinrichtungen), die Netzstruktur und die Finanzierungsbedingungen auf.
- Aufgrund der theoretischen Analyse ist eine differenzierte Betrachtung von Skaleneffekten angezeigt. Die Eisenbahninfrastrukturunternehmen können ihre Betriebsgröße nicht oder nur geringfügig verändern und tragen für die suboptimale Betriebsgröße bzw. die unter eigenwirtschaftlichen Erwägungen ineffiziente Netzgröße keine volle Eigenverantwortung.

- Bei den Unternehmen des Deutsche Bahn-Konzerns sind mit größerer Wahrscheinlichkeit ein Personalüberhang und Überkapazitäten zu vermuten als bei den anderen Eisenbahninfrastrukturbetreibern.

Für die Bestimmung der X-Faktoren der Deutsche Bahn-Unternehmen wird folgendes Vorgehen angeregt:

- Dem grundsätzlichen Problem des Fehlens von geeigneten Vergleichsunternehmen auf nationaler Ebene und damit der Generierung von Vergleichsdaten sollte bei der Ermittlung des Produktivitätsfortschritts und des Effizienzaufholpotentials zumindest für bestimmte Aktivitäten möglichst bald sowohl durch ein unternehmensinternes als auch durch ein externes Benchmarking mit ausländischen Unternehmen bzw. mit anderen Sektoren begegnet werden.
- Bei der Ermittlung der generellen X-Faktoren sollte für alle Produktkörbe der Törnqvist-Index als methodische Grundlage gewählt werden. Ggf. sind ergänzend partielle technische Produktivitäten zu berechnen und Schätzungen auf der Basis von Nature-of-Work-Modellen durchzuführen. Zu einem späteren Zeitpunkt können dann bei ausreichender Datenverfügbarkeit die Malmqvist-DEA eingesetzt und/oder Kostenfunktionen (mit Zeittrendvariable) geschätzt werden. Bei einem internationalen Vergleich mit ausländischen Eisenbahninfrastrukturbetreibern sind die politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen, das Marktumfeld und die spezifischen Netzstrukturen zu beachten.
- Angesichts der unzureichenden Datenverfügbarkeit bietet sich für die Bestimmung individueller X-Faktoren z.B. bei Personenbahnhöfen, aber auch bei Schienenwegen (Hochgeschwindigkeitsverkehr) und sonstigen Serviceeinrichtungen ein internes Benchmarking auf SFA- und/oder DEA-Basis an. Vor allem bei Nahverkehrstrassen und sonstigen Serviceeinrichtungen ist auch ein externes Benchmarking mit dritten deutschen und ausländischen Eisenbahninfrastrukturunternehmen zu erwägen. Zumindest in der ersten Phase sollten auch partielle technische Produktivitäten kalkuliert werden. Weiterhin sind analytische Kostenmodelle und andere ingenieurwissenschaftliche Bottom-up-Modelle einzusetzen sowie spezifische Effizienzprüfungen durchzuführen.

Im Hinblick auf die anderen wettbewerbsrelevanten Eisenbahninfrastrukturunternehmen ist das nachstehend beschriebene Verfahren vorstellbar:

- Die Ermittlung der generellen X-Faktoren sollte für alle Produktkörbe auf Törnqvist-Indizes beruhen, ggf. unterstützt durch Berechnungen partieller technischer Produktivitäten und Nature-of-Work-Ansätze. Zu einem späteren Zeitpunkt ist auf die Malmqvist-DEA und/oder auf Kostenfunktionen (mit Zeittrendvariable) zurückzugreifen.
- Bei der Bestimmung der individuellen X-Faktoren ist zu beachten, dass eine größere Anzahl an mittelgroßen und kleineren Unternehmen einbezogen wer-



den dürften. Datenintensive Methoden, wie z.B. die DEA und die SFA, sind dann problemlos einzusetzen, ggf. auch gleichzeitig zur Überprüfung der Robustheit der Ergebnisse. Sollte die Unternehmenszahl relativ niedrig sein, ist die statistische Signifikanz nicht mehr unbedingt gegeben, bzw. die Gefahr strategischen Verhaltens ist nicht von der Hand zu weisen. In diesem Fall müsste ein internes Benchmarking oder z.B. bei Personenbahnhöfen und sonstigen Serviceeinrichtungen ein Benchmarking mit Deutsche Bahn-Tochterunternehmen und/oder mit ausländischen Eisenbahninfrastrukturunternehmen vorgenommen werden. Anfänglich sollten auch geeignete Kennzahlen zu den partiellen technischen Produktivitäten genutzt werden.

