

Produktivitäts- und Wachstumswirkungen von Verkehrsinfrastrukturinvestitionen: Ein Überblick

VON BERNHARD WIELAND, JOACHIM RAGNITZ, DRESDEN¹

Der folgende Artikel entspricht überwiegend Kapitel 4 des Kurzgutachtens „Öffentliche Infrastrukturinvestitionen: Entwicklung, Bestimmungsfaktoren und Wachstumswirkungen“, das vom ifo-Institut, Niederlassung Dresden, im Jahr 2013 im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie erstellt wurde. Aufgrund der methodischen Eigenständigkeit dieses Gutachtenteils, seines konkreten Verkehrsbezugs und seiner verkehrspolitischen Aktualität wird er hier noch einmal gesondert veröffentlicht. Eine erste Fassung des Gutachtens wurde im Rahmen eines Expertenworkshops im Dezember 2013 im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie vorgestellt. Die kritischen Anmerkungen und Ergänzungsvorschläge der Experten wurden, soweit es der Umfang eines Artikels zuließ, im Folgenden berücksichtigt. Das gesamte Gutachten erscheint in Kürze als ifo-Dresden Studie.

1. Einleitung

In diesem Aufsatz werden die volkswirtschaftlichen Wachstumswirkungen öffentlicher Verkehrsinfrastrukturinvestitionen im Rahmen eines Literaturüberblicks behandelt. Als Ausgangspunkt der gesamten empirischen Literatur zu diesem Thema kann der sogenannte Productivity Slowdown in den USA in den 1970ern und frühen 1980ern angesehen werden. Dieses Phänomen, das zunächst auf die USA begrenzt schien, führte sehr bald weltweit zu einer intensiven Ursachenforschung für die in vielen hochindustrialisierten Ländern zu beobachtende Verlangsamung des gesamtwirtschaftlichen Wachstums. Unter den damals genannten Gründen befand sich neben (a) einer Überregulierung der Wirtschaft, (b) der Umstellung auf die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien, (c) gestiegenen Energiepreisen oder (d) einem möglichen Wertewandel in der Gesellschaft auch (e) die Hypothese einer mangelnden Ausstattung mit Einrichtungen der „Kerninfrastruktur“ (Core-Infrastructure). Diese Hypothese schien zunächst durch die Arbeiten des NBER-Ökonomen David Aschauer (1989a, b, c) eine Bestätigung zu finden („Aschauer-Debatte“).

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Bernhard Wieland
Technische Universität Dresden
Institut für Wirtschaft & Verkehr
Chemnitz Straße 48
01187 Dresden
e-mail: bernhard.wieland@tu-dresden.de

Prof. Dr. Joachim Ragnitz
ifo Institut
Niederlassung Dresden
Einsteinstraße 9
01069 Dresden
e-mail: ragnitz@ifo.de

Aschauer ermittelte in seiner ersten Arbeit zum Thema eine makroökonomische Outputelastizität zwischen 0,38 und 0,56 für den Zeitraum der Jahre 1949 bis 1985. Mit anderen Worten: Die Zunahme des volkswirtschaftlichen Bestandes an Kerninfrastruktur (wie auch immer gemessen) um 1 % pro Jahr würde einen Zuwachs des volkswirtschaftlichen Outputs um 0,38 % bis 0,56 % pro Jahr bewirken. Übersetzt in Rentabilitätsziffern hätte dies alle im privaten Sektor zu erzielenden Investitionsrenditen weit in den Schatten gestellt. Der folgende Literaturüberblick zeigt indes, dass diese Ergebnisse durch nachfolgende Arbeiten deutlich nach unten korrigiert wurden, insbesondere für bereits höher entwickelte Industrieländer. Die heute als realistisch angesehenen Outputelastizitäten liegen für den Verkehrssektor eher im Bereich von 0,05 bis 0,06 (vgl. Melo et al., 2012). Damit schneiden Verkehrsinfrastrukturinvestitionen hinsichtlich ihrer Wachstumseffekte im volkswirtschaftlichen Vergleich eher moderat ab. Es erhebt sich allerdings die Frage, ob die Nachfolgestudien möglicherweise zu hoch aggregiert sind und ob eine stärkere Differenzierung nach Regionen und/oder der Einsatz anderer Methoden nicht zu höheren Produktivitätswerten führen würden. Diese Frage stellt sich insbesondere im Hinblick auf den Netzcharakter der Verkehrsinfrastruktur, die Beseitigung von Engpässen und die Berücksichtigung der sogenannten Wider Economic Benefits, die in den traditionellen Analysen zumeist nicht berücksichtigt werden.

2. Definition des Begriffs Wachstum

Die Begriffe Infrastruktur und Wachstum werden in der Wirtschaftswissenschaft nicht immer eindeutig gebraucht.

Wachstum hat in der Volkswirtschaftslehre zumeist die Bedeutung einer Zunahme des BIP, also der Summe aller in einer abgegrenzten Region in einem Jahr produzierten Güter und Dienstleistungen. Seit langem jedoch wird gefragt, ob in der amtlichen Statistik nicht wesentliche Kategorien von Gütern und Dienstleistungen unberücksichtigt bleiben (etwa die Hausarbeit), ob nicht die Schädigungen der Umwelt, Unfälle, Gesundheitsschäden, Verkürzung der Lebenszeit, und die entsprechenden „Reparaturmaßnahmen“ stärker zu berücksichtigen seien („grünes Bruttosozialprodukt“) oder ob nicht statt der rein materiellen Messung des Volkswohlstandes auch die Präferenzen der Bürger in Gestalt von Glücksindikatoren (happiness) eine Rolle spielen sollten. Von diesen alternativen Ansätzen soll hier abgesehen werden. Wachstum wird im Folgenden also stets im klassischen Sinn verstanden. Außerdem wird unter Output immer der Output des privaten Sektors verstanden. Im Prinzip wäre auch der Output des öffentlichen Sektors zu addieren. Dies ist jedoch schwierig, da öffentliche Dienstleistungen ganz überwiegend nicht auf Märkten gehandelt werden und sie deshalb schwierig (mit Preisen) zu bewerten sind.

Wachstum kann in einer Volkswirtschaft auf verschiedene Art und Weise entstehen – zum einen durch einen höheren Faktoreinsatz. Wenn also vereinfacht der Output Y einer Volkswirtschaft durch den Einsatz der beiden Produktionsfaktoren Kapital (K) und Arbeit (L) erzeugt wird:

$$Y = F(K, L),$$

dann kann eine Zunahme von Y im einfachsten Fall durch einen Mehreinsatz von K und/oder L zustande kommen. Y kann jedoch - zum anderen - auch dann zunehmen, wenn aus den Produktionsfaktoren bei gleichem mengenmäßigen Einsatz „mehr herausgeholt“ werden kann, z. B. aufgrund von technischem Fortschritt oder durch Kombination mit einem komplementären Faktor, wie Infrastruktur (G), der vom Staat bereitgestellt wird. K und L werden dann produktiver.

Grundsätzlich kann man drei Produktivitätseffekte von G unterscheiden (vgl. Pfähler et al., 1996):

(1) Direkter Grenzproduktivitätseffekt von G :

$$\frac{\partial Y}{\partial G} = F_G(K, L, G)$$

Der Grenzproduktivitätseffekt misst, um wie viel Einheiten sich das BIP erhöht, wenn das Infrastrukturkapital G um eine Einheit erhöht wird, also den Produktivitätseffekt einer Nettoinvestition von einer Einheit an G . Dabei werden alle anderen Produktionsfaktoren als konstant angenommen (Ceteris-Paribus-Annahme). Da der sich ergebende Wert von den verwendeten Maßeinheiten von Y und G abhängt, wird in empirischen Studien zumeist die Elastizität von Y bzgl. G verwendet, bei der alle Größen in Prozent angegeben werden:

$$\varepsilon_{YG} = Y_G \cdot \frac{G}{Y} = \frac{\partial Y}{\partial G} \frac{G}{Y}$$

ε_{YG} gibt also an, um wieviel Prozent sich das BIP erhöht, wenn sich G um 1 % erhöht. Diese Größe steht seit Aschauer im Mittelpunkt des Interesses.

(2) Effekte auf die partielle Produktivität der privaten Faktoren:

Der Grenzproduktivitätseffekt ist ein direkter Effekt. Es gibt jedoch auch indirekte Effekte einer Zusatzinvestition in Infrastrukturkapital. Dazu gehören Effekte auf die Produktivität der Faktoren im privaten Sektor, die dann im nächsten Schritt ihrerseits auf die gesamtwirtschaftliche Produktivität durchschlagen. Die Grenzproduktivität des Faktors Kapital wird mit $\frac{\partial Y}{\partial K}$ bezeichnet. Der Wert gibt an, wie viele Einheiten an volkswirtschaftlichem Output Y eine zusätzliche Einheit an Kapital K generiert. Dann kann der Effekt einer zusätzlichen Investition in G auf die Grenzproduktivität folgendermaßen errechnet werden:

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial Y}{\partial K} \right)}{\partial G} = F_{KG} (= F_{GK}).$$

Analog ergibt sich der Effekt auf die Grenzproduktivität des Faktors Arbeit.

Es ist nicht von vornherein klar, dass F_{KG} oder F_{LG} positiv sind, obwohl das meistens angenommen wird. Gilt $F_{KG}, F_{LG} > 0$, spricht man von (Grenzprodukts-) Komplementarität zwischen öffentlicher Infrastruktur und privatem Kapital (bzw. öffentlicher Infrastruktur und dem Faktor Arbeit), im anderen Fall von Substitutionalität. Es ist zu vermuten, dass in der Realität K und G Komplemente sind: Öffentliche Investitionen erhöhen die Grenzproduktivität des privaten Kapitals und rufen auf diese Weise private Kapitalbildung hervor. Bei L und G ist die Lage weniger klar. In mehreren der nachfolgend zu schildernden Studien werden diese Hypothesen ökonometrisch getestet. Dabei stellt sich zumeist heraus, dass privates und öffentliches Kapital in der Tat Komplemente sind. Bei Arbeit und öffentlichem Kapital hingegen liegt oft eine Substitutionsbeziehung vor. Die Komplementarität ist deshalb von Bedeutung, weil sie der These entspricht, dass öffentliches Infrastrukturkapital eine „Zündungsfunktion“ für private Investitionen hat. Seitz und Licht (1995) haben die Frage der Komplementarität im Jahr 1995 in einer Studie für die deutschen Bundesländer untersucht und dabei nennenswerte positive Kreuzelastizitäten gefunden.

Die gerade geschilderten Maße sind partielle Produktivitätsmaße: Es wird jeweils nur ein Faktor (K oder L) betrachtet. Es stellt sich deshalb folgende Frage: Kann man auch ein Produktivitätsmaß entwickeln, das gewissermaßen die Produktivität beider Faktoren gemeinsam abbildet? Die Antwort besteht in dem Maß der sogenannten Totalen Faktorproduktivität.

(3) Totale Faktorproduktivität (TFP)

Ausgangspunkt für die Definition der Totalen Faktorproduktivität ist wieder eine makroökonomische Produktionsfunktion der Form

$$Y = A(t) \cdot F(K(t), L(t), G(t)),$$

wobei t ein Zeitindex ist und $K(t)$, $L(t)$ und $G(t)$ für den Bestand von K, L, G zum Zeitpunkt t steht. $A(t)$ ist ein Indikator für die technische Produktivität dieser Faktoren. Steigt A , steigt auch Y , auch wenn K und L mengenmäßig konstant bleiben. In vielen Studien wird A als Funktion von G modelliert:

$$Y = A(G(t)) \cdot F(K(t), L(t), G(t)).$$

Es wird häufig angenommen, dass eine bessere Infrastrukturausstattung die Totale Faktorproduktivität $A(G(t))$ erhöht. Dies war der Kern der einleitend dargestellten Aschauer-Debatte: Inwiefern war eine schlechte Infrastrukturausstattung in den USA verantwortlich für die Verlangsamung des Produktivitätsanstiegs in den 1970er Jahren? Man beachte aber, dass eine Zunahme der Totalen Faktorproduktivität nicht notwendigerweise zu einer Zunahme der Beschäftigung führen muss, zumindest nicht kurzfristig. Bleibt der Output Y konstant, kann eine Zunahme der Produktivität des Faktors Arbeit sogar zu einer verringerten Nachfrage nach diesem Faktor führen. Langfristig schlägt sich die gestiegene Produkti-

vität jedoch in sinkenden Preisen und damit gesteigener Endnachfrage nieder. Aufgrund von Einkommenseffekten steigt auch die Arbeitsnachfrage in anderen Bereichen der Wirtschaft oder der Wirtschaft als Ganzes. Aus dem gleichen Grund muss Produktivitätswachstum kurzfristig nicht notwendigerweise zu einer Erhöhung des gesamtwirtschaftlichen Outputs führen.

Das einfachste Maß des Produktivitätseffektes von Infrastruktur ist der Grenzproduktivitätseffekt (1), der auch im Zentrum der meisten im Folgenden zu besprechenden empirischen Studien steht. Leider erfasst dieser jedoch nicht alle Effekte einer Infrastrukturinvestition. Es gibt, wie gesehen, zusätzliche Effekte, die indirekt über den Einfluss auf die Produktivität von K und L auf Y wirken. Sollen alle direkten und indirekten Effekte gleichzeitig eingefangen werden, wird der gesamte Produktivitätseffekt benötigt:

$$\frac{dY}{dG} = F_G + F_K \frac{dK}{dG} + F_L \frac{dL}{dG}.$$

Diesen Effekt kann man jedoch nur in Totalmodellen der gesamten Volkswirtschaft schätzen, wie sie etwa in Form von CGE-Modellen (Computable General Equilibrium; berechenbare Gleichgewichtsmodelle) zur Verfügung stehen. Die anderen bisher besprochenen Produktivitätsmaße können ohne ein solches Modell geschätzt werden und sind deshalb gebräuchlicher.

3. Modellierung des Zusammenhangs von Infrastrukturinvestitionen und Wirtschaftswachstum

Der überwiegende Teil makroökonomischer Studien über den Zusammenhang von Infrastrukturinvestitionen und Wirtschaftswachstum basiert auf der Schätzung einer makroökonomischen Produktions- bzw. Kostenfunktion oder, seit den späten 1990er Jahren, in zunehmendem Maße auf der Verwendung sogenannter vektorautoregressiver (VAR) Modelle. Daneben stehen zwei andere Ansätze. Zum einen gibt es eine Denkschule, die behauptet, dass die makroökonomischen Studien durch ihr hohes Aggregationsniveau wesentliche mikroökonomische Wirkungszusammenhänge „verschlucken“. Dies gilt insbesondere für den Netzcharakter wichtiger Infrastrukturen: Für die Wachstumswirkungen von Investitionen in Versorgungs- oder Verkehrsnetze kann es sehr darauf ankommen, in welchen Knoten bzw. auf welchen Kanten Ersatz- oder Erweiterungsinvestitionen vorgenommen (oder auch unterlassen) werden oder welchen Entwicklungsstand ein bestimmtes Netz schon erreicht hat. Bei Verkehrsnetzen spielt speziell auch noch der Begriff der Erreichbarkeit eine große Rolle. Für das Wachstum von Regionen kann es beispielsweise von entscheidender Bedeutung sein, ob durch eine Infrastrukturinvestition die Erreichbarkeit verbessert wird oder nicht. Eine zunehmende Zahl von Studien stellt deshalb diesen Begriff in den Vordergrund der Untersuchung.

Als eine Spielart dieser stärker mikroökonomisch-regionalökonomisch ausgerichteten Analysen werden hier auch solche Arbeiten eingeordnet, die einfache Regressionsanalysen

zwischen dem Niveau oder dem Wachstum der Wirtschaftsaktivität einer Region und der jeweiligen Infrastrukturausstattung oder der Erreichbarkeit betrachten. Diese Studien sind in Bezug auf wirtschaftspolitische Folgerungen schwer interpretierbar, da sie zumeist auf eine explizite Modellierung von Kausalketten verzichten. Ohne unterstellen zu wollen, dass Untersuchungen dieser Art in konkreten Einzelfällen nicht nützliche Erkenntnisse liefern können, wird auf Studien dieses Typs hier nicht näher eingegangen. (Wohl aber auf regionalökonomische Regressionsanalysen, die Kausalketten modellieren.)

Eine mikroökonomische Perspektive nimmt natürlich auch die Nutzen-Kosten-Analyse von Verkehrsprojekten ein, wie sie etwa im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung durchgeführt wird. Bei der Nutzen-Kosten-Analyse geht es indes weniger um Wachstums- und Produktivitätseffekte als um Wohlfahrtseffekte. Ferner stehen dabei nicht die ökonomischen Effekte von Investitionen in die Infrastruktur als Ganzes im Vordergrund, sondern die Wirkungen einzelner Projekte. Aus diesem Grund soll auch die Nutzen-Kosten-Analyse in dem nachfolgenden Überblick ausgeklammert werden.²

Schließlich sei noch eine weitere wichtige Denkschule erwähnt, die die Ansicht vertritt, dass sowohl die makro- als auch die mikroökonomischen Ansätze wesentliche Rückkopplungseffekte verschleiern und letztlich die falschen Erfolgsgrößen in den Mittelpunkt stellen. Während die makroökonomischen Ansätze zu hoch aggregiert seien, um die konkrete Wirkungsweise von Infrastrukturinvestitionen abzubilden, sei der mikroökonomische Ansatz wiederum zu partialanalytisch. Insbesondere sei es mit diesem Ansatz nicht möglich, Rückkopplungseffekte speziell der Finanzierung auf das Haushaltsverhalten und damit auf andere Sektoren und Märkte zu berücksichtigen. Diese Denkschule stellt deshalb sogenannte berechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodelle (CGE) in den Vordergrund ihrer Analysen.³ CGE-Modelle liefern im Grunde generalisierte Nutzen-Kosten-Analysen, die nicht nur partialanalytisch die Wohlfahrtswirkungen isolierter Projekte betrachten, sondern die Rückwirkungen innerhalb der Volkswirtschaft insgesamt in Rechnung stellen. Sie nehmen also anstatt einer partialanalytischen eine totalanalytische Perspektive ein. Beurteilungsmaßstab sind ferner nicht die, zumeist in der politischen Diskussion im Vordergrund stehenden Erfolgsindikatoren, wie Wachstum, Produktivität oder Beschäftigung, sondern der aggregierte Nutzen der in der jeweiligen Volkswirtschaft vertretenen Haushalte. Im Gegensatz zu allen nachfolgend zu besprechenden Schätzungen ergibt sich die volkswirtschaftliche Rentabilität von Verkehrsinvestitionen demzufolge nicht aus dem Verhältnis von zusätzlichem BIP zu erbrachter Investition, sondern aus dem Verhältnis von zusätzlicher Wohlfahrt zu eingesetzter Investition. Insofern spielen hier die Präferenzen der betroffenen Bürger eine viel größere Rolle als in den nachfolgenden Ansätzen. In einem CGE-Modell wird nachgezeichnet, wie die Transportkostensenkungen, die durch Verkehrsinvestitionen möglich werden, sich in Preis- und Mengenänderungen in der jeweiligen Wirtschaft als Ganzes umsetzen und sich damit letztlich auch in Einkommens- und Nutzenveränderungen

² Vgl. dazu aber Lakshmanan (2011) und Bertenrath et al. (2006). In letzterem wird auch genauer auf die Bundesverkehrswegeplanung eingegangen.

³ Eine nähere Erklärung des grundsätzlichen Ansatzes der CGE-Modelle geben Lakshmanan und Anderson (2002). Eine theoretisch eingehende Übersicht geben Bröcker und Mercenier (2011).

der privaten Haushalte widerspiegeln. Die Summe dieser Nutzenveränderung, umgesetzt in einen monetären Index, wie etwa die kompensatorische oder äquivalente Variation, ist letztlich der relevante Bewertungsmaßstab. Dies ist zwar auch bei der traditionellen Nutzen-Kosten-Analyse der Fall, liefert dort aber nur unter ganz speziellen Voraussetzungen, insbesondere der Annahme der vollständigen Konkurrenz auf allen übrigen Märkten der Volkswirtschaft, korrekte Werte. Die Stärke der CGE-Modelle besteht darin, auch Marktunvollkommenheiten in einem Totalmodell abbilden zu können.

Als konkretes Beispiel einer CGE gestützten Analyse sei die Studie von Bröcker et al. (2010) genannt, in der die 22 prioritären Projekte des TENT-T Programms der EU einer Prüfung unterzogen wurden. Die entscheidende Frage war, ob diese Projekte genügend grenzüberschreitende Wohlfahrtseffekte (Spillover-Effekte) auslösen, um eine Involvierung der EU zu rechtfertigen. Die Analyse zeigt, dass dies nur bei 12 Projekten der Fall ist. Aufgrund der analytischen Komplexität der CGE-Modelle ist die Anzahl solcher Studien allerdings bisher überschaubar und soll deshalb im nachfolgenden Literaturüberblick auch nicht weiter berücksichtigt werden. Wichtig war hier vor allem, den Ansatz darzustellen, der sich von den nachfolgend zu schildernden Ansätzen unterscheidet; nicht zuletzt darin, dass er Wohlfahrtseffekte in den Vordergrund stellt und nicht das makro- oder regionalökonomische Outputwachstum.

Mit der Verwendung von CGE-Modellen kommt man der Erfassung jener volkswirtschaftlichen Effekte von Verkehrsinvestitionen näher, die im 1999er Report des von der englischen Regierung eingesetzten SACTRA-Komitees als „Wider Economic Benefits“ bezeichnet werden. Das SACTRA-Komitee weist darauf hin, dass aufgrund von unvollständigem Wettbewerb, der Existenz von Externalitäten (wie etwa Verkehrsstaus) oder von Subventionen und Steuern die herkömmlichen Nutzen-Kosten-Analysen wichtige volkswirtschaftliche Wirkungen falsch einschätzen können. Sind beispielsweise die örtlichen Preise aufgrund von lokalen Monopolstellungen zu hoch, kann eine Verbesserung der Verkehrsanbindung zu mehr Wettbewerb und damit zu einem Wohlfahrtsgewinn führen. Werden, um ein weiteres Beispiel zu nennen, durch eine Maßnahme bereits bestehende positive Externalitäten noch verstärkt (z.B. Wissens-Spill-Overs), entstehen ökonomische Vorteile, die in den herkömmlichen Kosten-Nutzen-Analysen nicht berücksichtigt werden.⁴

Das SACTRA-Komitee identifiziert insgesamt acht Konstellationen, in denen derartige Vorteile entstehen können. Auf diese Weise können volkswirtschaftliche Wohlfahrtsgewinne zustande kommen, die in den tradierten Nutzen-Kosten-Analysen nicht enthalten sind – der Grund für die Bezeichnung als „Wider Economic Benefits“.

4. Die Aschauer-Debatte

Die sogenannte Aschauer-Debatte beschäftigt sich mit dem Einfluss von Infrastrukturinvestitionen auf volkswirtschaftliches Output- und Produktivitätswachstum. Wie im vorange-

⁴ Ein entsprechendes Modell entwickelt Bröcker (2013).

gangenen Abschnitt gesagt, rufen Investitionen in die Transportinfrastruktur neben Output- und Produktivitätswirkungen noch andere wichtige volkswirtschaftliche Effekte hervor. Investitionen in Verkehrsinfrastruktur senken die (generalisierten) Transportkosten und bauen damit physische Barrieren des Austausches von Gütern über lange Entfernungen ab. Dies ruft die bekannten ökonomischen Wirkungen der Marktintegration hervor, wie bessere Ausschöpfung von Skalenerträgen und Spezialisierungsvorteilen, Reduktion von Monopol- und Oligopolstellungen u. ä. Diese Effekte standen jedoch in der Aschauer-Debatte nicht im Vordergrund und sollen deshalb an dieser Stelle nicht explizit behandelt werden. Im Zentrum steht vielmehr der Gesichtspunkt, dass Verkehrsinfrastruktur als polyvalenter öffentlicher Input die Produktivität der Inputs im privaten Bereich steigert und damit auch die gesamtwirtschaftliche Produktivität. Es verdient hier vielleicht nochmal wiederholt zu werden, dass derartige Produktivitätseffekte nicht unbedingt mit Wachstumseffekten gleichzusetzen sind. Bei kurzfristiger Unterbeschäftigung muss eine Steigerung der Produktivität nicht unbedingt zu einer Steigerung des Outputs führen. Der gleiche Output kann nunmehr mit weniger Arbeitskräften erzeugt werden. Insofern müssen auch zusätzliche Infrastrukturinvestitionen (kurzfristig) nicht notwendigerweise zu einer Zunahme der Beschäftigung führen (wenn man von den Beschäftigungseffekten in der Bauphase absieht). Aufgrund der Orientierung an der langen Frist werden Wachstums- und Produktivitätseffekte jedoch im Folgenden synonym verwendet.

Es gibt zahlreiche umfassende Literaturüberblicke zur Aschauer-Debatte, die den Stand etwa bis zum Jahr 2007 abbilden. Herausgehoben seien: Romp und de Haan (2005, 2007), Afraz et al. (2006), Bertenrath et al. (2006) sowie der Artikel von Lakshmanan (2011), der speziell auf die Rolle der Verkehrsinfrastruktur eingeht. (Die anderen Überblicke haben stets die *gesamte* volkswirtschaftliche Infrastruktur im Blick.) Außerdem ist jüngst eine Meta-Analyse aller einschlägigen empirischen Studien erschienen, soweit sie sich auf den Produktionsfunktionsansatz beziehen (Melo et al., 2013). Eine frühere Meta-Analyse stammt von Bom und Lighthart (2008). Alle genannten Arbeiten enthalten tabellarische Übersichten der numerischen Ergebnisse. Die zugrundeliegenden Methoden, Untersuchungsgebiete und Arten des untersuchten öffentlichen Kapitalstocks werden etwas ausführlicher kommentiert in Afraz et al. (2006) und in Romp und De Haan (2007).

Die folgenden Abschnitte konzentrieren sich auf die Darstellung und Diskussion der methodischen Aspekte der Studien und wählen einige davon aus, die

- speziell für die Verkehrsinfrastruktur besonders relevant erscheinen,
- die als methodisch von besonderer Wichtigkeit und Zuverlässigkeit eingeschätzt werden, oder
- die besonders geeignet erscheinen, die Probleme der verwendeten Schätzansätze zu verdeutlichen.

Abschließend werden auch neuere Entwicklungen diskutiert, die in starkem Maße auf dem Erreichbarkeitsbegriff aufbauen und methodisch von der Data Envelopment Analysis (DEA) oder der Stochastic Frontier Analysis (SFA) Gebrauch machen. Zur Sprache kommt ferner als Beispiel für ein systemdynamisches Modell auch das ASTRA-Modell von Rothengatter.

4.1 Der Produktionsfunktionsansatz

Ausgangspunkt der Debatte um die Produktivitäts- und Wachstumswirkungen von Infrastrukturinvestitionen war, wie einleitend erwähnt, die Pionierarbeit von Aschauer (1989a). Da alle anderen Studien auf dieser Arbeit aufbauen oder auf sie zumindest Bezug nehmen, soll ihr Ansatz in Grundzügen kurz dargestellt werden.

Ausgangspunkt der Überlegungen ist eine makroökonomische Produktionsfunktion der Form:

$$Y(t) = A(t) \cdot F(K(t), L(t), G(t)),$$

wobei die Symbole t für einen Zeitindex, $K(t)$ für den privaten Kapitalstock, $L(t)$ für den Faktor Arbeit, $G(t)$ für das Infrastrukturkapital und $A(t)$ für ein Produktivitätsmaß oder Maß für den technischen Fortschritt stehen. Produktionsfunktionen dieser Art werden in vielen makroökonomischen Arbeiten verwendet, allerdings zumeist ohne Einbeziehung der Variable G . Die Einbeziehung von G wirft jedoch mehrere nichttriviale Probleme auf, die für die Beurteilung der Aussagekraft der Wachstums- und Produktivitätsstudien von großer Bedeutung sind.

So ist es zunächst einmal erforderlich, den vorhandenen Bestand an Infrastruktur G institutionell sinnvoll abzugrenzen. Aschauer nimmt hier einen pragmatischen Standpunkt ein und definiert Infrastruktur als die Summe aller im öffentlichen Besitz befindlichen Kapitalgüter (unter Ausschluss des Militärs). Die meisten späteren Studien gehen ähnlich vor. Damit fällt aber der gesamte Infrastrukturbestand, der sich in privater Hoheit befindet, aus der Untersuchung heraus. Unterstellt man das üblicherweise angenommene Gesetz der abnehmenden Ertragszuwächse auch für Infrastrukturkapital, könnte schon aus diesem Grund die volkswirtschaftliche Rendite einer zusätzlichen Investition in Infrastruktur in Untersuchungen dieses Typs überschätzt werden.

Ein weiteres Problem der Einbeziehung von G in eine Produktionsfunktion des obigen Typs ist die Schwierigkeit, G ökonomisch sinnvoll zu messen. Wie aus der Kapitaltheorie bekannt, ist dies auch für einen privaten Kapitalstock eine große Schwierigkeit. Eine auf physischen Einheiten beruhende Messgröße ist nur unter ganz bestimmten theoretischen Voraussetzungen ökonomisch sinnvoll, da hier das Problem der Summierung von „Äpfeln und Birnen“ vorliegt. Dennoch verwenden einige sektorspezifische Studien Maßzahlen wie etwa die Anzahl der Telefonanschlüsse in einem Land (für die Telekommunikation) oder die Anzahl befestigter Straßenkilometer (im Verkehr). Für weniger disaggregierte Studien,

die z. B. nicht nur die Straßeninfrastruktur, sondern die Verkehrsinfrastruktur als Ganzes im Blick haben, scheinen jedoch solche Maßzahlen weniger geeignet.

Der naheliegende Ausweg, zur Messung von G Geldgrößen zu verwenden, wird zwar in den meisten Studien beschränkt, ist aber ebenfalls nicht unproblematisch, da eine korrekte Bestimmung des volkswirtschaftlichen Wertes von G eine Einigung darüber voraussetzt, was mithilfe von Verkehrsinfrastruktur eigentlich produziert wird. Der ökonomisch sinnvolle Wert von G wäre aus theoretischer Sicht der Barwert aller mithilfe von G erzeugten volkswirtschaftlichen Erträge (Ertragswertmethode). Dies aber wirft die schwer zu beantwortende Frage auf, welche „Dienste“ der Infrastruktur diesen volkswirtschaftlichen Erträgen zugrundeliegen und wie sie gemessen werden können. Es handelt sich um mehr als nur die Anzahl der bewegten Pkw oder Lkw bzw. der generierten Personen- oder Tonnenkilometer. Investitionen in Verkehrsinfrastruktur erzeugen sowohl Zeitersparnisse, eine verbesserte Erreichbarkeit, ein höheres Maß an Verkehrssicherheit, eine Verbesserung (oder Verschlechterung) der Umweltqualität, und anderes mehr. Diese Outputs der Verkehrsinfrastruktur sind im Allgemeinen analytisch schwer zu greifen.

Selbst wenn aber der Output von G klar zu definieren wäre, bliebe immer noch das Problem der monetären Bewertung. Im Allgemeinen werden die Dienste von Infrastrukturgütern nicht am Markt gehandelt. Zwar entschließt sich die Politik neuerdings in stärkerem Maße zur Erhebung von Infrastrukturnutzungsgebühren (z. B. Mauten, Trassenpreise, Start- und Landegebühren), in der überwiegenden Zahl der Fälle kommt das Preisinstrument aber noch nicht zum Einsatz. Auch die Infrastrukturgüter selbst werden nicht auf Märkten gehandelt. Dies hat zwei Konsequenzen: Zum einen gibt es keinen volkswirtschaftlich korrekten Wert für G , da ein solcher aus dem Wert der Infrastrukturdienste folgen würde. Zum anderen ist die klassische Grenzprodukttheorie nicht anwendbar, da es kein klar definiertes Grenzprodukt von G gibt (vgl. Romp und de Haan, 2005). Damit wird aber auch die Bestimmung der volkswirtschaftlichen Erträge einer Verkehrsinfrastrukturinvestition schwierig, bzw. es wird schwierig, die auf der Basis des Produktionsfunktionsansatzes erzielten Ergebnisse sinnvoll zu interpretieren. Einige Autoren halten diesen Einwand für so gravierend, dass sie die Verwendung einer Produktionsfunktion in dieser Art von Studien rundheraus ablehnen und anderen Ansätzen, wie etwa dem Kostenfunktionsansatz, den Vorzug geben.