## Literaturverzeichnis

- Accenture (2003), Review of Network Rail's Supply Chain, July 2003.
- Affuso, L., A. Angeriz und M.G. Pollitt (2002), Measuring the Efficiency of Britain's Privatised Train Operating Companies, Regulation Initiative Discussion Paper 48.
- Aigner, D.J. und S. Chu (1968), On Estimating the Industry Production Function, *American Economic Review*, 58, 826-839.
- Aigner, D.J., C.A.K. Lovell und P. Schmidt (1977), Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Models, *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.
- Andrikopoulos, A.A. und J. Loizides (1998), Cost Structure and Productivity Growth in European Railway Systems, *Applied Economics*, 30, 1625-1639.
- Asmild, M., T. Holvad, J.L. Hougaard und D. Kronborg (2008), Railway Reforms: Do They Influence Operating Efficiency?, University of Copenhagen, Department of Economics, No. 08-05, Kopenhagen.
- Asset Management Consulting Ltd (AMCL, 2007), Independent Reporter – Part C Services, Best Practice Review, Using the AMCL Excellence Model, Final Report for Network Rail and the Office of Rail Regulation, Version: 1.1, London, 6 February 2007.
- Asset Management Consulting Ltd (AMCL, 2008), Independent Reporter – Part C Services, Interim Review of Network Rail's 2007 Asset Policies, A Report to Network Rail and the ORR, Version: Draft B, London, 8 January 2008.
- Atkinson, S.E. und C. Cornwell (1998), Estimating Radial Measures of Productivity Growth: Frontier vs Non-Frontier Approaches, *Journal of Productivity Analysis*, 10, 35-46.
- Banker, R.D., R.F. Charnes und W.W. Cooper (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30, 1078-1092.
- Bereskin, G.C. (1996), Econometric Estimation of the Effects of Deregulation on Railway Productivity Growth, *Transportation Journal*, 35(4), 34-43.
- Bernstein, J.I. (2000), Price Cap Regulation and Productivity Growth, *International Productivity Monitor*, 1, 23-28.
- Bishop, M. und D. Thompson (1992), Regulatory Reform and Productivity Growth in the UK's Public Utilities, *Applied Economics*, 24, 1181-90.
- Bitzan, J.D. und T.E. Keeler (2003), Productivity Growth and Some of its Determinants in the Deregulated U.S. Railroad Industry, *Southern Economic Journal*, 70(2), 232-253.
- Bloch, H., Kenyon, P. und N. Wills-Johnson (2004), Estimation of CPI-X in the WA Rail Industry, IRIC Discussion Paper 6/04, Perth.
- Booz Allen Hamilton (1999), Railtrack's Expenditure Needs 2001 – 2006, Final Report, Report to Office of the Rail Regulator, London, December 1999.

- Booz Allen Hamilton (2000), Response to Railtrack's Cost Submission, Final Report, Report to Office of the Rail Regulator, London, July 2000.
- Borger, B. de (1991), Hedonic Versus Homogeneous Output Specifications of Railroad Technology: Belgian Railroads 1950-1986, *Transportation Research A*, 25(4), 227-238.
- Borger, B. de (1992), Estimating a Multiple-Output Generalized Box-Cox Cost Function: Cost Structure and Productivity Growth in Belgian Railroad Operations, 1950-1986, *European Economic Review*, 36, 1379-1398.
- Brunekreeft, G. (2000), *Kosten, Körbe, Konkurrenz: Price Caps in der Theorie*, Diskussionsbeiträge des Instituts für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik der Universität Freiburg, Nr. 67, Freiburg.
- Brunker, D. (1992), Total Factor Productivity Growth in Australian National Railways – An Application of Shadow Prices, *Transportation Research B*, 26(6), 449-459.
- Brunker, D. und C. Gallagher (1991), An Analysis of Total Factor Productivity with an Application to Australian National, BTCE Report 68.
- Bundesnetzagentur (2008), Abschlussbericht der Bundesnetzagentur zur Einführung einer Anreizregulierung im Eisenbahnsektor, revidierte Fassung, Bonn, 26. Mai 2008.
- Cambridge Economic Policy Associates (CEPA, 2006), *The Role of Incentives in the GB Rail Industry*, London, July 2006.
- Cantos, P., J.M. Pastor und L. Serrano (1999), Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-Parametric Approach, *Transportation*, 26, 337-357.
- Cantos, P., J.M. Pastor und L. Serrano (2000a), Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways, *Journal of Transportation and Statistics*, 3(3), 61-68.
- Cantos, P. und J. Maudos (2000b), Efficiency, Technical Change and Productivity in the European Railways: A Stochastic Frontier Approach, *International Journal of Transport Economics*, 27(1), 55-75.
- Cantos, P. und J. Maudos (2001), Regulation and Efficiency: The Case of European Railways, *Transportation Research A*, 35(5), 459-472.
- Cantos, P., J.M. Pastor und L. Serrano (2002), Cost and Revenue Inefficiencies in the European Railways, *International Journal of Transport Economics*, 24(3), 279-308.
- Caves, D.W. und L.R. Christensen (1980a), The Relative Efficiency of Public and Private Firms in a Competitive Environment: The Case of Canadian Railroads, *Journal of Political Economy*, 88(5), 958-976.
- Caves, D.W., L.R. Christensen und J.A. Swanson (1980b), Productivity in U.S. Railroads, 1951-1974, *Bell Journal of Economics*, 11, 166-181.