Der pragmatische Ausweg aus diesen Schwierigkeiten des Produktionsfunktionsansatzes, der in den meisten Studien auch eingeschlagen wird, besteht darin, die genannten Probleme zu ignorieren und sich für G an den üblichen Aggregaten der VGR zu orientieren, also an der volkswirtschaftlichen Anlagevermögensrechnung, wie sie speziell im Verkehr für Deutschland etwa mithilfe des Perpetual Inventory Konzepts des DIW (LINK et al. 1999) oder der Synthetischen Methode von Prograns/TWW (2007) durchgeführt wird. Auch diese Verfahren sind jedoch nicht frei von Problemen. Das Perpetual Inventory Concept beispielsweise muss einerseits Annahmen über Lebensdauern und Abschreibungen treffen, die sich von Infrastruktur zu Infrastruktur stark unterscheiden können, andererseits fußt es auf einem Ausgangskapitalstock, der historisch teilweise weit zurückliegt und mithilfe langer

Zeitreihen von Zu- und Abgängen fortgeschrieben werden muss. Je weiter sich das Perpetual Inventory in die Vergangenheit erstreckt, desto unsicherer werden die ermittelten Werte des Anlagevermögens. Im Gegensatz dazu basiert die Synthetische Methode zwar auf einer aktuellen Bestandsaufnahme des Infrastrukturkapitalstocks, muss aber bei der Bewertung der Vermögensgegenstände teilweise von unsicheren Schätzungen oder stark fluktuierenden Preisen Gebrauch machen.

Aschauer bediente sich der offiziellen Statistik und nahm zusätzlich für die obige Produktionsfunktion F die verallgemeinerte Cobb-Douglas-Form an:

$$Y = AK^\alpha L^\beta G^\gamma.$$

Logarithmiert wird dies zu:

$$\ln Y = \ln A + \alpha \ln K + \beta \ln L + \gamma \ln G,$$

bzw.

$$y = a + \alpha k + \beta l + \gamma g.$$

Unter Hinzufügung eines stochastischen Störterms ε ergibt sich damit die lineare Schätzgleichung:

$$y_t = a + \alpha k_t + \beta l_t + \gamma g_t + \varepsilon_t.$$

Spätere Nachfolgestudien verwenden Paneldaten, sodass jede Variable in dieser Schätzgleichung noch einen zusätzlichen Index i erhält:

$$y_{it} = a_i + \alpha k_{it} + \beta l_{it} + \gamma g_{it} + \varepsilon_{it}.$$

Der Index i bezieht sich hier auf die i -te Beobachtungseinheit (z. B. Land Nr. i , Region Nr. i oder Sektor Nr. i) und t ist wiederum ein Zeitindex. In späteren Studien wird die Schätzgleichung zum Teil noch um andere Variablen erweitert, z. B. einen Index der Kapazitätsauslastung (um konjunkturelle Schwankungen zu berücksichtigen). a_i bezeichnet einen für die Beobachtungseinheit Nr. i spezifischen, zeitlich invarianten Effekt.

Die Beliebtheit der Cobb-Douglas-Spezifikation rührt nicht zuletzt daher, dass der Parameter γ direkt als Outputelastizität des Infrastrukturkapitals interpretiert werden kann. Mit anderen Worten: Eine einprozentige Zunahme des Infrastrukturkapitalstocks in einer Periode steigert den volkswirtschaftlichen Output um γ Prozent. Der mathematische Ausdruck dieser Elastizität ist:

$$\gamma = \frac{\partial Y}{\partial G} \cdot \frac{G}{Y}.$$

Hierbei ist $\frac{\partial Y}{\partial G}$ die Grenzproduktivität des öffentlichen Kapitals. Einige Studien verwenden deshalb auch diese Größe als Maß der Rentabilität für eine zusätzliche Investition in Infrastrukturkapital.

Man kann nun zusätzliche Forderungen an die Parameter α , β und γ stellen. Häufig wird angenommen, dass der Teil der Produktionsfunktion, der den „privaten Teil“ der obigen Produktionsfunktion beschreibt (K, L), konstante Skalenerträge aufweist ($\alpha + \beta = 1$), durch das Hinzufügen der öffentlichen Infrastruktur aber zunehmende makroökonomische Skalenerträge entstehen ($\alpha + \beta + \gamma > 1$). Man könnte dies so interpretieren, dass die Unternehmen im privaten Sektor im Durchschnitt mit der optimalen Betriebsgröße produzieren, der Staat aber durch die Bereitstellung öffentlicher Inputs (der Infrastruktur), makroökonomisch gesehen, positive Skalenerträge auslöst. Eine andere Annahme ist die Kombination $\alpha + \beta < 1$ und $\alpha + \beta + \gamma = 1$. Dieser Fall könnte etwa bei Überlastung der privaten Produktionsfaktoren auftreten, darunter der privaten Infrastruktur. Dadurch, dass der Staat die Infrastruktur G bereitstellt, werden makroökonomisch konstante Größenvorteile möglich. Man kann ökonometrisch testen, welche der beiden Annahmen über die Parameter α , β und γ für eine bestimmte Ökonomie konkret vorliegt.

Aschauer fand ein γ zwischen 0,38 und 0,56 für die Infrastruktur als Ganzes. Mit anderen Worten, eine Zunahme der Infrastrukturinvestitionen um 1 % bewirkt einen Zuwachs des BIP um 0,38 % bis 0,56 %. Damit war die These erhärtet, dass der Rückgang der Infrastrukturausgaben im Zeitraum der Jahre 1949 bis 1985 in den USA einen hohen Anteil der Abschwächung des Produktivitätswachstums erklären konnte. Den größten Einfluss hatte dabei der von ihm als „Kerninfrastruktur“ bezeichnete Bereich, also Verkehrs- und Telekommunikationsinfrastruktur, Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung.⁵ Gramlich (1994) kritisiert in seiner Darstellung der Aschauer-Debatte, dass die von Aschauer gefundenen Werte eine unplausibel hohe Verzinsung des öffentlichen Kapitals implizieren. Verwende man die obige Elastizitätsformel für γ und setze aus der damaligen Statistik Werte für G und Y ein und unterstelle ferner den von Aschauer geschätzten oberen Wert $\gamma = 0,56$, so ergäben sich für das Grenzprodukt des öffentlichen Kapitalstocks, $\frac{\partial Y}{\partial G}$, Werte von über 100 %.⁶ Dies hätte die üblicherweise akzeptierten volkswirtschaftlichen Renditen des privaten Kapitals erheblich übertroffen und hätte auf einen massiven Investitionsbedarf im öffentlichen Sektor hingedeutet (Bom und Lighthart, 2008).

Diese Größenordnung der Schätzung Aschauers wurde in nachfolgenden Studien signifikant reduziert. Heute werden die Produktivitätselastizitäten in der EU eher in der Größenordnung von 0,1 bis 0,2 angesiedelt, für die Verkehrsinfrastruktur liegen sie im Durchschnitt noch deutlich darunter, nämlich durchschnittlich bei 0,05 bis 0,06.⁷ Bevor darauf

⁵ Dieser Begriff von Kerninfrastruktur weicht von dem in diesem Gutachten bereits erwähnten Begriff der Kerninfrastruktur ab. Er umfasst insbesondere nicht den Bereich der Bildung.

⁶ Gramlich (1994) setzt den Bruch G/Y für den von Aschauer betrachteten Zeitraum zwischen 0,4 und 0,5 an.

⁷ Für die öffentliche Infrastruktur als Ganzes siehe Afraz et al. (2006), für den Verkehr Melo et al. (2013). Bom und Lighthart (2008) geben in ihrer Metaanalyse einen leicht höheren Wert von 0,08 an.

näher eingegangen wird, soll die Kritik am vorgestellten Vorgehen dargestellt werden, wodurch auch die generelle Problematik dieser Art von Studien deutlich wird: Der wichtigste Kritikpunkt ist der, dass Ein-Gleichungs-Schätzungen dieser Art per definitionem kein vollständig spezifiziertes Modell der Volkswirtschaft enthalten. Als Folge bleiben notwendigerweise wichtige Kausalitäts- und Wechselwirkungen unberücksichtigt. Ein Beispiel bildet der Crowding-Out-Effekt, demzufolge öffentliche Investitionen private Investitionen verdrängen können. Crowding-Out entsteht u. a. durch die Erhöhung des Zinsniveaus, die durch die Kreditnachfrage der öffentlichen Hand hervorgerufen wird. Selbst wenn also Verkehrsinvestitionen positive Produktivitätseffekte haben, könnte der Crowding-Out-Effekt diesen Effekt wieder verringern oder sogar kompensieren. Weiterhin wird in den meisten Studien die Finanzierung, also die volkswirtschaftlichen Kosten der zusätzlichen Infrastrukturinvestitionen, vernachlässigt.

Besondere methodische Schwierigkeiten schafft das Problem der zweiseitigen oder umgekehrten Kausalität (reverse causality). Ist die Produktivität hoch, weil die Infrastrukturinvestitionen hoch sind, oder umgekehrt, sind die Infrastrukturinvestitionen hoch, weil Produktivität und Wachstum hoch sind? Infrastruktur mag Produktivitätseffekte haben, sie wird jedoch in hohem Maße aus Steuern finanziert, die ihrerseits aus den Einkommen der Bevölkerung stammen und damit wieder vom volkswirtschaftlichen Output abhängen. Wird die Möglichkeit dieser zweiseitigen Kausalität vernachlässigt, droht eine Überschätzung der Wachstums- und Produktivitätseffekte von Infrastrukturinvestitionen. Intuitiv gesprochen, würde zweiseitige Kausalität ja bedeuten, dass man statt nur einer Gleichung, welche die eine Kausalitätsrichtung abbildet, noch eine zweite Gleichung schätzen müsste, die die andere Kausalitätsrichtung beschreibt und damit den Effekt der ersten Gleichung quasi um den gegenläufigen Effekt korrigiert.

Im Allgemeinen wird üblicherweise versucht, Kausalitätsprobleme dieser Art ökonometrisch durch die Verwendung eines simultanen Gleichungsmodells und/oder der Verwendung von Instrumentalvariablen zu lösen (Thomas, 1997). Die Verwendung eines simultanen Gleichgewichtsmodells bedeutet, dass der reinen Produktionsfunktion mindestens eine weitere Gleichung hinzugefügt wird, die die Bestimmungsfaktoren der Infrastrukturinvestitionen näher beschreibt. Auf diese Weise erhält das zu schätzende Modell „mehr Struktur“. In der Nachfolge der ersten Aschauer-Studie hat sich gezeigt, dass diese Vorgehensweise die geschätzten Produktivitätseffekte im Fall der USA tatsächlich deutlich verringert (Charlotte und Schmitt, 1999).

Andere Möglichkeiten das Kausalitätsproblem zu lösen, bestehen in der Verwendung geeigneter, auf den Spezialfall zugeschnittener, inhaltlicher Tests. Ein gutes Beispiel dafür, speziell im Verkehrssektor, findet sich in einer Studie des US-amerikanischen Fernstraßensystems zwischen 1953 und 1989 (Fernald, 1999). Wenn Daten für genügend Sektoren vorliegen, kann verglichen werden, ob Verkehrsinfrastrukturinvestitionen in besonders transportintensiven Branchen einen höheren Produktivitätseffekt haben als in weniger transportintensiven. Sollte dies zutreffen, wäre dies ein Indiz dafür, dass die Kausalität überwiegend von der Verkehrsinfrastruktur zum Output läuft anstatt umgekehrt. Fernald

(1999) misst die Transportintensität einer Branche (in Bezug auf Straßennutzung) anhand der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge und bestätigt die aufgestellte Testhypothese. Seine numerischen Werte der Produktivitätseffekte öffentlicher Verkehrsinfrastruktur sind für das Straßennetz der USA nach 1973 jedoch nur noch sehr gering.

Werden Produktivitätswirkungen in einzelnen Branchen untersucht (z.B. in verkehrsaffinen Industrien statt in der Volkswirtschaft als Ganzes), kann argumentiert werden, dass auch aus politökonomischen Gründen die Kausalität eher von der Infrastruktur zu den Produktivitätseffekten läuft als umgekehrt (Cohen und Morrison, 2003).⁸ Das ökonomische Gewicht einzelner Branchen sei zu gering, so das Argument, um politische Entscheidungen für oder gegen einen Infrastrukturausbau auszulösen. Dieses Argument ist jedoch mit Vorsicht zu betrachten. Es könnte sein, dass kleine, gut organisierte Gruppen ihre Interessen effektiver und erfolgreicher durchsetzen können als große Gruppen, die eventuell nur zu sehr hohen Transaktionskosten in eine einheitliche Richtung organisiert werden können.

In den Arbeiten von Kemmerling und Stephan (2002, 2008) sowie Cadot et al. (1999) beispielsweise gibt es in der Tat politökonomische Einflüsse, die einen Zusammenhang zwischen Infrastrukturinvestitionen und Lobbying herstellen. Im Fall der Studie von Cadot et al. (1999) handelt es sich um das Lobbying französischer Regionen. Interessanterweise zeigt sich aber in diesem Fall, dass die Einbeziehung der politischen Einflussnahme die Ergebnisse einer einfachen Produktionsfunktionsschätzung mithilfe einer Kleinste-Quadrate-Schätzung (KQ) kaum verändert. Beide Schätzungen führen zu einem Wert für γ von rund 0,10. Kemmerling und Stephan (2002) berücksichtigen in einer Studie für 87 deutsche Städte mit Daten aus den 1980er Jahren ebenfalls politisches Lobbying. Sie erhalten eine Outputelastizität von 0,17.

Weitere Kritikpunkte am Produktionsfunktionsansatz beziehen sich auf die verwendete Cobb-Douglas-Spezifikation der Produktionsfunktion und auf ökonometrische Probleme. Hinsichtlich der Cobb-Douglas-Spezifikation ist zu bemerken, dass sie einerseits eine Substitutionselastizität von eins zwischen allen Inputfaktoren beinhaltet (Henderson und Quandt, 1971). Daraus lässt sich bereits rein mathematisch ableiten, dass eine Zunahme des öffentlichen Infrastrukturkapitalstocks die Grenzprodukte der beiden privaten Inputs, Kapital und Arbeit, erhöht (Afraz et al., 2006). Dies sollte jedoch nicht vorausgesetzt werden, sondern sich erst empirisch als Resultat der Schätzung ergeben. Zudem impliziert die Annahme der Cobb-Douglas-Form eine konstante Outputelastizität (γ), unabhängig vom bereits erreichten Outputniveau. Bei Schätzungen auf der Grundlage von Paneldaten bedeutet dies, dass strukturell sehr verschiedenartigen Ländern oder Regionen durch die Cobb-Douglas-Spezifikation das gleiche γ gewissermaßen „aufgezwungen“ wird.

Einige Studien ersetzen die Cobb-Douglas-Spezifikation deshalb durch flexiblere funktionale Formen, wie etwa die Translog-Funktion, die als eine Taylor-Approximation an die

⁸ Die Arbeit von Cohen und Morrison (2003) stellt eine Kostenfunktion, keine Produktionsfunktion, in den Mittelpunkt. Dieser Aspekt ist aber für das hier vorgetragene Argument nicht von Bedeutung.

wahre Produktionsfunktion aufgefasst werden kann.⁹ Die Translog-Funktion erfordert aber einerseits einen hohen Datenumfang, weil sie sehr viele Freiheitsgrade verbraucht; andererseits kämpfen Schätzungen, die sie verwenden, mit starken Multikollinearitätsproblemen, da sie neben den Schätzvariablen selber auch deren Produkte und Quadrate enthält.