- Caves, D.W., L.R. Christensen und J.A. Swanson (1981a), Productivity Growth, Scale Economies, and Capacity Utilization in U.S. Railroads, 1955-74, *American Economic Review*, 71, 994-1002.
- Caves, D.W., L.R. Christensen und J.A. Swanson (1981b), Economic Performance in Regulated and Unregulated Environments: A Comparison of U.S. and Canadian Railroads, *Quarterly Journal of Economics*, 96(4), 559-581.
- Caves, D.W., L.R. Christensen und W.E. Diewert (1982a), The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity, *Econometrica*, 50, 1393-1414.
- Caves, D.W., L.R. Christensen und J.A. Swanson (1982b), Economic Performance of US and Canadian Railroads: the Significance of Ownership and the regulatory Environment, in: Stanbury, W.T. und F. Thompson (Hrsg.), *Managing Public Enterprise*, New York.
- Chapin, A. und S. Schmidt (1999), Do Mergers Improve Efficiency? Evidence from Deregulated Rail Freight, *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(2), 147-162.
- Chapman, J.D. und C.D. Martland (1997), Railroad Track Productivity: A Historical Perspective, *Transportation Quarterly*, 51(3), 105-118.
- Charnes, A., W. Cooper und E. Rhodes (1978), Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Christopoulos, D.K., J. Loizides und E.G. Tsionas (2001), Efficiency in European Railways: Not as Inefficient as One Might Think, *Journal of Applied Economics*, 4(1), 63-88.
- Coelli, T.J. und S. Perelman (1999), A Comparison of Parametric and Non-Parametric Distance Functions: With Application to European Railways, *European Journal of Operational Research*, 117, 326-339.
- Coelli, T.J. und S. Perelman (2000), Technical Efficiency of European Railways: A Distance Function Approach, *Applied Economics*, 32, 1967-1976.
- Coelli, T.J., A. Estache, S. Perelman und L. Trujillo (2003), *A Primer on Efficiency Measurement for Utilities and Transport Regulators*, World Bank Institute Development Studies, The World Bank, Washington, D.C.
- Coelli, T.J., D.S. Prasada Rao, C.J. O'Donnell und G.E. Battese (2005), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Second Edition, Boston.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford und K. Tone (2000), *Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software*, Boston – Dordrecht – London.
- Cowie, J. (1999), The Technical Efficiency of Public and Private Ownership in the Rail Industry: The Case of Swiss Private Railways, *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(3), 241-252.
- Cowie, J. (2002), Subsidy and Productivity in the Privatised British Passenger Railway, *Economic Issues*, 7(1), 25-37.

- Deprins, D. und L. Simar (1989), Estimating Technical Inefficiencies with Correction for Environmental Conditions – with an Application to Railway Companies, *Annals of Public and Co-operative Economics*, 81-101.
- Diewert, W.E. (1976), Exact and Superlative Index Numbers, *Journal of Econometrics*, 4, 115-145.
- Diewert, W.E. (2007), Index Numbers, University of British Columbia, Department of Economics, Discussion Paper 07-02, Vancouver, January 2, 2007.
- Diewert, W.E. und A.O. Nakamura (2003), Index Number Concepts, Measures and Decompositions of Productivity Growth, *Journal of Productivity Analysis*, 19, 127-159.
- Dodgson, J.S. (1985), A Survey of Recent Developments in the Measurement of Rail Total Factor Productivity, in: Button, K.J. und D.E. Pitfield (Hrsg.), *International Railway Economics*, Aldershot, 13-48.
- Ernst & Young (2008), Assessing the Efficiency Component of Network Rail's Strategic Business Plan, 29 February 2008.
- Europe Economics (1999), Review of Railtrack Efficiency, A Report for the Office of the Rail Regulator, London, 9 December 1999.
- Färe, R. und S. Grosskopf (1992), Malmqvist Productivity Indexes and Fisher Ideal Indexes, *Economic Journal*, 102(410), 158-160.
- Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris und Z. Zhang (1994), Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries, *American Economic Review*, 84(1), 66-83.
- Farsi, M., M. Filippini und W. Greene (2004), Efficiency Measurement in Network Industries: Application to the Swiss Railway Companies, CEPE-ETH Working Paper, May 2004.
- Filippini, M. und R. Maggi (1993), Efficiency and Regulation in the Case of Swiss Private Railways, *Journal of Regulatory Economics*, 5, 199-216.
- Freeman, K., T.H. Oum, M.W. Tretheway und W.G. Waters II (1985), The Total Factor Productivity of the Canadian Class 1 Railways 1956-1981, *Logistics and Transportation Review*, 21(3), 249-276.
- Friebel, G., M. Ivaldi und C. Vibes (2004), Railway (De)Regulation: A European Efficiency Comparison, CEPR Discussion Paper 4319, London.
- Gathon, H.-J. und S. Perelman (1992), Measuring Technical Efficiency in European Railways: A Panel Data Approach, *Journal of Productivity Analysis*, 3, 135-151.
- Gathon, H.-J. und P. Pestieau (1995), Decomposing Efficiency into its Managerial and its Regulatory Components: The Case of European Railways, *European Journal of Operational Research*, 80, 500-507.
- Gollop, F.M. und D.W. Jorgenson (1980), US Productivity Growth by Industry, 1947-1973, in: Kendrick, J. und B. Vaccaro (Hrsg.), *New Developments in Productivity Measurement*, Chicago.