Weitere ökonometrische Probleme ergeben sich, wenn die Schätzungen der Produktionsfunktion mithilfe von Zeitreihen durchgeführt werden und wenn einige der zu schätzenden Variablen statistisch „nichtstationär“ sind.¹⁰ Grob gesprochen handelt es sich bei nichtstationären Variablen um solche, die einem langfristigen Trend unterliegen. In diesem Fall kann eine naive Verwendung der üblichen ökonometrischen Schätzverfahren zu einer Scheinkorrelation (spurious correlation) zwischen den Variablen führen. Um dieses Problem zu umgehen, nutzen neuere Studien üblicherweise eine Schätzung in ersten Differenzen der Variablen. Viele nichtstationäre Variablen können durch diese Transformation in stationäre Variablen transformiert werden. So zeigt etwa das BIP in den meisten Industrieländern einen mehr oder weniger stetigen Aufwärtstrend, nicht jedoch die jährlichen Veränderungsrate. Wird in unserem Fall die Produktivitätsschätzung in ersten Differenzen durchgeführt, zeigt sich, dass in der Tat der Koeffizient γ drastisch sinkt. In einer frühen Arbeit von Tatom (1991) beispielsweise, die als Kritik der ersten Aschauer-Studie gedacht war, sinkt γ vom Wert 0,27 in einer Schätzung nach der Art von Aschauer auf einen Wert von 0,04, der zudem statistisch nicht signifikant ist. Tatom (1991) lehnt deshalb die Hypothese ab, dass Infrastrukturinvestitionen einen Effekt auf den volkswirtschaftlichen Output hätten. Andere Untersuchungen nach ihm haben dieses Nullergebnis nicht unbedingt bestätigt, kommen aber zu ähnlich niedrigen Größenordnungen. Sturm und de Haan (1995) konnten zeigen, dass eine Schätzung der Produktionsfunktion mit amerikanischen Daten nennenswerte Wachstumseffekte aufweist, dass aber beim Übergang zu ersten Differenzen kein statistisch signifikanter Wert mehr nachweisbar ist. Allerdings ist die Schätzung in ersten Differenzen nicht unumstritten. Es ist nämlich möglich, dass der damit geschätzte Variablenzusammenhang lediglich für die kurze Frist zutreffend ist, aber wenig über den langfristigen funktionalen Zusammenhang der absoluten Niveaus der betrachteten Variablen aussagt (Thomas, 1997). Dies ist aber gerade das hier interessierende Thema.

Ein weiteres bekanntes ökonometrisches Problem entsteht, wenn in der Schätzgleichung wesentliche Variablen nicht berücksichtigt werden (Fehlspezifikation, bzw. „omitted variable bias“). Tatom (1991) hat diesen Vorwurf gegenüber Aschauers erster Studie schon sehr früh erhoben und die Ansicht vertreten, dass eine Variable für die Energiekosten in die Schätzung aufgenommen werden sollte. Dabei übersah er allerdings, dass Preise eher in Kostenfunktionen gehören, nicht jedoch in eine Produktionsfunktion (Gramlich, 1994). Für weitere Einzelheiten zum Problem der Fehlspezifikation der Schätzgleichung und zu weiteren ökonometrischen Problemen, die bei der Schätzung einer makroökonomischen Produk-

⁹ Die Translog-Funktion verwenden z. B. Canning und Benathan (2000), Charlot und Schmitt (1999), Albaladejo und Mamatzakis (2004) sowie Everaert und Heylen (2004). Weitere Quellen finden sich in Compete (2006).

¹⁰ Für eine ausführliche Darstellung, siehe Tatom (1991). Zur Definition und Problematik nichtstationärer Zeitreihen, siehe z. B. Thomas (1997) oder jedes andere gute Lehrbuch der Ökonometrie.

tionsfunktion typischerweise auftauchen, sei auf die eingangs zitierten Übersichten von Romp und de Haan (2005) und Afraz et al. (2006) verwiesen.

Ein interessantes Schlaglicht auf die bisher besprochenen Studien werfen aus einem anderen Blickwinkel Arbeiten, die statt einer traditionellen deterministischen Produktionsfunktion die Schätzung einer stochastischen Produktionsgrenze (Stochastic Frontier) in den Mittelpunkt stellen, sogenannte SFA-Ansätze (Delorme et al., 1999). Der neue Aspekt dieser Ansätze liegt grob gesprochen in Folgendem: Die bisher besprochenen Arbeiten schätzen gewissermaßen eine durchschnittliche Produktionsfunktion auf Basis der beobachteten Variablenwerte. Dabei wird, wie in der mikroökonomischen Theorie üblich, die Abwesenheit von technischer Ineffizienz unterstellt. Der Stochastic-Frontier-Ansatz hingegen lässt die Möglichkeit von technischer Ineffizienz zu und bestimmt aus den Daten ökonometrisch die „best practice“ Produktionsfunktion. Daraus leitet der Ansatz etwaige Effizienzdefizite ab, die möglicherweise durch einen höheren Einsatz an öffentlicher Infrastruktur behoben werden könnten. Mit anderen Worten, der *potentielle* (anstatt des tatsächlichen) Output einer Volkswirtschaft oder einer Region könnte durch eine Verbesserung der öffentlichen Infrastruktur gesteigert werden. Dieser Aspekt ist hier insofern von Bedeutung, als dieser Zusammenhang möglicherweise in den empirischen Schätzungen zu einer Überschätzung des Einflusses der öffentlichen Infrastruktur auf das Outputwachstum führen könnte. Wenn der öffentliche Kapitalstock die technische Ineffizienz verringert, diese Verringerung aber den volkswirtschaftlichen Output erhöht, dann hat die Ausblendung der technischen Ineffizienz den Effekt, dass in den bisherigen Schätzergebnissen der Einfluss der öffentlichen Infrastruktur überschätzt wird (Delorme et al., 1999). Zur Vermeidung dieser Überschätzung sollte nach Meinung der den SFA-Ansatz vertretenden Autoren in den Produktionsfunktionsschätzungen explizit eine Variable für die technische (In-)Effizienz berücksichtigt werden. Dies gilt zumindest kurzfristig. Im langfristigen Gleichgewicht sollten Ineffizienzen abgebaut und deshalb beide Ansätze äquivalent sein (Bom und Ligthart, 2008). Eine Berücksichtigung der technischen Ineffizienz stellt jedoch einen Bruch mit der herkömmlichen mikroökonomischen Theorie dar, in der bereits bei der Aufstellung der Produktionsfunktion Effizienz vorausgesetzt wird. Die SFA wird häufig zusammen mit der sogenannten DEA behandelt, auf die weiter unten in diesem Abschnitt eingegangen wird.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass es speziell im Verkehrsbereich schwierig ist, den Output des öffentlichen Kapitalstocks G zu bestimmen und dass deshalb letztlich auch die ökonomische Faktornachfragetheorie nicht anwendbar sei. Der Grund liegt darin, dass in der überwiegenden Zahl der Fälle weder für die Dienste der öffentlichen Infrastruktur noch für die entsprechenden Kapitalgüter Marktpreise existieren. Fernald (1999) hat, wie bereits erwähnt, versucht, diese Schwierigkeit zu überwinden, indem er anstelle des *Bestands* an Infrastrukturkapital die mit der Infrastruktur produzierten *Dienste* in das Zentrum der Betrachtung stellt. Die Outputeinheiten dieser Dienste sind definierbar und es existieren sehr häufig Marktpreise, sodass beide gerade genannten Probleme nicht auftreten. Auch dann, wenn die Verkehrsinfrastruktur nicht direkt bepreist wird (etwa durch eine Maut), müssen die Unternehmen doch für die mit ihr erbrachten Transportleistungen einen Marktpreis

entrichten. Fernald (1999) kann deshalb ohne die genannte Inkonsistenz für jede Branche folgende Produktionsfunktion aufstellen:

$$Q_i = U_i F_i(K_i, L_i, T_i(V_i, G)).$$

Hierbei ist Q_i der Output von Branche i , K_i und L_i ihr Kapital- bzw. Arbeitseinsatz und U_i ein Lageparameter, der den Stand des technischen Wissens angibt. T_i bezeichnet die von der Branche nachgefragten Transportleistungen, die von dem Bestand an Straßeninfrastruktur G und dem in der Branche verwendeten Fahrzeugpark V_i abhängt.

Mit diesem Ansatz lassen sich über den Zusammenhang von T_i und G auch die Produktivitätseffekte von Staus und von Netzwerkexternalitäten modellieren. Mehr Transportleistungen T_i , die mit einer festen Straßeninfrastruktur G erzeugt werden müssen, können zu Staus und damit zu Produktivitäts- und Wachstumsverlusten führen. Ebenso sind in der Aufbau- phase eines Transportnetzes die Netzwerkexternalitäten zumeist hoch. Sie nehmen aber in der Reifephase des Netzes deutlich ab, bis schließlich weitere Investitionen in zusätzliche Verbindungen kaum noch Produktivitätseffekte erzeugen. Fernald (1999) schätzt, dass vor der weitgehenden Fertigstellung des US-Highway-Netzes Anfang der 1970er Jahre zusätzliche Investitionen in die Straßeninfrastruktur einen Anteil von 1,4 % p. a. des Wirtschaftswachstums ausmachten, nach 1973 jedoch nur noch 0,4 %.¹¹ Ein ähnliches Ergebnis erzielten Nadiri und Mamaneus (1998) schon früher (Lakshmanan und Anderson, 2002). In einer aktuellen Studie von 2012 beobachten Jiwattanakupaisarn et al. (2012) für 48 benachbarte US-Bundesstaaten in der Periode zwischen 1984 und 2005 eine Outputelastizität von 0,0035 bis 0,0039. Die Infrastrukturvariable ist dabei die Dichte des Straßennetzes.

Ein weiteres, speziell für die Verkehrsinfrastruktur wichtiges, inhaltliches Problem besteht darin, dass die schlichte Ergänzung einer makroökonomischen Produktionsfunktion um ein Aggregat G nicht in der Lage ist, die räumlichen Dimensionen der Eigenschaften einer Verkehrsinfrastruktur einzufangen, insbesondere ihren Netzcharakter. De la Fuente und Vives (1997) versuchen, die räumliche Dimension von G zumindest zum Teil zu berücksichtigen, indem sie zunächst über einen Zwischenschritt den Effekt auf die Transportkosten modellieren. Sie unterstellen, dass der volkswirtschaftliche Output in einer Region i positiv von der Produktion von Zwischenprodukten Y_i und negativ von den Transportkosten C_i abhängt. Die Transportkosten C_i ihrerseits hängen vom regionalen öffentlichen Infrastrukturbestand G_i und der Landmasse der Region S_i ab, die als Näherungsvariable für die im Schnitt zurückzulegenden Entfernungen angesetzt wird. Diese Annahmen lassen sich in der folgenden regionalen Cobb-Douglas-Produktionsfunktion abbilden:

$$Q_i = A_i K_i^\alpha L_i^\beta H_i^\mu G_i^\gamma S_i^{1-\alpha-\beta-\gamma}$$

wobei K_i und L_i die zur Produktion der Zwischenprodukte verwendeten Inputs Kapital und Arbeit bezeichnen und H_i den Humankapitalbestand pro Kopf. De la Fuente und Vives

¹¹Es geht hier begrifflich um 1,4 % bzw. 0,4 % von x % Wachstum.

(1997) errechnen eine Outputelastizität der öffentlichen Infrastruktur von 0,21. Interessant ist der Vergleich mit der Outputelastizität von Schulbildung, die in dieser Studie 0,56 beträgt.

Die Bedeutsamkeit räumlicher Aspekte zeigt sich auch, wenn für die Schätzung anstatt Zeitreihendaten auf nationaler Ebene regionale Paneldaten verwendet werden, etwa mit Bundesstaaten (im Fall der USA) oder Regionen (wie häufig in Europa) als Beobachtungseinheiten. Die Ergebnisse für Nationen als Ganzes liegen oft höher als für Regionen, weil auf der nationalen Ebene Spillover-Effekte regionaler Investitionen in Infrastrukturkapital wirksam werden und auf die Schätzergebnisse durchschlagen.

Es ist hier nicht möglich, alle bisher durchgeführten Produktionsfunktionsstudien darzustellen. Eine tabellarische Übersicht findet sich in Romp und de Haan (2005), bei Afraz et al. (2006). Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Produktivitäts- und Wachstumseffekte von Infrastrukturinvestitionen in entwickelten Ländern deutlich geringer sind, als es in den ersten Untersuchungen zu diesem Thema ermittelt worden war. Einige Studien finden zwar immer noch γ -Werte von 0,30; in der Mehrzahl der Fälle liegen die Werte jedoch eher unter 0,15. Dabei geht es zumeist um die Kerninfrastruktur als Ganzes. Bei einem Fokus auf die Verkehrsinfrastruktur liegen die γ -Werte bei etwa 0,05. Es zeigt sich darüber hinaus, dass die Effekte je nach Art der betrachteten Infrastruktur, nach Ländern/Regionen und nach Branchen sehr stark differieren können. Dabei kann auch durchaus der Fall auftreten, dass einige Regionen auf Kosten der anderen profitieren. In hochentwickelten Ländern, wo die vorhandene Infrastruktur bereits gut ausgebaut ist, entfalten zusätzliche Investitionen nur noch verhältnismäßig geringe zusätzliche Produktivitäts- und Wachstumsimpulse. Dort kann aber natürlich das Problem der Überlastung auftreten. Hinzu kommt die bereits mehrfach erwähnte Tatsache, dass Infrastrukturinvestitionen stets in einem geeigneten institutionellen Umfeld erfolgen müssen. Die Weltbank spricht davon, dass Infrastrukturinvestitionen allein nicht ausreichen, um nachhaltig steigendes Wachstum zu erzeugen (World Bank, 1994).¹² Dies bestätigt die in der allgemeinen Literatur zur Infrastrukturpolitik immer wieder betonte Komplementarität zwischen materieller und immaterieller Infrastruktur (Jochimsen 1966).

Insgesamt hinterlassen die Produktionsfunktionsstudien hinsichtlich ihrer Aussagekraft ein zwiespältiges Bild. Dies bezieht sich nicht nur auf ihre methodischen Probleme, sondern vor allem auf die mangelnde Berücksichtigung des Netzcharakters wichtiger Teile der volkswirtschaftlichen Infrastruktur (etwa in der Energieversorgung, der Telekommunikation oder dem Verkehr). Insbesondere im Verkehr könnte die Produktivität der Infrastruktur entscheidend von der Kapazität und Funktionsfähigkeit der einzelnen Knoten und Kanten bestimmt werden. Die Instandsetzung oder Kapazitätserweiterung einer wichtigen Kante könnte die Produktivität des gesamten Netzes eventuell stärker erhöhen als eine globale Anhebung der Netzqualität durch Ersatz- oder Erweiterungsinvestitionen, die gleichmäßig

¹²„Infrastructure investment is not sufficient on its own to generate sustained increases in economic growth“ (World Bank, 1994)

auf alle Kanten und Knoten verteilt werden. Das gleiche könnte für die Beseitigung von Engpässen gelten. Investitionsstrategien, die gezielt auf solche punktuellen Produktivitätssteigerungen hinwirken, sind möglicherweise für die gegenwärtige Infrastrukturdebatte von hoher Bedeutung. Produktionsfunktionsstudien der geschilderten Art sind zu hoch aggregiert, um zur Entwicklung solcher Strategien viel beitragen zu können.

4.2 Kostenfunktionsschätzungen

Die gerade ausführlich geschilderten Probleme des Produktionsfunktionsansatzes haben mehrere Autoren veranlasst, statt einer Produktionsfunktion eine Kostenfunktion zur Basis ihrer Schätzungen zu machen. Allerdings ist die Anzahl der Studien, die eine Kostenfunktionsschätzung durchführen bis jetzt, geringer als die Anzahl der Produktionsfunktionsschätzungen.

Eine makroökonomische Kostenfunktion hat die Gestalt $C = C(Y, w, X)$, wobei Y den volkswirtschaftlichen Output, w einen Vektor oder Index von Faktorpreisen und X einen Vektor exogener Einflussgrößen bezeichnet, wie insbesondere den technischen Fortschritt. X wird sehr häufig summarisch in der Form eines Zeittrends modelliert. Y und w sind in diesem Ansatz endogene Größen.

Analog zum Vorgehen bei der Produktionsfunktion wird nun diese Funktion um den öffentlichen Infrastrukturbestand G erweitert, sodass die Funktion zu $C = C(Y, w, X, G)$ wird. Für die Nutzung von G wird kein Marktpreis entrichtet, da es vom Staat „frei“ zur Verfügung gestellt wird. Dies trifft natürlich nur dort zu, wo keine Infrastrukturnutzungsgebühren erhoben werden.¹³ Selbst wenn Infrastruktur „kostenlos“ zur Verfügung gestellt wird, muss ein repräsentatives Unternehmen aber immer noch entscheiden, *wie viel* es an Infrastrukturdiensten in Anspruch nehmen will. Diese Entscheidung wird es im Rahmen seines Gewinnmaximierungskalküls treffen. Deshalb verwenden einige Studien statt eines Kostenfunktionsansatzes einen Gewinnfunktionsansatz.¹⁴ Da Kostenminimierung und Gewinnmaximierung Verhaltensannahmen an die Unternehmen sind, laufen beide Ansätze in der Literatur häufig auch unter der Bezeichnung „behavioural approach“. Ferner geht es bei diesen Untersuchungen letztlich eher um Kostensenkungseffekte öffentlicher Infrastruktur als um makro- oder regionalökonomische Wachstumseffekte. Die empirische Messgröße, an der bei Kostenfunktionsstudien der Produktivitätseffekt von öffentlichem Infrastrukturalkapital festgemacht werden kann, ist die Kostenelastizität des Infrastruktureinsatzes, mathematisch gesehen also die Größe:

$$\varepsilon = \frac{\partial C}{\partial G} \cdot \frac{G}{C}$$

¹³ Natürlich wird die Verkehrsinfrastruktur niemals „frei“ zur Verfügung gestellt, selbst dann, wenn keine Nutzungsgebühren, etwa nach dem Muster der deutschen Lkw-Maut erhoben werden. Die Unternehmen sind über Steuern immer an der Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur beteiligt. Hier geht es darum, dass sie diesen Aspekt bei ihrer Nachfrageentscheidung nach Nutzung nicht berücksichtigen.

¹⁴ Afraz et al. (2006) zeigen, dass unter bestimmten Bedingungen die beiden Ansätze theoretisch äquivalent sind.

Sie gibt an, um wie viel Prozent sich die Kosten C (in der Volkswirtschaft insgesamt, in einer Region, in einer Branche, in einem Unternehmen) verringern, wenn der Infrastrukturbestand G um ein Prozent zunimmt und alle anderen Größen konstant bleiben. Sie fangen damit also den sich in Kostensenkungen umsetzenden Produktivitätseffekt einer Vergrößerung des Infrastrukturbestandes ein. Der Produktivitätseffekt kommt dadurch zustande, dass der gegebene Output Y bei einem höheren Infrastrukturbestand G mit einem geringeren Einsatz der privaten Inputs K und L produziert werden kann. Der Ausdruck:

$$p = -\frac{\partial C}{\partial G},$$

der sich bei bekannten C und G errechnen lässt, wird auch als Schattenpreis der öffentlichen Infrastruktur bezeichnet. Er gibt an, um wie viel Euro sich die Kosten im privaten Bereich verringern, wenn der öffentliche Infrastrukturbestand um 1 Euro erhöht wird. Ein positiver Wert von p bedeutet also, dass sich die Kosten im privaten Sektor verringern. Bei einer vollständigen Betrachtung der Effekte von Infrastrukturinvestitionen wäre dieser Wert allerdings mit den der Gesellschaft entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten zu vergleichen. Dieser Schritt unterbleibt aber in den meisten Studien.

Unter den Vorteilen des Kostenfunktionsansatzes, die in der Literatur genannt werden, sind die zwei folgenden hervorzuheben. Erstens ist man bei der Wahl der funktionalen Form für C freier. Im Gegensatz zum Produktionsfunktionsansatz, bei dem die Cobb-Douglas-Form vorherrscht, greifen beim Kostenfunktionsansatz nur wenige Studien auf diese funktionale Spezifikation zurück. Zum Einsatz kommen die Translog-Funktion, quadratische Funktionen und die Leontief-Funktion. Oben wurde gesagt, dass sich zwar auch im Fall des Produktionsfunktionsansatzes andere, flexiblere Formen, wie die Translog-Funktion, im Prinzip anbieten würden, dass diese aber mit dem Problem der Multikollinearität zu kämpfen haben. Dieses Problem ist bei der Schätzung einer Translog-Kostenfunktion geringer, da hier von einem Satz der Mikroökonomie (Shephards Lemma) Gebrauch gemacht werden kann, der es erlaubt, neben der zu schätzenden Kostenfunktion ein System von Zusatzgleichungen aufzustellen (die sogenannten Kostenanteilsleichungen), welche die Schätzparameter der Kostenfunktion durch weitere Bedingungen einschränken. Insgesamt wird also beim Kostenfunktionsansatz nicht nur die Kostenfunktion alleine geschätzt, sondern ein ganzes Gleichungssystem (Kostenfunktion plus Kostenanteilsleichungen). Damit werden die angesprochenen Multikollinearitätsprobleme erheblich verringert.

Diesem unzweifelhaften ökonomischen Vorteil steht jedoch ein Nachteil grundsätzlicher Art gegenüber. Die Verwendung der Kostenanteilsleichungen kommt einer starken Vermehrung der Theorieelastigkeit der Schätzung gleich. Anstatt die Daten für sich selbst sprechen zu lassen, wird von vornherein die Gültigkeit gewisser Annahmen aus der mikroökonomischen Produktionstheorie unterstellt, welche die Ableitung der Kostenanteilsleichungen ermöglichen. Es ist zumindest diskussionsfähig, ob die Schätzung von Kostenfunktionen damit weniger restriktiv ist als die Schätzung einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion. Hinzu kommt, dass die größere Flexibilität der Schätzfunktion durch

höhere Anforderungen an die Menge der zur Verfügung stehenden Daten erkaufte werden muss. Die Translog-Funktion erfordert größere Datenmengen, da durch das Hinzukommen quadratischer und multiplikativer Terme sehr viel mehr Parameter zu schätzen sind als beispielsweise die drei Parameter bei der beschriebenen Cobb-Douglas-Funktion. Dahingegen und mit dem vorhergehenden Punkt unmittelbar zusammenhängend, können bei der Schätzung einer Kostenfunktion weniger restriktive Annahmen bezüglich der Produktionstechnologie der Unternehmen getroffen werden. Bei der Wahl einer hinreichend flexiblen funktionalen Form der Kostenfunktion können insbesondere restriktive Annahmen über die Substitutionalität der Inputs entfallen. Oben wurde gesagt, dass die Wahl einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion automatisch eine Substitutionselastizität von eins impliziert. Diese Einschränkung kann hier vermieden werden. Im Gegenteil, es kann die wichtige Frage geklärt werden, ob öffentliche Infrastruktur und private Inputs, insbesondere privates Kapital in einem substitutiven oder komplementären Verhältnis stehen – eine infrastrukturpolitisch bedeutende Frage.

Eine vollständige und detaillierte Zusammenstellung der mit Kostenfunktionsschätzungen erzielten Ergebnisse in tabellarischer Form findet sich in der bereits zitierten Arbeit von Afraz et al. (2006). Die Werte sind durchweg sehr niedrig (häufig im Bereich von 0,2), bisweilen sogar negativ, was auf ein substitutives Verhältnis zwischen Infrastrukturkapital und privatem Kapital oder signifikante Crowding-Out-Effekte hindeuten würde. Allerdings handelt es sich häufig um Paneldatenschätzungen mit sehr heterogenen Ländern oder Regionen.

4.3 Vektorautoregressive Schätzmodelle

In Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wurde als wesentliches Problem der bisher vorliegenden empirischen Studien das Kausalitätsproblem identifiziert. Ist die Produktivität hoch, weil die Infrastrukturinvestitionen hoch sind, oder umgekehrt, sind die Infrastrukturinvestitionen hoch, weil Produktivität und Wachstum hoch sind? Als Lösung dieser zentralen Schwierigkeit wurden einerseits inhaltliche Überlegungen angeboten (Fernald, 1999), andererseits ökonometrische Techniken, wie die Verwendung simultaner Gleichungsmodelle oder die Verwendung von Instrumentalvariablen. Seit Ende der 1990er Jahre wird in zunehmendem Maße von einer anderen ökonometrischen Technik Gebrauch gemacht, den vektorautoregressiven (VAR) Schätzmodellen.¹⁵ Diese Modelle verzichten darauf, explizite Kausalitätsketten zwischen den Modellvariablen zu postulieren. In diesem Sinn verzichten sie auch auf eine Fundierung ihrer Schätzgleichungen in der ökonomischen Theorie. Die Daten „sollen für sich selbst sprechen“. In einem VAR-Modell werden alle Variablen gleichzeitig bestimmt, ohne dass irgendwelche a-priori-Annahmen über Kausalitätsbeziehungen zwischen ihnen getroffen werden. In den herkömmlichen Produktions- und Kostenfunktionsschätzungen dagegen wird beispielsweise stets eine einseitige Kausalitätsrichtung von den Variablen Kapital, Arbeit und Infrastruktur hin zur Variable Output unterstellt. VAR-Modelle erlegen den Variablen keine

¹⁵Für eine Lehrbuchdarstellung der VAR-Methodik, siehe z. B. Pindyck und Rubinfeld (1998).

solche a-priori-Einschränkung auf; sie lassen vielmehr zu, dass es auch Rückkopplungseffekte von der Outputvariable zu den Inputvariablen geben kann. In einem VAR-Mehrgleichungsansatz wird jede endogene Variable sowohl als Funktion ihrer Vergangenheitswerte als auch der Vergangenheitswerte der anderen Variablen modelliert. Auf diese Weise kann ermittelt werden, ob es Rückkopplungseffekte von den Variablen des Privatsektors (inklusive des Outputs) zum Infrastrukturkapital gibt. Tatsächlich weisen mehrere Studien solche Effekte nach. Ferner sind VAR-Modelle auch mit indirekten Kausalitätsbeziehungen zwischen den Variablen vereinbar, z. B. mit den bereits erwähnten Effekten von Infrastrukturinvestitionen auf die Produktivität der Produktionsfaktoren im privaten Sektor oder mit Crowding-Out-Effekten, bei denen private durch öffentliche Investitionen verdrängt werden.¹⁶

In einem VAR-Modell müssen nur zwei Arten von Festlegungen getroffen werden: Zum einen müssen die zu berücksichtigenden Variablen spezifiziert werden. Diese Festlegung greift, wie bereits erwähnt, nicht auf die ökonomische Theorie zurück, sondern hängt lediglich von der Frage ab, zwischen welchen Variablen eine Interaktion untersucht werden soll. Konsequenterweise wird dabei auch kein Unterschied mehr zwischen exogenen und endogenen Variablen gemacht, sondern alle Variablen als endogen unterstellt. Zum anderen muss die maximale Anzahl der zeitlichen Verzögerungen (lags) festgelegt werden, die benötigt wird, um die Wirkung der ausgewählten Variablen aufeinander komplett einzufangen zu können (Pindyck und Rubinfeld, 1998).

Als Folge dieses Ansatzes haben die Outputelastizitäten, die in VAR-Modellen ermittelt werden, begrifflich eine etwas andere Interpretation als diejenigen, die dem Produktionsfunktionsansatz entsprechen. Wie oben erwähnt, geben die Outputelastizitäten der Produktionsfunktionsschätzungen an, um wie viel Prozent der Output einer Volkswirtschaft, einer Region oder einer Branche steigt, wenn das Infrastrukturkapital um 1 % erhöht wird. Dabei werden die privaten Inputs konstant gehalten und Rückkopplungseffekte ausgeschlossen. Demgegenüber lassen VAR-Modelle eine dynamische Interaktion zwischen den Modellvariablen zu, einschließlich Rückkopplungseffekten.

Die große Flexibilität der VAR-Modelle hat jedoch den Preis, dass ihre Ergebnisse, gerade aufgrund des Verzichts der Spezifikation von Kausalitätsbeziehungen, nur sehr eingeschränkt zur praktischen Wirtschaftspolitik verwendet werden können. Einer VAR-Schätzung kann keine „strukturalistische Interpretation“ gegeben werden. Also ist es auch nicht möglich, eindeutig die Stellschrauben zu identifizieren, mit deren Hilfe Wachstumswirkungen erzeugt werden können. Ein weiterer Nachteil der VAR-Modelle ist ihr sehr hoher Datenbedarf.

Eine Übersicht über die empirischen Resultate von VAR-Schätzungen findet sich in Afraz et al. (2006) und in Kamps (2004). Eine Vielzahl von Studien bezieht sich auf die Wachstumswirkungen von öffentlicher Infrastruktur generell, speziell in den USA. Diejenigen

¹⁶Bei Crowding-In-Effekten würden umgekehrt private Investitionen durch öffentliche angeregt.

Arbeiten, die sich explizit mit Verkehrsinvestitionen beschäftigen, konzentrieren sich überwiegend auf regionale Effekte. Insgesamt ergeben sich durchweg positive Wachstumswirkungen von Infrastrukturinvestitionen. Kamps (2004) kritisiert, dass kaum eine der Studien statistische Verlässlichkeitsmaße angibt, weshalb nicht entschieden werden kann, ob die geschätzten Effekte statistisch signifikant von null verschieden sind. Kamps (2004) selbst gibt in seiner eigenen VAR-Studie von 22 OECD-Ländern im Zeitraum 1960-2001 Konfidenzintervalle (überwiegend auf dem 68 %-Level) an. Er ermittelt in 12 der untersuchten Länder einen signifikant positiven Effekt von Infrastrukturinvestitionen (public capital), in 9 keinen signifikant von null verschiedenen Wert und in einem Land (Japan) sogar einen signifikant negativen Wert. Kamps (2004) findet außerdem Hinweise auf umgekehrte Kausalität, sodass also in der wirtschaftspolitischen Interpretation öffentliches Infrastrukturkapital als eine endogene Größe anzusehen ist. Dies stimmt auch mit der historischen Evidenz überein, derzufolge beispielsweise in den OECD-Ländern Haushaltsdefizite häufig mit nachlassender Investitionstätigkeit des öffentlichen Sektors einhergingen. Die von Kamps (2004) gefundenen signifikant positiven Elastizitätswerte liegen zwischen 0,01 (Irland) und 1,77 (Griechenland). Dies deutet darauf hin, dass nationale Besonderheiten eine große Rolle spielen.

Interessanterweise kehrt Kamps in einer späteren Studie (Kamps, 2005) wieder zum Produktionsfunktionsansatz zurück mit der Begründung, dass dieser Ansatz der einfachste und in der Literatur am häufigsten verwendete sei. Mit einem von ihm neu konstruierten Datensatz des öffentlichen Kapitalstocks von 22 OECD-Staaten im Zeitraum der Jahre 1960 bis 2001 schätzt er Outputelastizitäten von durchschnittlich 0,22. Für Deutschland liegt der Wert bei 0,028.

In einer mit portugiesischen Daten durchgeführten VAR-Studie wird näher auf die Effekte von Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur eingegangen.¹⁷ Pereira und Andraz (2005) ermitteln für solche Investitionen eine Outputelastizität von 0,18, wobei Investitionen in Seehäfen die höchste Rendite aufwiesen, gefolgt von Fernstraßen, Kommunalstraßen, Flughäfen und Schieneninfrastruktur. Weitere Werte für die öffentliche Telekommunikations- und Verkehrsinfrastruktur Spaniens finden sich in drei Studien von Pereira und Roca-Sagales (1999, 2001, 2003). Der Artikel aus dem Jahr 1999 ist auch deshalb interessant, weil er die Wachstumseffekte sowohl landesweit als auch für die einzelnen Regionen Spaniens im betrachteten Zeitraum ermittelt. Bei einer VAR-Schätzung für Spanien insgesamt ergab sich eine Outputelastizität von 0,38. Auf Ebene der Regionen waren die Ergebnisse, je nach Entwicklungsstand, jedoch sehr unterschiedlich. Überraschenderweise waren sie für die am weitesten entwickelten Regionen am höchsten, im Gegensatz zu den oben ermittelten Ergebnissen von Fernald (1999) und anderen Studien für die USA. Eine Erklärung könnte darin liegen, dass eben doch auch in Ländern mit bereits hochentwickelten Verkehrs- und Telekommunikationsnetzen *einzelne* neue Zusatzverbindungen, die die Qualität und Konnektivität der Netze verbessern, hohe Produktivitätseffekte auslösen können.