- Grabowski, R. und S. Mehdian (1990), Efficiency of the Railroad Industry: A Frontier Production Function Approach, *Quarterly Journal of Business and Economics*, 29(2), 26-42.
- Graham, D.J. (2008), Productivity and Efficiency in Urban Railways: Parametric and Non-Parametric Estimates, *Transportation Research E*, 44, 84-99.
- Hariton, G. und R. Roy (1979), Productivity Change in Canadian Air and Rail Transport in the last two Decades, *Logistics and Transportation Review*, 15, 507-516.
- Haskel, J. und S. Szymanski (1993), The Effects of Privatisation, Restructuring and Competition on Productivity Growth in UK Public Corporations, Queen Mary and Westfield College, Department of Economics Working Paper No.286, London.
- Hensher, D.A., R.D. Daniels und I. De Mellow (1995), A Comparative Assessment of the Productivity of Australia's Public Rail Systems 1971/72-1991/92, *Journal of Productivity Analysis*, 6, 201-223.
- Horton 4 Consulting (2000), The efficiency growth assumption for Railtrack in the 2001-6 price control period, a report for the Office of the Rail Regulator, London, July 2000.
- Horton 4 Consulting (2008), International Efficiency Benchmarking in the Network Rail 2008 Periodic Review: ORR's Draft Determination, report produced as part of PR2008, 31 July 2008.
- Institute for Transport Studies (ITS) und Office of Rail Regulation (ORR) (2008), International benchmarking of Network Rail's maintenance and renewals costs, London, June 2008.
- Kendrick, J.W. (1961), Productivity Trends in the United States, National Bureau of Economic Research, New York.
- Kendrick, J.W. (1973), Postwar Productivity in the United States, 1948-1966, National Bureau of Economic Research, New York.
- Kendrick, J.W. und E.S. Grossman (1980), Productivity in the United States: Trends and Cycles, Baltimore.
- Kennedy, J. und A.S.J. Smith (2004), Assessing the Efficient Cost of Sustaining Britain's Rail Network: Perspectives Based on Zonal Comparison, *Journal of Transport Economics and Policy*, 38(2), 157-190.
- Kumbhakar, S.C. (1988a), Estimation of Input-Specific Technical Efficiency and Allocative Inefficiency in Stochastic Frontier Models, *Oxford Economic Papers*, 40, 535-549.
- Kumbhakar, S.C. (1988b), On the Estimation of Technical and Allocative Inefficiency using Stochastic Frontiers Functions: the Case of US Class I Railroads, *International Economic Review*, 29(4), 727-743.
- Kumbhakar, S.C. (1989), Economic Performance of US Class I Railroads: A Stochastic Frontier Approach, *Applied Economics*, 21(11), 1433-1446.

- Kumbhakar, S.C., L. Orea, A. Rodríguez-Álvarez und E.G. Tsionas (2007), Do We Estimate an Input or an Output Distance Function? An Application of the Mixture Approach to European Railways, *Journal of Productivity Analysis*, 27, 87-100.
- Lan, L.W. und E.T.J. Lin (2003a), Measurement of Railways Productive Efficiency with Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis, *Journal of the Chinese Institute of Transportation*, 15, 49-78.
- Lan, L.W. und E.T.J. Lin (2003b), Technical Efficiency and Service Effectiveness for Railways Industry: DEA Approaches, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 2932-2947.
- Lan, L.W. und E.T.J. Lin (2005), Measuring Railway Performance with Adjustment of Environmental Effects, Data Noise and Slacks, *Transportmetrica*, 1, 161-189.
- Lan, L.W. und E.T.J. Lin (2006), Performance Measurement for Railway Transport: Stochastic Distance Functions with Inefficiency and Ineffectiveness Effects, *Journal of Transport Economics and Policy*, 40(3), 383-408.
- Land, K.C., C.A. Lovell und S. Thore (1993), Chance-constrained data envelopment analysis, *Managerial and Decision Economics*, 14, 541-554.
- LECG (2008), Assessment of the ITS/ORR Econometric Models, report produced as part of PR2008, 4 September 2008.
- L.E.K. Consulting Ltd (2000), Benchmarking of Railtrack's Freight Charges and Costs, London, 26 January 2000.
- L.E.K. Consulting Ltd (2003), Regional Benchmarking, Report to Network Rail, ORR and SRA, Report for Publication, London, 24 July 2003.
- L.E.K. Consulting LLP, TTCI und Halcrow Group Ltd (2003a), International Benchmarking, Report to ORR, Network Rail and SRA, Report for Publication, London – Pueblo, 24 July 2003.
- L.E.K. Consulting LLP, TTCI und Halcrow Group Ltd (2003b), Bottom-Up Review of Network Rail's Business Plan 2003/04 – 2005/06, Report to ORR, London – Pueblo, 8 August 2003.
- L.E.K. Consulting Ltd und Oxera Consulting Ltd (2005), Assessing Network Rail's scope for efficiency gains over CP4 and beyond: a preliminary study, London – Oxford, 12 December 2005.
- Lim, S.H. und C.A.K. Lovell (2008), Short-run Total Cost Change and Productivity of US Class I Railroads, *Journal of Transport Economics and Policy*, 42(1), 155-188.
- Loizides, J. und E.G. Tsionas (2002), Productivity Growth in European Railways: A New Approach, *Transportation Research A*, 36, 633-644.
- Loizides, J. und E.G. Tsionas (2004), Dynamic Distributions of Productivity Growth in European Railways, *Journal of Transport Economics and Policy*, 38(1), 45-76.
- Martland, C.D. (1989), Improving Railroad Productivity: Implications of US Experience for Canadian Railroads, *Transportation Research Forum*, 29, 427-433.

- Martland, C.D. (1999), Productivity and Prices in the U.S. Rail Industry: Experience from 1965 to 1995 and Prospects for the Future, *Journal of the Transportation Research Forum*, 38(1), 12-25.
- McGeehan, H. (1993), Railway Costs and Productivity Growth: The Case of the Republic of Ireland, 1973-1983, *Journal of Transport Economics and Policy*, 27(1), 19-32.
- Meyer, J.R. und A.L. Morton (1975), The Railroad Industry in the Post-World War II Period: a Profile, *Explorations in Economic Research*, 2, 449-501.
- Mizutani, F. und K. Nakamura (1996), Effects of Japan National Railways' Privatization on Labor Productivity, *Papers in Regional Science*, 75(2), 177-199.
- Mizutani, F. und K. Nakamura (1997), Privatization of the Japan National Railway: Overview of Performance Changes, *International Journal of Transport Economics*, 24(1), 75-99.
- Mizutani, F. und S. Uranishi (2007), The Effects of Privatization on Productivity and Capital Adjustment, *International Journal of Transport Economics*, 34(2), 197-224.
- Nakajima, T., K. Oda und T. Takahashi (1996), Total Factor Productivity of the Japanese National Railways Based on the '3T' Activities, KEIO University, KEO Discussion Paper No.45, Tokio.
- Nash, C. und J. Preston (1994), Railway Performance – How does Britain Compare?, *Public Money and Management*, 14, 47-53.
- National Economic Research Associates (NERA, 2000), Review of Overseas Railway Efficiency, A Draft Final Report for the Office of the Rail Regulator, London, July 2000.
- National Economic Research Associates, Economic Consulting (NERA, 2006), Corporate Form, Financial Guarantees, and Efficiency Performance: Expectations and Evidence, London, 18 December 2006.
- Office of the Rail Regulator (ORR, 2000), The periodic review of Railtrack's access charges: Final conclusions, Volume I, London, October 2000.
- Office of the Rail Regulator (ORR, 2003a), Interim review of track access charges: Third consultation paper, July 2003.
- Office of the Rail Regulator (ORR, 2003b), Access charges review 2003: Final conclusions, London, December 2003.
- Office of Rail Regulation (ORR, 2005a), Periodic Review 2008. First consultation document, London, August 2005.
- Office of Rail Regulation (ORR, 2005b), Periodic Review 2008. Initial assessment of Network Rail's CP4 revenue requirement and consultation on the financial framework, London, December 2005.
- Office of Rail Regulation (ORR, 2006), Periodic Review 2008. Consultation on Caps for Freight Track Access Charges, London, December 2006.



- Office of Rail Regulation (ORR, 2008a), Update on the framework for setting outputs and access charges and strategic business plan assessment, London, February 2008.
- Office of Rail Regulation (ORR, 2008b), Periodic review 2008, determination of Network Rail's outputs and funding for 2009-14, London, November 2008.
- Oum, T.H., M.W. Tretheway und W.G. Waters II (1992), Concepts, Methods and Purposes of Productivity Measurement in Transportation, *Transportation Research A*, 26(6), 493-505.
- Oum, T.H. und C. Yu (1994), Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy: A Comparative Study of the OECD Countries' Railways, *Journal of Transport Economics and Policy*, 28(2), 121-138.
- Oum, T.H. und W.G. Waters II (1996), A Survey of Recent Developments in Transportation Cost Function Research, *Logistics and Transportation Review*, 32, 423-463.
- Oum, T.H., W.G. Waters II und C. Yu (1999), A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport, *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(1), 9-42.
- Oxera Consulting Ltd (2000), Establishing a cost-reduction target for Railtrack based on top-down approaches, Oxford, June 2000.
- Oxera Consulting Ltd (2003a), Operating Cost Reductions in Regulated Network Industries, Oxera Report prepared for: Office of the Rail Regulator, Oxford, June 2003.
- Oxera Consulting Ltd (2003b), Benchmarking of Operating Expenditure, Oxera Report prepared for: Office of the Rail Regulator, Oxford, July 2003.
- Oxera Consulting Ltd (2006), Role of incentives in the GB rail industry, Report prepared for Office of Rail Regulation, Oxford, July 2006.
- Oxera Consulting Ltd (2008a), What is Network Rail's likely scope for frontier shift in enhancement expenditure over CP4?, Prepared for Office of Rail Regulation, Oxford, 27 March 2008.
- Oxera Consulting Ltd (2008b), Network Rail's scope for efficiency gains in CP4, Prepared for Office of Rail Regulation, Oxford, April 2008.
- Pariso, L. (1999), A Comparative Analysis of European Railroads Efficiency: A Cost Frontier Approach, *Applied Economics*, 31, 815-823.
- Perelman, S. (1986), La performance technique des réseaux de chemin de fer: une comparaison internationale, CIRIEC, Working Paper No 86/12.
- Perelman, S. und P. Pestieau (1988), Technical Performance in Public Enterprises: A Comparative Study of Railway and Postal Services, *European Economic Review*, 32, 432-441.
- Pollitt, M.G. und A.S.J. Smith (2002), The Restructuring and Privatisation of British Rail: Was It Really That Bad?, *Fiscal Studies*, 23(4), 463-502.