¹⁷Dieser Absatz fußt stark auf Afraz et al. (2006).

Die Studie aus dem Jahr 2001 differenziert nach Wirtschaftssektoren. Während die Landwirtschaft durch Infrastrukturinvestitionen sogar negativ betroffen ist, weisen Bau, Produzierendes Gewerbe und Dienstleistungen positive Effekte auf (in dieser Reihenfolge). Die Outputelastizitäten betragen für die drei zuletzt genannten Sektoren jeweils 1,23, 0,81 und 0,37 und erscheinen damit verhältnismäßig hoch. Die Arbeit aus dem Jahr 2003 untersucht Spillover-Effekte, die von den Infrastrukturinvestitionen (Verkehr und Telekommunikation) in einer Region auf andere Regionen ausgehen. Die Outputelastizität für Spanien insgesamt wird in einer VAR-Schätzung mit 0,52 errechnet. Die analogen regionalen Effekte zusammengerechnet erklären davon jedoch nur 44 %. Wird aber für jede Region das öffentliche Infrastrukturalter in den anderen Regionen in die Schätzung einbezogen, ergeben sich annähernd die Effekte des Modells für Spanien insgesamt. Daraus wird ersichtlich, dass die Netzwerkeffekte von Kommunikations- und Verkehrsinfrastrukturinvestitionen offenbar erheblich sind. Schätzungen, die solche Spillover-Effekte vernachlässigen, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit zu niedrige Wachstums- und Produktivitätseffekte aufweisen. Afraz et al. (2006) merken an, dass für die drei genannten Studien keine Konfidenzintervalle angegeben werden. Insgesamt erscheinen die Werte der drei Studien relativ hoch. Aber auch in der oben erwähnten Produktionsfunktionsschätzung von Kamps (2005) liegt die Outputelastizität für Spanien insgesamt bei 0,38 und damit eher am oberen Ende.

Das RWI (2010) hat im Jahr 2010 in einer Studie für das BMF den Einfluss von Infrastrukturinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum mithilfe eines VAR-Ansatzes untersucht. Da nur Daten aus der Periode der Jahre 1970 bis 2007 in die Analyse einbezogen werden konnten, machten sich die bereits benannten hohen Datenanforderungen der VAR-Modelle in der Weise bemerkbar, dass nur vier Variablen in das Modell aufgenommen werden konnten, nämlich das Bruttoanlagevermögen für Verkehrsinfrastruktur, die privaten Bruttoanlageinvestitionen, das BIP und das Arbeitsvolumen. Es zeigte sich, dass eine Ausweitung der Verkehrsinfrastruktur positive Wachstumseffekte hat, jedoch in ungläubwürdiger Höhe. Nach der Schätzung des RWI erbringt eine zusätzliche Investition in Verkehrsinfrastruktur in Höhe von 1 Mrd. Euro im Jahr der Investition schon 8,2 Mrd. Euro, nach drei Jahren 38,3 Mrd. Euro und nach zehn Jahren 119 Mrd. Euro (RWI, 2010). Der Grund für diese hohen Werte liegt nach Einschätzung des RWI vermutlich in der Tat an der geringen Variablenzahl: „So ist zu erwarten, dass die hier genutzten Variablen einiges an Effekten „mit abgreifen“, die eigentlich anderen Determinanten des Wirtschaftswachstums zugeordnet werden müssen, es also zu einer deutlichen Verzerrung der Ergebnisse kommt.“ Die Verfasser weisen allerdings darauf hin, dass der geschätzte Effekt der durchschnittliche Effekt in dem ganzen betrachteten Zeitraum ist. Da sie gleichzeitig einen über die Zeit fallenden Trend der Outputelastizität finden, „sollte die Elastizität von heutigen Verkehrsinfrastrukturinvestitionen auf jeden Fall niedriger als 0,06 sein.“

Um größere Klarheit hinsichtlich seiner Ergebnisse zu erzielen, führt das RWI im anschließenden Kapitel seiner Studie noch eine Paneldatenschätzung mit den Daten der 16 Bundesländer durch. Dort ergeben sich eine kurzfristige Outputelastizität von 0,03 und ein entsprechender langfristiger Wert von 0,04 bis 0,08 (RWI, 2010).

5. Verkehrsinfrastruktur und räumliche Entwicklung¹⁸

Wenn von Wachstumswirkungen der Verkehrsinfrastruktur gesprochen wird, kommt zu- meist auch die räumliche Verteilung der Wachstumseffekte zur Sprache. Sehr häufig wird übersehen, dass eine Verringerung der Transportkosten und/oder eine bessere infrastrukturu- relle Anbindung einem Gebiet oder einer Region nicht unbedingt in positiver Weise zu- gutekommen muss. Schon in der herkömmlichen Regionalökonomik galt es als konventio- nelle Weisheit, dass eine Straße grundsätzlich zwei Richtungen hat: eine, die zur Region hinführt und eine andere, die davon wegführt. Wird angenommen, dass der Endpreis eines Gutes beim Kunden überwiegend aus den beiden Kostenkomponenten Transportkosten und Produktionskosten besteht, dann kann eine Verbesserung der Anbindung einer Region dazu führen, dass andere Regionen kostengünstiger liefern können und somit das eigene Angebot der Region verdrängt wird. Dies wird vor allem dann wahrscheinlich, wenn die anderen Regionen in stärkerem Maße von Größenvorteilen (economies of scale) Gebrauch machen können als die eigene Region. Hatte die schlechtere Verkehrsanbindung bisher wie eine Art Schutzzoll gewirkt, der Kostennachteile der eigenen Region kompensiert hatte, fällt diese Barriere gegen die Wettbewerbsvorteile der anderen Regionen nunmehr weg. Im Extremfall wird damit eine Negativspirale in Gang gesetzt, die bis zur industriellen Entleerung der eigenen Region führen kann.

Überlegungen dieser Art stehen im Zentrum der sogenannten „Neuen Ökonomischen Geo- graphie“ von Krugman (1991).¹⁹ Der grundlegend neue Gedanke dieser Forschungsrichtung besteht darin, dass im Gegensatz zur traditionellen Raumwirtschaftslehre und der klassi- schen Außenhandelstheorie die räumliche Verteilung von Wirtschaftsaktivitäten nicht mehr unter Rückgriff auf geographische Unterschiede oder unterschiedliche Faktorausstattung der Regionen erklärt wird, sondern rein aus kosten- und nachfragestrukturellen Gegeben- heiten abgeleitet wird, wobei vor allem auch Transportkosten eine entscheidende Rolle spielen.

Die Ergebnisse der Neuen Ökonomischen Geographie steuern, insbesondere was Investiti- onen in die Verkehrsinfrastruktur betrifft, einen wichtigen ergänzenden Gesichtspunkt bei. Im Folgenden wird deshalb eine nichtformale Einführung in den zentralen Gedankengang dieses Ansatzes gegeben. Da die Ergebnisse der Neuen Ökonomischen Geographie sehr stark durch den verhältnismäßig aufwendigen mathematischen Apparat dieser Theorie geprägt werden, muss diese Darstellung notwendigerweise elementar bleiben.

Archetypus aller Modelle der Neuen Ökonomischen Geographie ist das sogenannte „Core- Periphery-Modell“ von Krugman (1991). Das wirtschaftliche Geschehen in diesem Modell erfolgt auf einer homogenen geographischen Fläche. Es gibt also keinerlei natürliche

¹⁸Der folgende Abschnitt basiert in starkem Maße auf Wieland (2007).

¹⁹Standarddarstellungen dieser Theorien finden sich außer bei Krugman (1991) auch bei Fujita et al. (1999). Einen einfacheren, gut lesbaren Überblick gibt Roos (2003). Ein aktuelles deutschsprachiges Lehrbuch ist Bröcker und Fritsch (2012).

Standortunterschiede, die sich in irgendeiner Weise für eine Region in wirtschaftliche Wettbewerbsvorteile umsetzen ließen. In den meisten Darstellungen wird diese homogene Fläche in zwei Regionen A und B unterteilt, in denen prinzipiell zwei Arten von Gütern produzierbar sind: (1) Industriegüter („manufactured goods“, in einer breiten Anzahl von Varianten) und (2) ein „Agrargut“ (das hier stellvertretend für den gesamten Output des Agrarsektors steht). Die Industriegüter werden durch eine Vielzahl kleiner Unternehmen hergestellt, die in Wettbewerb zueinander stehen und geringfügig differenzierte Produkte anbieten. Bei den Industriegütern herrscht also die Marktform der monopolistischen Konkurrenz. Im Agrarsektor hingegen werden homogene Güter erzeugt, hier herrscht die Marktform der vollständigen Konkurrenz. Vereinfachend wird angenommen, dass in beiden Sektoren der Volkswirtschaft nur ein Produktionsfaktor zum Einsatz kommt, nämlich Arbeit. Dieser Faktor ist im Industriegütersektor mobil (er kann zwischen den beiden Regionen wandern), nicht aber im Agrarsektor. Die Konsumenten sind, was die Industriegüter betrifft, durch eine Präferenz für Vielfalt charakterisiert, d. h. sie nehmen die Vielzahl der angebotenen Produktvarianten auch tatsächlich an (sie haben sogenannte Dixit-Stiglitz-Präferenzen).

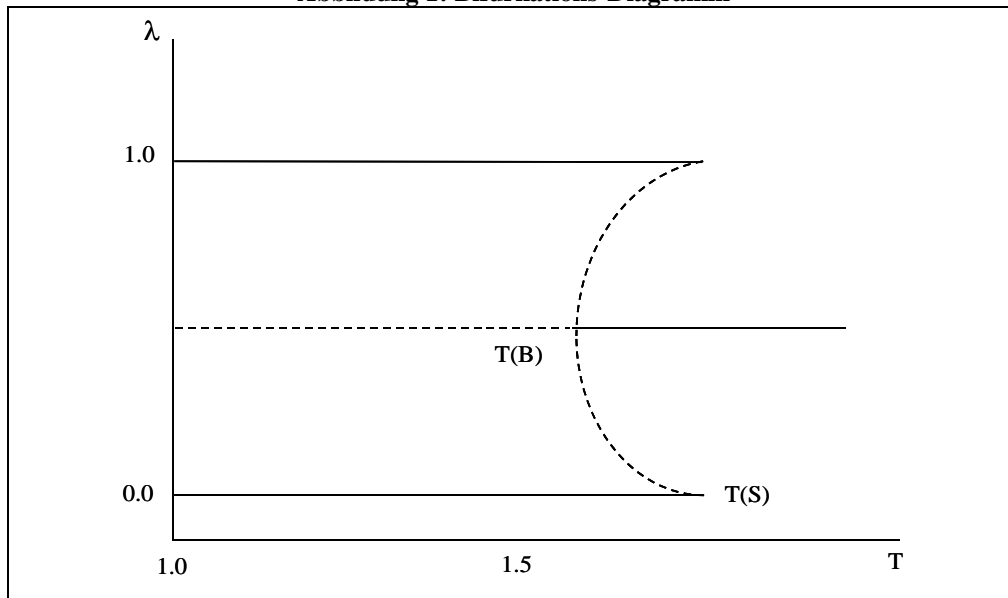
Es wird nun unterstellt, dass jede Variante eines Industriegutes zur Gänze jeweils nur an einem einzigen Standort gefertigt wird, also entweder in Region A oder in Region B (nicht zum Teil in A und zum Teil in B). Ursächlich dafür sind Größenvorteile in der Produktion. Dies bedeutet, dass auf Dauer im Wettbewerb nur ein Unternehmen am Markt überleben kann, welches dieses Gut herstellt. Das überlebende Unternehmen ist dann nur noch der Substitutionskonkurrenz durch Unternehmen ausgesetzt, die ähnliche Produktvarianten des betreffenden Industriegutes produzieren. Die Transportkosten, denen im Modell eine tragende Rolle zukommt, werden als fixer Transportkostensatz modelliert.

Unter diesen Modellannahmen kann es nun zu sich selbst verstärkenden Rückkopplungseffekten kommen, die unter bestimmten Parameterkonstellationen des Modells zur Ballung der Industriegüterproduktion in einer der beiden Regionen oder im günstigen Fall zu einer Gleichverteilung führen. Wird beispielsweise durch ein zufälliges exogenes Ereignis die Nachfrage etwa in A angeregt, so sinken dort die Stückkosten der Produktion, da nunmehr eine größere Menge produziert werden kann. Als Folge sinkt der Preis und damit, wenn mehrere Güter von der Nachfragesteigerung betroffen sind, der Index der Lebenshaltungskosten in A, wodurch der Reallohn einer typischen Arbeitskraft in A steigt. Dies führt dazu, dass Arbeitskräfte von B nach A abwandern. Dadurch vergrößert sich der Absatzmarkt für die in A angesiedelten Unternehmen und das Arbeitskräftepotential in A. Beide Effekte wirken sich positiv auf die Gewinne der Unternehmen in A aus und es kommt zur Standortverlagerung von Unternehmen aus B nach A. Aufgrund dieses Agglomerationseffektes müssen nunmehr weniger Güter nach A transportiert werden, wodurch die Preise in A noch weiter fallen und mehr und mehr Arbeitskräfte aus B nach A übersiedeln, usw. Setzt sich dieser Effekt immer weiter fort, wird schließlich die gesamte Industriegüterproduktion in A stattfinden und Region B auf die reine Produktion von Agrargütern reduziert. B wird „deindustrialisiert“.

Um eine größere Realitätsnähe zu erreichen, wurde das Grundmodell der Neuen ökonomischen Geographie in der Folge in verschiedenster Weise angereichert (vgl. die bereits zitierten Quellen Fujita et al. (1999), Roos (2003) und als kritische Übersicht Neary (2001)).

Für die Thematik dieses Artikels ist entscheidend, dass in allen diesen Modellen den Transportkosten und damit der Verkehrsinfrastruktur eine entscheidende Rolle für die letztendliche Verteilung der Wirtschaftsaktivität zukommt. Dies wird in der folgenden „Tomahawk-Bifurkation“ deutlich (vgl. Abbildung 1):

Abbildung 1: Bifurkations-Diagramm



Quelle: Wieland 2007

Die Größe T auf der Abszisse steht hier für die Höhe der Transportkosten, λ auf der Ordinate für den Anteil an Industriearbeitskräften in Region A. 1,0 bedeutet also, dass sich alle Industriearbeiter und damit die gesamte Produktion des Industriegütersektors in Region A befindet. 0,0 besagt, dass A deindustrialisiert ist. Die durchgezogenen Linien bezeichnen stabile volkswirtschaftliche Gleichgewichte (Arbeitskräfteverteilungen). Jeder Punkt auf diesen Linien entspricht einem bestimmten volkswirtschaftlichen Gleichgewicht, das zu einem bestimmten Transportkostenniveau T gehört. „Stabil“ bedeutet hier, dass eine kleine Störung eines solchen Gleichgewichts immer wieder zu ihm zurückführen wird. Die gestrichelten Linien hingegen sind der geometrische Ort von instabilen Gleichgewichten. Eine kleine Störung durch ein exogenes Ereignis führt hier immer weiter von dem ursprünglichen Gleichgewicht weg. Im Gegensatz zu den traditionellen Modellen der Neoklassik gibt es also in den Modellen der Neuen Ökonomischen Geographie das Phänomen der Pfadabhängigkeit. („History matters“, wie Krugman (1991) betont).

Zur Interpretation der Graphik bewegt man sich am besten von rechts nach links. Bei hohen Transportkosten (mangelnde Infrastruktur, geringe Erreichbarkeit) gibt es zunächst nur ein stabiles Gleichgewicht, nämlich die gleichgewichtige Aufteilung zwischen beiden Regionen. Hier wirken die hohen Transportkosten wie ein Schutzzoll. Sinken nun die Transportkosten, kommen instabile Gleichgewichte hinzu.²⁰ Links von dem gekrümmten Bogen wird die gleichgewichtige Aufteilung instabil. So führt beispielsweise beim T -Parameterwert 1,5 („mittlere“ Transportkosten) eine kleine Störung dieses Gleichgewichts dazu, dass sich die Volkswirtschaft von dieser Aufteilung immer weiter weg auf eines der beiden stabilen Gleichgewichte mit einer industrialisierten und einer desindustrialisierten Region bewegt.