- Preston, J.M. (1996), Assessing Public Sector Performance: the Case of Western European Railways, in: Hensher, D., J. King und T.H. Oum (Hrsg.), Proceedings of the 7th World Conference on Transport Research, Volume 4: Transport Management, 343-356.
- RailKonsult (2008a), Review of European Renewal and Maintenance Methodologies, Study Overview, Appendices 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7, London, 29 May 2008.
- RailKonsult (2008b), Further Assessment of Approaches to Improve Efficiency, Study Overview, Appendices 8, 9, 10 and 11, Review of Network Rail's consultation response, London, 20 October 2008.
- Roy, J.P. und D. Cofsky (1985), An Empirical Investigation for Canadian Class I Railroads of Both Performance and Industry Cost Structure, Proceedings of the 20th Canadian Transportation Research Forum Annual Meeting, Toronto, 766-784.
- Simar, L. (1992), Estimating Efficiencies from Frontier Models with Panel Data: A Comparison of Parametric, Non-Parametric and Semi-Parametric Methods with Bootstrapping, Journal of Productivity Analysis, 3, 171-203.
- Smith, A.S.J. (2006), Are Britain's Railways Costing Too Much? Perspectives Based on TFP Comparisons with British Rail 1963-2002, Journal of Transport Economics and Policy, 40(1), 1-44.
- Smith, A.S.J. (2008), International Benchmarking of Network Rail's Maintenance and Renewal Costs: An Econometric Study Based on the LICB Dataset (1996-2006), Report for the Office of Rail Regulation, October 2008.
- Smith, A.S.J. und P.E. Wheat (2008), A Response to the LECG und Horton 4 Consulting Reports on the ITS/ORR International benchmarking Study (Based on the LICB Dataset), report written as part of PR2008, October 2008.
- Tretheway, M.W. und W.G. Waters II (1995), Aggregation and Accuracy in Measuring Total Factor Productivity: Evidence from Rail Productivity Studies, Journal of the Transportation Research Forum, 25(2), 60-70.
- Tretheway, M.W., W.G. Waters II und A.K. Fok (1997), The Total Factor Productivity of the Canadian Railways, 1956-91, Journal of Transport Economics and Policy, 31(1), 93- 113.
- Tsionas, E.G. und D.K. Christopoulos (1999), Determinants of Technical Inefficiency in European Railways: Simultaneous Estimation of Firm-Specific and Time-Varying Inefficiency, Konjunkturpolitik, 45(3), 240-257.
- Waters II, W.G. und M.W. Tretheway (1999), Comparing Total Factor Productivity and Price Performance: Concepts and Application to Canadian Railways, Journal of Transport Economics and Policy, 33(2), 209-220.
- Wilson, W. (1997), Cost Savings and Productivity in the Railroad Industry, Journal of Regulatory Economics, 11(1), 21-40.

Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 242: Christin-Isabel Gries:  
Die Entwicklung der Nachfrage nach breitbandigem Internet-Zugang, April 2003
- Nr. 243: Wolfgang Briglauer:  
Generisches Referenzmodell für die Analyse relevanter Kommunikationsmärkte – Wettbewerbsökonomische Grundfragen, Mai 2003
- Nr. 244: Peter Stamm, Martin Wörter:  
Mobile Portale – Merkmale, Marktstruktur und Unternehmensstrategien, Juli 2003
- Nr. 245: Franz Büllingen, Annette Hillebrand:  
Sicherstellung der Überwachbarkeit der Telekommunikation: Ein Vergleich der Regelungen in den G7-Staaten, Juli 2003
- Nr. 246: Franz Büllingen, Annette Hillebrand:  
Gesundheitliche und ökologische Aspekte mobiler Telekommunikation – Wissenschaftlicher Diskurs, Regulierung und öffentliche Debatte, Juli 2003
- Nr. 247: Anette Metzler, Cornelia Stappen unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:  
Aktuelle Marktstruktur der Anbieter von TK-Diensten im Festnetz sowie Faktoren für den Erfolg von Geschäftsmodellen, September 2003
- Nr. 248: Dieter Elixmann, Ulrike Schimmel with contributions of Anette Metzler:  
"Next Generation Networks" and Challenges for Future Regulatory Policy, November 2003
- Nr. 249: Martin O. Wengler, Ralf G. Schäfer:  
Substitutionsbeziehungen zwischen Festnetz und Mobilfunk: Empirische Evidenz für Deutschland und ein Survey internationaler Studien, Dezember 2003
- Nr. 250: Ralf G. Schäfer:  
Das Verhalten der Nachfrager im deutschen Telekommunikationsmarkt unter wettbewerblichen Aspekten, Dezember 2003
- Nr. 251: Dieter Elixmann, Anette Metzler, Ralf G. Schäfer:  
Kapitalmarktinduzierte Veränderungen von Unternehmensstrategien und Marktstrukturen im TK-Markt, März 2004
- Nr. 252: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:  
Der Markt für Public Wireless LAN in Deutschland, Mai 2004
- Nr. 253: Dieter Elixmann, Annette Hillebrand, Ralf G. Schäfer, Martin O. Wengler:  
Zusammenwachsen von Telefonie und Internet – Marktentwicklungen und Herausforderungen der Implementierung von ENUM, Juni 2004
- Nr. 254: Andreas Hense, Daniel Schäffner:  
Regulatorische Aufgaben im Energiebereich – ein europäischer Vergleich, Juni 2004
- Nr. 255: Andreas Hense:  
Qualitätsregulierung und wettbewerbspolitische Implikationen auf Postmärkten, September 2004
- Nr. 256: Peter Stamm:  
Hybridnetze im Mobilfunk – technische Konzepte, Pilotprojekte und regulatorische Fragestellungen, Oktober 2004
- Nr. 257: Christin-Isabel Gries:  
Entwicklung der DSL-Märkte im internationalen Vergleich, Oktober 2004
- Nr. 258: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Diana Rätz:  
Alternative Streitbeilegung in der aktuellen EMVU-Debatte, November 2004
- Nr. 259: Daniel Schäffner:  
Regulierungsökonomische Aspekte des informatorischen Unbundling im Energiebereich, Dezember 2004
- Nr. 260: Sonja Schölermann:  
Das Produktangebot von Universaldienstleistern und deren Vergleichbarkeit, Dezember 2004