Diese rudimentäre Darstellung möge im Rahmen dieses Überblicksartikels genügen, um die Grundgedankengänge der Neuen Ökonomischen Geographie darzustellen. Nachfolgend seien noch einige Kritikpunkte, insbesondere im Hinblick auf die infrastrukturpolitische Verwertbarkeit der Theorie, aufgeführt.

Zunächst einmal ist es aufgrund des hohen mathematischen Komplexitätsgrades der Theorie und der stilisierten Annahmen der Modelle bisher sehr schwierig, sie auf konkrete wirtschaftspolitische Fragestellungen anzuwenden.²¹ Die zentralen theoretischen Modellergebnisse sind in voller Allgemeinheit bisher nur mithilfe von Computersimulationen abgeleitet worden. Die obige Tomahawk-Bifurkation beispielsweise ist das Ergebnis einer solchen Simulationsrechnung. Geschlossene analytische Lösungen eines solchen Modells sind bisher nur unter einschränkenden Annahmen erzielt worden, beispielsweise der Annahme, dass der mobile Teil der Arbeitskräfte nur in den Unternehmensbereichen beschäftigt ist, in denen substantielle Fixkosten existieren (vgl. Pflüger (2004, 2007) für weitere Verweise). Ungeachtet dessen ist mittlerweile aber eine Vielzahl von empirischen Studien zu Einzelfragen vorgelegt worden. Empirische Untersuchungen zu den Wirkungen von Infrastrukturinvestitionen scheinen hingegen noch verhältnismäßig rar.

Diskussionswürdig ist ferner die Frage, ob in der Neuen Ökonomischen Geographie nicht die Rolle der Transportkosten für die ökonomische Entwicklung weit überschätzt wird. Diese Frage ist vor allem für die empirische Anwendung von entscheidender Bedeutung, da hier notwendigerweise von der Modellannahme der homogenen geographischen Fläche abgegangen werden muss. Hält man sich vor Augen, dass heutzutage die Transportkosten in den meisten Fällen weniger als 10 % des Endpreises ausmachen (Button, 1993), ist es möglich, dass die in der Realität gegebenen Standortvorteile (z.B. Sprachvorteile, Humankapital, Rohstoffvorkommen) die Transportkosten deutlich überlagern. Eventuell sind die Modelle der Neuen Ökonomischen Geographie eher auf historische Prozesse anzuwenden, in denen die Senkung der Transportkosten drastisch war, wie etwa der wirtschaftlichen Entwicklung nach der Erfindung der Eisenbahn. Einige Vertreter der Neuen Ökonomischen Geographie sind außerdem der Auffassung, dass die Größe T in einem allgemeineren Sinn

²⁰ Auch die Punkte auf dem gestrichelten, nach innen gekrümmten Bogen sind Gleichgewichte.

²¹ „Applied NEG (New Economic Geography, die Verf.) is still in its infancy, [...], and very few studies have actually succeeded in testing NEG theoretical predictions in their structural, and not simply reduced, form.“ (Lafourcade und Thisse, 2011).

zu verstehen sei, in dem sie nicht nur Transportkosten, sondern ganz allgemein „Handelskosten“ umfasse.²²

Im regionalpolitischen Raum könnte die Versuchung groß sein, die Neue Ökonomische Geographie im Sinne einer aktivistischen Investitionspolitik zu interpretieren. So könnte aus dem obigen Bifurkations-Diagramm (vgl. Abbildung 1) der Gedanke abgeleitet werden, dass es etwa beim T -Wert von 1,5 für Region A vorteilhaft sein könnte, das 50:50-Gleichgewicht durch eine aktivistische Regionalpolitik (zu der auch verstärkte Infrastrukturinvestitionen gehören könnten) in die Richtung eines (dann sogar auch noch stabilen) 100:0-Gleichgewichtes zu eigenen Gunsten umzulenken. Die Vertreter der Neuen Ökonomischen Geographie sehen diese Interpretation ihrer Theorie ganz überwiegend skeptisch. Zum einen bestehe die Gefahr eines Subventionswettlaufs mit ungewissen Erfolgsaussichten. Zum anderen seien die Modelle und vor allem die bisher erzielten empirischen Ergebnisse noch nicht hinreichend robust, um solche weitreichenden politischen Implikationen daraus abzuleiten.²³ Hinzu kommt, dass a priori auch nicht klar ist, welche Region sich auf welche Art von Produktion spezialisiert, wenn Verkehrsinfrastrukturen zwischen zwei Regionen ausgebaut werden.

6. Regional- und mikroökonomische Studien

Vereinzelt wurden oben bereits Studien geschildert, die sich auf einzelne Regionen, einzelne Sektoren oder einzelne Verkehrsträger (insbesondere die Straße) bezogen. Studien dieser Art wurden aber nur insoweit aufgegriffen, als sie sich in einen der drei grundsätzlichen Schätzansätze (Produktionsfunktionsansatz, Kostenfunktionsansatz, VAR-Schätzung) einordnen ließen. Es gibt jedoch eine Fülle von Untersuchungen, die auch von unkonventionelleren Ansätzen Gebrauch machen und die sich ebenfalls auf kleinteiligere Aggregate wie Regionen, Kommunen, bestimmte Branchen, Unternehmen oder Verkehrsträger beziehen. Dabei geht es häufig nicht um die reinen Outputwirkungen zusätzlicher Verkehrsinfrastrukturen, sondern um die Standortwahl von Unternehmen, um Firmengründungen, um Zuzug von Arbeitskräften, Agglomerationseffekte, Beschäftigungseffekte, Erreichbarkeit von Regionen, Kommunen und Arbeitsplätzen, Siedlungsstrukturen, Handelsströme oder komplementäre Investitionen in privates Kapital.²⁴

Ein ausführlicher Überblick über diese Art von Studien müsste in einem gesonderten Artikel erfolgen. Hinzu kommt, dass die positiven Wirkungen, die von zusätzlichen Infrastrukturinvestitionen in einer Region (oder einem Sektor) A ausgelöst werden, durch negative Wirkungen in Region (oder Sektor) B wieder kompensiert werden können. So zeigen beispielsweise die gerade ansatzweise geschilderten Modelle der Neuen Ökonomischen Geo-

²²Zu diesem Themenkomplex des Verhältnisses von Transportkosten und Neuer Ökonomischer Geographie vgl. Lafourcade und Thisse (2011), die auch auf die bahnbrechenden Arbeiten von Hummels zur empirischen Bestimmung von Transportkosten Bezug nehmen. (Vgl. z.B. Hummels 2007)

²³Für eine weiterführende Diskussion der wirtschaftspolitischen Implikationen sei auf Roos (2003) verwiesen.

²⁴Ein Beispiel für eine Fallstudie, die sich auf einen einzigen Verkehrsträger und ein einzelnes Projekt bezieht, ist beispielsweise die Arbeit von Komar und Ragnitz (2002) zur A 72 Chemnitz-Leipzig.

graphie, dass Verbesserungen der Transportinfrastruktur zwischen zwei Regionen dazu führen können, dass sich alle industriellen Aktivitäten in einer der beiden Regionen konzentrieren, wohingegen die andere Region auf die Landwirtschaft reduziert wird (vgl. Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die gesamtwirtschaftlichen Folgen solcher selektiven Interventionen sind also unklar. Allerdings können die gerade genannten Studien auch aus gesamtwirtschaftlicher Sicht einen wichtigen Aspekt beleuchten: Wenn schon in Verkehrsinfrastruktur investiert werden soll, so sollte dies zumindest dort geschehen, wo die Grenzerträge solcher Investitionen am höchsten sind. Diesbezüglich können nach Regionen, Sektoren oder Verkehrsträgern aufgeschlüsselte Studien durchaus wertvolle Anhaltspunkte geben.

Zur Verdeutlichung des Ansatzes sei hier zumindest eine sehr bekannte Arbeit von Biehl (1991) in Grundsätzen skizziert. Biehl (1991) stellt analog zu dem oben schon geschilderten Vorgehen eine Produktionsfunktion in den Mittelpunkt seiner Analyse, diesmal aber nicht auf gesamtwirtschaftlicher, sondern auf regionaler Ebene (NUTS II). Anstatt der schon bekannten Faktoren K , L und G tauchen jetzt aber andere bzw. zusätzliche Größen auf, die für das für eine Region erreichbare Produktionspotential von Bedeutung sind. Biehl (1991) geht es also nicht um den *tatsächlich realisierten* Output in einer Periode, sondern vielmehr um den *potentiell* realisierbaren. Der Autor formuliert die These, dass eine bessere regionale Ausstattung mit Infrastruktur ein höheres BIP und eine höhere Beschäftigung zur Folge hat, bezieht diese Aussage aber nur auf das Produktionspotential: „The values *actually realised* may differ, as there can be other factors that influence the rate of utilisation of infrastructure capacities“ (Biehl, 1991, Hervorhebung im Original).

Die Potentialfaktoren in der Produktionsfunktion sind bei BIEHL nicht – wie in manchen ähnlich gelagerten Studien – nach Plausibilität ausgewählt, sondern aus eigenen grundlegenden Überlegungen zum Charakter von Infrastruktur abgeleitet: „Infrastructure, location, agglomeration and sectoral structure are considered to be the four main determinants of the development potential of a region“ (Biehl, 1991).²⁵

Dementsprechend stellt Biehl (1991) eine „Quasi-Produktionsfunktion“,

$$RDP = f(I, L, A, S),$$

auf, in der I ein Index für die Infrastrukturausstattung einer Region, L ein Index für die Lagegunst (location), A ein Index für das Ausmaß der Agglomeration (agglomeration) und S ein Index der Wirtschaftsstruktur (sectoral structure) einer Region ist.²⁶ Der Index für Infrastrukturausstattung ist ein Aggregat, das sich auf vier Teilbereiche bezieht:

- Verkehr (Straßen, Eisenbahnen, Wasserwege, Flughäfen, Häfen)

²⁵ Auf die Darstellung der Gründe, die Biehl (1991) zu dieser Auswahl der Potentialfaktoren führen, sei hier aus Platzgründen verzichtet und auf die Originalarbeit verwiesen.

²⁶ Der Begriff Quasi-Produktionsfunktion rührt daher, dass neben oder anstatt der klassischen Produktionsfaktoren, wie Arbeit und Kapital, räumliche Potentialfaktoren, wie etwa I , L , A , und S , einbezogen werden.

- Telekommunikation (Telefone, Telexanschlüsse)
- Energieversorgung (Elektrizitätsnetze, Kraftwerke, Ölpipelines, Ölraffinerien, Gasnetze)
- Bildung (Universitätsausbildung, Berufsausbildung).

Alle Größen werden in physischen Einheiten gemessen, nicht in monetären. Die Lagegunst wird analog zu graphentheoretischen Maßzahlen als Summe der Distanz einer Region zu allen anderen Regionen abgebildet. Agglomeration wird als Bevölkerungs- bzw. Beschäftigungsdichte der Region (z. B. Beschäftigte pro km²) bestimmt. Die Wirtschaftsstruktur wird als prozentualer Anteil von Industrie und Dienstleistungen am gesamten BIP oder der Gesamtbeschäftigung einer Region gemessen. Mithilfe dieser Variablen schätzt Biehl im nächsten Schritt eine Cobb-Douglas-Quasi-Produktionsfunktion und kann dann ebenso wie in den bisher besprochenen Produktionsfunktionen Outputelastizitäten bezüglich jedes Potentialfaktors und des Infrastrukturindex ermitteln. Hinsichtlich der Infrastrukturausstattung kommt Biehl auf eine Elastizität von 0,19 und liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung wie die makroökonomischen Studien. Möglicherweise ist der Wert aber zu niedrig, da er keine Spillover-Effekte berücksichtigt. Irritierend erscheint zunächst der Outputelastizitätswert bezüglich der Lagegunst, der -0,44 beträgt. Bei der Interpretation des negativen Vorzeichens dieser Größe ist aber zu beachten, dass gemäß Konstruktion der Messgröße die bessere Lagegunst mit niedrigeren Messwerten verbunden ist. Mit anderen Worten, eine Verbesserung der Lagegunst um 1 % erhöht den regionalen Output um 0,4 %.

An der Studie von Biehl (1991) wird bereits deutlich, dass die Einbeziehung einer Erreichbarkeitsvariable, wie der Lagegunst, möglicherweise ein vielversprechender Ansatz ist, sofern er wirtschaftstheoretisch hinreichend begründet werden kann. Es wird damit der oben mehrfach geäußerten Kritik zumindest ein Stück weit entgegengekommen, dass die herkömmlichen Produktions- und Kostenfunktionsschätzungen den Netzcharakter vieler Infrastrukturbereiche nicht ausreichend berücksichtigen und damit falsche Politikempfehlungen nahelegen können. Investitionen in Verkehrsinfrastruktur nützen nur dann etwas, wenn sie die Wirkungskette von Verkehr zu wirtschaftlicher Aktivität wirklich beeinflussen. Indikatoren wie Erreichbarkeit sind ein erster Schritt, um die Allokation von Investitionsmitteln sinnvoll, d. h. wirkungsvoll, zu leiten.²⁷ Diese Art von Studien hat das Potential, einen bedeutenden Beitrag zur Engpassanalyse zu leisten – ein Vorteil, den die oben besprochenen makroökonomischen Ansätze nur sehr eingeschränkt haben.

Speziell für Deutschland untersucht Blum (1982) mit einem ähnlichen methodischen Ansatz wie Biehl (1991) die regionalen Wachstumseffekte von Verkehrsinfrastrukturinvestitionen. In seiner Produktionsfunktion vom Typ Cobb-Douglas tauchen allerdings etwas andere Variablen auf als bei Biehl (1991). Er untersucht 325 Kreise und kreisfreie Städte in

²⁷Mittlerweile beziehen auch andere Studien die Erreichbarkeitsvariable mit ein. Ein Überblick findet sich in Wegener (2011).

den Alten Ländern und regressiert den Output dieser Einheiten auf die Variablen Agglomeration, regionale Leistungsfähigkeit der Verkehrsnetze, ausgewiesene Gewerbeflächen (in km²), regionales Erholungspotential (gemessen in verfügbaren Hotelbetten), Naturbelastung („natural environment“, bestimmt als Anteil von Agrar-, Forst- und Wasserflächen an der Gesamtfläche) und die Hierarchiestruktur der regionalen Kommunen (Anzahl der Oberzentren, Regierungsbezirkssitze, Sitz einer Landes- oder Bundeshauptstadt). Die zuletzt genannte Variable soll das Einkommenspotential der einzelnen Typen von Kommunen abbilden. Blums Studie weist einen hohen Einfluss der Verkehrsinfrastruktur nach, vor allem der Straße (0,11 für Autobahnen und Bundesstraßen, 0,32 für alle anderen Straßen), weniger für Wasserwege und so gut wie keinen Effekt für die Schiene, die keinen statistisch signifikant von null verschiedenen Koeffizienten aufweist. Bei der Interpretation der Werte für die Straße ist darauf hinzuweisen, dass diese Werte nicht mit denjenigen der obigen Produktionsfunktionsschätzungen vergleichbar sind, da sie auf einer gänzlich anderen Methodik beruhen. Ähnliche Untersuchungen dieses Stils wurden von Cutanda und Paricio (1994) sowie Johansson (1996) durchgeführt.