- Nr. 261: Franz Büllingen, Aurélie Gillet, Christin-Isabel Gries, Annette Hillebrand, Peter Stamm:  
Stand und Perspektiven der Vorratsdatenspeicherung im internationalen Vergleich, Februar 2005
- Nr. 262: Oliver Franz, Marcus Stronzik:  
Benchmarking-Ansätze zum Vergleich der Effizienz von Energieunternehmen, Februar 2005
- Nr. 263: Andreas Hense:  
Gasmarktregulierung in Europa: Ansätze, Erfahrungen und mögliche Implikationen für das deutsche Regulierungsmodell, März 2005
- Nr. 264: Franz Büllingen, Diana Rätz:  
VoIP – Marktentwicklungen und regulatorische Herausforderungen, Mai 2005
- Nr. 265: Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:  
Stand der Backbone-Infrastruktur in Deutschland – Eine Markt- und Wettbewerbsanalyse, Juli 2005
- Nr. 266: Annette Hillebrand, Alexander Kohlstedt, Sonia Strube Martins:  
Selbstregulierung bei Standardisierungsprozessen am Beispiel von Mobile Number Portability, Juli 2005
- Nr. 267: Oliver Franz, Daniel Schäffner, Bastian Trage:  
Grundformen der Entgeltregulierung: Vor- und Nachteile von Price-Cap, Revenue-Cap und hybriden Ansätzen, August 2005
- Nr. 268: Andreas Hense, Marcus Stronzik:  
Produktivitätsentwicklung der deutschen Strom- und Gasnetzbetreiber – Untersuchungsmethodik und empirische Ergebnisse, September 2005
- Nr. 269: Ingo Vogelsang:  
Resale und konsistente Entgeltregulierung, Oktober 2005
- Nr. 270: Nicole Angenendt, Daniel Schäffner:  
Regulierungsökonomische Aspekte des Unbundling bei Versorgungsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung von Pacht- und Dienstleistungsmodellen, November 2005
- Nr. 271: Sonja Schölermann:  
Vertikale Integration bei Postnetzbetreibern – Geschäftsstrategien und Wettbewerbsrisiken, Dezember 2005
- Nr. 272: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:  
Transaktionskosten der Nutzung des Internet durch Missbrauch (Spamming) und Regulierungsmöglichkeiten, Januar 2006
- Nr. 273: Gernot Müller, Daniel Schäffner, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:  
Indikatoren zur Messung von Qualität und Zuverlässigkeit in Strom- und Gasversorgungsnetzen, April 2006
- Nr. 274: J. Scott Marcus:  
Interconnection in an NGN Environment, Mai 2006
- Nr. 275: Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:  
Incumbents und ihre Preisstrategien im Telefondienst – ein internationaler Vergleich, Juni 2006
- Nr. 276: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:  
Wettbewerbspolitische Bedeutung des Postleitzahlensystems, Juni 2006
- Nr. 277: Marcus Stronzik, Oliver Franz:  
Berechnungen zum generellen X-Faktor für deutsche Strom- und Gasnetze: Produktivitäts- und Inputpreisdifferential, Juli 2006
- Nr. 278: Alexander Kohlstedt:  
Neuere Theoriebeiträge zur Netzökonomie: Zweiseitige Märkte und On-net/Off-net-Tariffdifferenzierung, August 2006
- Nr. 279: Gernot Müller:  
Zur Ökonomie von Trassenpreissystemen, August 2006
- Nr. 280: Franz Büllingen, Peter Stamm in Kooperation mit Prof. Dr.-Ing. Peter Vary, Helge E. Lüders und Marc Werner (RWTH Aachen):  
Potenziale alternativer Techniken zur bedarfsgerechten Versorgung mit Breitbandzugängen, September 2006

- Nr. 281: Michael Brinkmann, Dragan Ilic:  
Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus, Glasfaser als Alternative auf der (vor-) letzten Meile, Oktober 2006
- Nr. 282: Franz Büllingen:  
Mobile Enterprise-Solutions — Stand und Perspektiven mobiler Kommunikationslösungen in kleinen und mittleren Unternehmen, November 2006
- Nr. 283: Franz Büllingen, Peter Stamm:  
Triple Play im Mobilfunk: Mobiles Fernsehen über konvergente Hybridnetze, Dezember 2006
- Nr. 284: Mark Oelmann, Sonja Schölermann:  
Die Anwendbarkeit von Vergleichsmarktanalysen bei Regulierungsentscheidungen im Postsektor, Dezember 2006
- Nr. 285: Iris Böschen:  
VoIP im Privatkundenmarkt – Marktstrukturen und Geschäftsmodelle, Dezember 2006
- Nr. 286: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:  
Stand und Perspektiven der Telekommunikationsnutzung in den Breitbandkabelnetzen, Januar 2007
- Nr. 287: Konrad Zoz:  
Modellgestützte Evaluierung von Geschäftsmodellen alternativer Teilnehmernetzbetreiber in Deutschland, Januar 2007
- Nr. 288: Wolfgang Kiesewetter:  
Marktanalyse und Abhilfemaßnahmen nach dem EU-Regulierungsrahmen im Ländervergleich, Februar 2007
- Nr. 289: Dieter Elixmann, Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:  
Internationaler Vergleich der Sektorperformance in der Telekommunikation und ihrer Bestimmungsgründe, Februar 2007
- Nr. 290: Ulrich Stumpf:  
Regulatory Approach to Fixed-Mobile Substitution, Bundling and Integration, März 2007
- Nr. 291: Mark Oelmann:  
Regulatorische Marktzutrittsbedingungen und ihre Auswirkungen auf den Wettbewerb: Erfahrungen aus ausgewählten Briefmärkten Europas, März 2007
- Nr. 292: Patrick Anell, Dieter Elixmann:  
"Triple Play"-Angebote von Festnetzbetreibern: Implikationen für Unternehmensstrategien, Wettbewerb(s)politik und Regulierung, März 2007
- Nr. 293: Daniel Schäffner:  
Bestimmung des Ausgangsniveaus der Kosten und des kalkulatorischen Eigenkapitalzinssatzes für eine Anreizregulierung des Energiesektors, April 2007
- Nr. 294: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:  
Ex-ante-Preisregulierung nach vollständiger Marktöffnung der Briefmärkte, April 2007
- Nr. 295: Alex Kalevi Dieke, Martin Zauner:  
Arbeitsbedingungen im Briefmarkt, Mai 2007
- Nr. 296: Antonia Niederprüm:  
Geschäftsstrategien von Postunternehmen in Europa, Juli 2007
- Nr. 297: Nicole Angenendt, Gernot Müller, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:  
Stromerzeugung und Stromvertrieb – eine wettbewerbsökonomische Analyse, August 2007
- Nr. 298: Christian Growitsch, Matthias Wissner:  
Die Liberalisierung des Zähl- und Messwesens, September 2007
- Nr. 299: Stephan Jay:  
Bedeutung von Bitstrom in europäischen Breitbandvorleistungsmärkten, September 2007
- Nr. 300: Christian Growitsch, Gernot Müller, Margarethe Rammerstorfer, Prof. Dr. Christoph Weber (Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Universität Duisburg-Essen):  
Determinanten der Preisentwicklung auf dem deutschen Minutenreservemarkt, Oktober 2007

- Nr. 301: Gernot Müller:  
Zur kostenbasierten Regulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten – Eine ökonomische Analyse von Kostenkonzepten und Kostentreibern, Dezember 2007
- Nr. 302: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:  
Nachfrage nach Internetdiensten – Dienstarten, Verkehrseigenschaften und Quality of Service, Dezember 2007
- Nr. 303: Christian Growitsch, Margarethe Rammerstorfer:  
Zur wettbewerblichen Wirkung des Zweivertragsmodells im deutschen Gasmarkt, Februar 2008
- Nr. 304: Patrick Anell, Konrad Zoz:  
Die Auswirkungen der Festnetzmobilfunksubstitution auf die Kosten des leitungsvermittelten Festnetzes, Februar 2008
- Nr. 305: Marcus Stronzik, Margarethe Rammerstorfer, Anne Neumann:  
Wettbewerb im Markt für Erdgasspeicher, März 2008
- Nr. 306: Martin Zauner:  
Wettbewerbspolitische Beurteilung von Rabattsystemen im Postmarkt, März 2008
- Nr. 307: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:  
Geschäftsmodelle und aktuelle Entwicklungen im Markt für Broadband Wireless Access-Dienste, März 2008
- Nr. 308: Christian Growitsch, Gernot Müller, Marcus Stronzik:  
Ownership Unbundling in der Gaswirtschaft – Theoretische Grundlagen und empirische Evidenz, Mai 2008
- Nr. 309: Matthias Wissner:  
Messung und Bewertung von Versorgungsqualität, Mai 2008
- Nr. 310: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:  
Netzzugang im NGN-Core, August 2008
- Nr. 311: Martin Zauner, Alex Kalevi Dieke, Torsten Marner, Antonia Niederprüm:  
Ausschreibung von Post-Universaldiensten. Ausschreibungsgegenstände, Ausschreibungsverfahren und begleitender Regulierungsbedarf, September 2008
- Nr. 312: Patrick Anell, Dieter Elixmann:  
Die Zukunft der Festnetzbetreiber, Dezember 2008
- Nr. 313: Patrick Anell, Dieter Elixmann, Ralf Schäfer:  
Marktstruktur und Wettbewerb im deutschen Festnetz-Markt: Stand und Entwicklungstendenzen, Dezember 2008
- Nr. 314: Kenneth R. Carter, J. Scott Marcus, Christian Wernick:  
Network Neutrality: Implications for Europe, Dezember 2008
- Nr. 315: Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:  
Strategien zur Realisierung von Quality of Service in IP-Netzen, Dezember 2008
- Nr. 316: Juan Rendon, Thomas Plückerbaum, Iris Bösch, Gabriele Kulenkampff:  
Relevant cost elements of VoIP networks, Dezember 2008
- Nr. 317: Nicole Angenendt, Christian Growitsch, Rabindra Nepa, Christine Müller:  
Effizienz und Stabilität des Stromgroßhandelsmarktes in Deutschland – Analyse und wirtschafts-politische Implikationen, Dezember 2008
- Nr. 318: Gernot Müller:  
Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor – Methodische Grundlagen und Schätzung des Produktivitätsfortschritts für den deutschen Markt, Januar 2009



**ISSN 1865-8997**