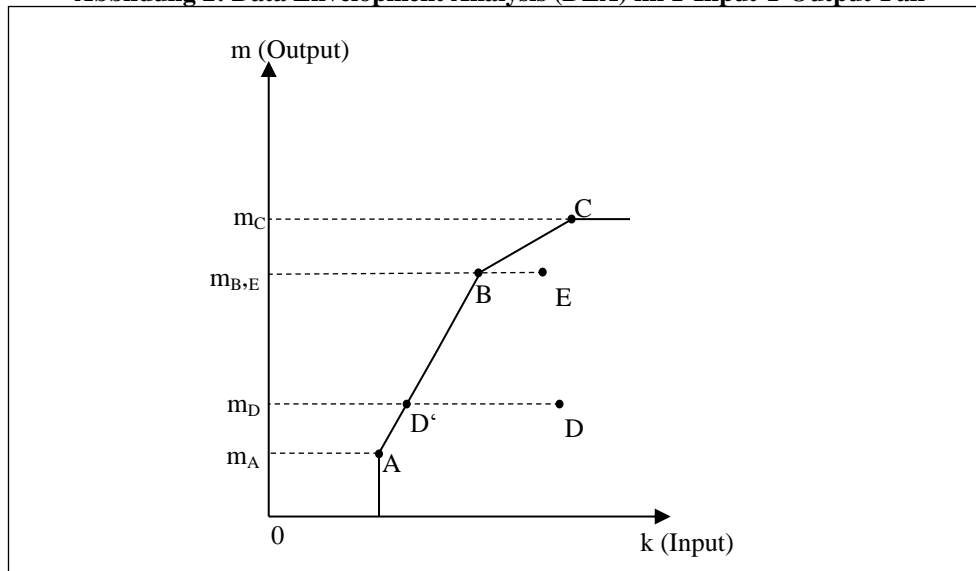
In den Kontext der Regionalen Produktionsfunktionsmodelle in der Tradition von Biehl (1991) gehören auch Meso-Ökonomische Modelle etwa vom Typ des an der Universität Karlsruhe entwickelten ASTRA-Modells (Assessment of Transport Strategies, Rothengatter, 2002). Das ASTRA-Modell ist ein systemdynamisches Modell, welches das gesamte EU27+2-Gebiet umfasst und aus 9 Untermodulen besteht, die entsprechend dem systemdynamischen Grundansatz durch Rückkopplungsschleifen miteinander verbunden sind: Ein Bevölkerungsmodul, ein makroökonomisches Modul, ein regionalökonomisches Modul, ein Außenhandelsmodul, ein Infrastrukturmodul, ein Verkehrsmodul, ein Umweltmodul, ein Fahrzeugflottenmodul und ein Wohlfahrtsmodul. Das makroökonomische Modul modelliert die Angebots- und Nachfrageseite einer Region und enthält ein Input-Output-Modell, das die Verflechtung von 25 Branchen umfasst, sowie ein Modell des Arbeitsmarktes und des Staates. Diese 25 Branchen sind auch Grundlage für zwei Handelsmodelle, in denen inner- und außereuropäischer Handel abgebildet wird. Diese beiden Modelle werden auch zur Vorhersage von Verkehrsflüssen im Gütertransport genutzt. Das Fahrzeugflottenmodul basiert auf einem diskreten Wahlmodell, das die Wahl der Fahrzeugtechnologie und der Fahrzeuggröße in Abhängigkeit der Fahrzeugeigenschaften und soziodemographischer Charakteristika des Fahrers prognostiziert.

Der Zusammenhang zu den gerade geschilderten Quasi-Produktionsfunktionsstudien ergibt sich aus der Tatsache, dass das Angebot einer Region als potentieller Output einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion modelliert wird, die als Variablen das Arbeitsangebot, den Kapitalstock, die Ausstattung einer Region mit natürlichen Ressourcen, die Totale Faktorproduktivität (als Maß des technischen Fortschritts und in Abhängigkeit von privatwirtschaftlichen Investitionen), Reisezeitersparnisse im Güterverkehr und die Arbeitsproduktivität enthält. Das ASTRA-Modell wurde in verschiedenen Forschungsprojekten in Deutschland und Italien und auf der EU-Ebene eingesetzt. Es ist weder ein reines makroökonomisches noch ein reines mikro- bzw. regionalökonomisches Modell, sondern stellt gewissermaßen die Verbindung zwischen beiden Aggregationsebenen her.

Bei allen Studien, die Erreichbarkeit als Variable in die Produktionsfunktion aufnehmen, stellt sich die Frage, ob diese Variable nicht mit anderen Variablen korreliert ist und so womöglich eine Doppelzählung beinhaltet. Viele Erreichbarkeitsindikatoren beruhen nämlich darauf, dass sie messen, wie viel an „ökonomischem Potential“ von einem bestimmten Ort aus in einer bestimmten Zeit oder zu bestimmten Kosten erreichbar ist. Im Gegensatz zum normalen Sprachgebrauch wird hier Erreichbarkeit nicht als passive Erreichbarkeit („Wie gut kann ich Dresden von anderen Orten aus erreichen?“) aufgefasst, sondern vielmehr im Sinn von aktiver Erreichbarkeit („Wie viel an Wirtschaftspotential kann von Dresden aus erreicht werden?“). Das Wirtschaftspotential wird aber zumeist in BIP-Größen oder Bevölkerung gemessen. Insofern sind hier ökonomische Probleme wie Scheinkorrelation oder umgekehrte Kausalität nicht auszuschließen.

Der Begriff der Erreichbarkeit spielt auch in Benchmarking-Studien eine Rolle, bei denen Regionen hinsichtlich ihrer Effizienz beim Einsatz von Verkehrsinfrastruktur verglichen werden. Diese Studien, die zunehmend an Popularität gewinnen, basieren teils auf der sogenannten Data Envelopment Analysis (DEA) und teils auf der SFA (vgl. Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Beide Methodiken sind schon in einer Fülle von Studien, etwa beim Vergleich von öffentlichen Unternehmen, wie Krankenhäusern, Verkehrsunternehmen, Schulen u. a. angewandt worden. Um das Vorgehen zu illustrieren, soll hier speziell für die DEA beispielhaft auf die Studie von Sarafoglou et al. (2006) für Schweden eingegangen werden. Die Autoren haben das Ziel, den Einfluss der Verkehrsinfrastrukturausstattung einer Region auf die Arbeitsproduktivität zu untersuchen. Sie setzen dazu zwei Verfahren ein. Zum einen eine Produktionsfunktionsschätzung, vergleichbar den gerade geschilderten Ansätzen von Biehl (1991) oder Blum (1982), auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, zum anderen die DEA.

Die DEA beruht ganz allgemein darauf, dass Input- und Outputmaße zueinander in Beziehung gesetzt werden. Am einfachsten lässt sich der Kerngedanke des Vorgehens an einer Produktion darstellen, die nur einen Output mithilfe eines einzigen Inputs erzeugt. Die folgende Abbildung 2 zeigt verschiedene Unternehmen, die durch unterschiedliche Input-Output-Kombinationen gekennzeichnet sind.

Abbildung 2: Data Envelopment Analysis (DEA) im 1-Input-1-Output-Fall

Quelle: nach Coelli et al. (2005), Darstellung des ifo Instituts.

Jeder der eingezeichneten Punkte A bis E entspricht einer bestimmten empirischen Beobachtung. Mithilfe des aus dem Operations Research stammenden Verfahrens der linearen Programmierung wird zu diesen Beobachtungswerten nun die eingezeichnete obere Umhüllende (der effiziente Rand) bestimmt. Diese Kurve beschreibt gewissermaßen die effiziente Produktionsfunktion, die von den effizientesten Beobachtungseinheiten in der Stichprobe generiert wird. Der horizontale Abstand der übrigen Beobachtungseinheiten von dieser Effizienzgrenze liefert ein Maß für deren relative Ineffizienz.²⁸

Analog lässt sich nun für Regionen vorgehen, wobei hier natürlich nicht nur ein einziger Input berücksichtigt wird, sondern eine Vielzahl. In der Studie von Sarafogou et al. (2006) werden die Inputs in folgende 5 Kategorien eingeteilt: 1) qualifizierte Arbeit, 2) lokale und intraregionale Verkehrsnetze, 3) interregionale Verkehrsnetze, 4) Kapitalintensität in einer Region und 5) industrieller Output einer Region. Die Outputvariable in der Untersuchung ist die Arbeitsproduktivität. Die unter 2) und 3) aufgeführten Inputvariablen werden nochmals feiner untergliedert. Bei 2) wird explizit ein Erreichbarkeitsmaß berücksichtigt (road accessibility).

Es zeigt sich, dass die 24 untersuchten Regionen in ihren Effizienzwerten stark unterschiedlich sind. Im Einzelnen beobachten die Verfasser der Studie, dass stark industrialisierte

²⁸Die exakte Vorgehensweise des DEA-Verfahrens wird in einer Vielzahl von Lehrbüchern geschildert. Die klassische Referenz ist Coelli et al. (2005).

Regionen hohe, die Metropolregionen hingegen sehr niedrige und die wenig besiedelten Regionen des Nordens wiederum hohe Effizienzwerte aufweisen. Die Autoren halten sich mit investitionspolitischen Folgerungen aus ihrer Untersuchung zwar zurück. Die Ergebnisse könnten aber so interpretiert werden, dass in den industrialisierten und nördlichen Regionen in der Vergangenheit das richtige Maß an Verkehrsinvestitionen getätigt wurde, dass aber die Metropolregionen möglicherweise durch Überlastung gekennzeichnet sind und dass deshalb dort verstärkt investiert werden sollte. Die Studie wirft aber auch mehrere methodische Fragen auf, sodass voreilige Schlussfolgerungen fehl am Platz sind. Dennoch verdeutlicht die Arbeit, wie die Methode funktioniert und welche Art von Schlussfolgerungen erwartet werden können. Es handelt sich um einen vielversprechenden Forschungsansatz, der möglicherweise auch zu internationalen Ländervergleichen eingesetzt werden könnte.

Hervorzuheben ist allerdings ein gewichtiger Unterschied zu den oben geschilderten Studien im Kontext der Aschauer-Debatte. Die erzielten Ergebnisse sind, wie bei jeder Benchmarking-Betrachtung, immer relativ zu den in der Stichprobe einbezogenen Beobachtungen zu sehen. Die ermittelten Effizienzwerte sind relativ zu den besten in der Stichprobe vertretenen Einheiten zu interpretieren, nicht absolut.

Eng verwandt mit dem Produktionsfunktionsansatz ist die bereits oben erwähnte SFA (Stochastic Frontier Analysis). Dieser Ansatz beruht darauf, dass an die Stelle einer traditionellen Schätzung einer Produktionsfunktion, die gewissermaßen eine Mittelung der beobachteten Variablenwerte darstellt, die Schätzung eines effizienten Randes tritt, sehr ähnlich wie bei der gerade beschriebenen DEA. Im Gegensatz zur DEA, die eine sogenannte parameterfreie Schätzung darstellt, ist die SFA jedoch ein parametrischer Ansatz. Mit anderen Worten: Die DEA unterstellt keine funktionale Form für die Ermittlung des effizienten Randes, die SFA hingegen schon. Zumeist wird eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion oder eine Translog-Funktion unterstellt. Analysen dieser Art können für eine Volkswirtschaft als Ganzes, eine Region oder auch einzelne Branchen durchgeführt werden. Zudem wird die Möglichkeit stochastischer Einflüsse eingeräumt.

Als Beispiel sei eine Arbeit von Delorme et al. (1999) genannt, in der eine Untersuchung für die Volkswirtschaft der gesamten USA in der Periode der Jahre 1948 bis 1987 angestellt wird. Die Autoren schätzen zunächst eine (durchschnittliche) Cobb-Douglas-Produktionsfunktion der traditionellen Art mit konstanten Skalenerträgen unter Einschluss der öffentlichen Infrastruktur G und erhalten eine Outputelastizität für den öffentlichen Kapitalbestand als Ganzes von 0,27, die in etwa im üblichen Bereich liegt. In einem zweiten Schritt wird sodann mithilfe der Schätzung einer stochastischen Effizienzgrenze gezeigt, dass eine negative Korrelation zwischen der technischen Ineffizienz und der öffentlichen Infrastruktur besteht. Investitionen in den öffentlichen Kapitalstock verringern also die technische Ineffizienz im privaten Sektor. Das wiederum bedeutet, dass eine Produktionsfunktionsschätzung, die technische Ineffizienz unberücksichtigt lässt, zu systematischen Fehlern führt. Wenn der öffentliche Kapitalstock die technische Ineffizienz verringert, diese Verringerung aber den volkswirtschaftlichen Output erhöht, dann hat die Ausblendung der

technischen Ineffizienz den Effekt, dass in den Schätzergebnissen der Einfluss der öffentlichen Infrastruktur überschätzt wird (Delorme et al., 1999). In Übereinstimmung damit finden Delorme et al. (1999) dass der direkte Effekt öffentlicher Infrastruktur auf den Output nicht signifikant von null verschieden ist, wenn die technische Ineffizienz explizit berücksichtigt wird. Infrastrukturinvestitionen wirken nach Auffassung der Autoren somit eher indirekt, indem sie im privaten Sektor die technische Ineffizienz abbauen. Die Verfasser generalisieren ihr Resultat dahingehend, dass Investitionen überhaupt keinen direkten Einfluss auf den volkswirtschaftlichen Output haben – eine sicherlich diskussionsfähige Aussage. Für Deutschland gibt es nach Wissen der Verfasser bisher keine veröffentlichte SFA-Studie dieser Art. Arbeiten dazu werden aber an der Universität Münster durchgeführt und sind in Vorträgen schon vorgestellt worden (Allroggen et al., 2013). Hier wird neben der Verringerung der technischen Ineffizienz darauf abgestellt, dass zusätzliche Infrastrukturinvestitionen auch die gesamte Effizienzgrenze nach oben verschieben könnten und damit Wachstumspotential für Regionen oder Volkswirtschaften schaffen könnten. Ob dieses Potential dann auch ausgenutzt wird, ist eine andere Frage. Im Rahmen der Debatte um das sogenannte „balanced growth“ wurden Fragen dieser Art schon in den 1950er Jahren diskutiert (Hirschman, 1958).

7. Neue Wachstumstheorie

Im Rahmen eines Artikels über Produktivitäts- und Wachstumswirkungen von Verkehrsinfrastrukturinvestitionen mag es überraschend erscheinen, dass die Neue Wachstumstheorie erst am Schluss zur Sprache kommt. Nach Ansicht und Kenntnisstand der Verfasser ist jedoch die Aussagekraft dieser Theorie – ähnlich wie im Fall der Neuen Ökonomischen Geographie - vorerst noch begrenzt. Die Modelle der Neuen Wachstumstheorie sind mathematisch sehr komplex und empirisch schwer anwendbar. Hinzukommt, dass es, wie schon in der herkömmlichen Wachstumstheorie, auch in der Neuen Wachstumstheorie bisher nicht so richtig gelingen will, dem spezifischen Charakter der Verkehrsinfrastruktur als Netz gerecht zu werden.

Die Modelle der Neuen Wachstumstheorie berücksichtigen öffentliche Infrastruktur zumeist auf zwei Weisen. Im ersten Ansatz wird in die makroökonomische Produktionsfunktion, die dem jeweiligen Modell zugrundeliegt, neben den klassischen Inputs Arbeit und Kapital das öffentliche Kapital („public capital“) als weiterer Input aufgenommen (zusammen mit einer Finanzierungsrestriktion für den Staat). Im zweiten Ansatz wirkt das öffentliche Kapital direkt auf die Variable des technischen Fortschritts, die Totale Faktorproduktivität (vgl. Abschnitt 2).

Archetypus der ersten Modellvariante ist ein im Jahr 1990 entwickeltes Modell von Barro (1990), in dem das öffentliche Kapital im Sinne eines klassischen öffentlichen Gutes, also insbesondere ohne Rivalität im Konsum, eingeht. In späteren Modellen werden Konsumrivalität und Stau ergänzt (z.B. Barro und Sala-i-Martin, 1992; Ott und Turnovsky, 2005) und damit wesentliche Elemente der Verkehrsinfrastruktur berücksichtigt. Auch damit kann jedoch nicht der spezifische Netzcharakter abgebildet werden, vor allem nicht die Bedeu-

tung einzelner Knoten und Kanten eines Verkehrsnetzes für die Produktivitäts- und Wachstumswirkungen einer bestimmten Volkswirtschaft. Ebenso können Erreichbarkeitswirkungen mit dieser Modellierung nicht erfasst werden.

Diesem Nachteil steht allerdings als Vorteil gegenüber, dass es in einigen Modellen der Neuen Wachstumstheorie möglich ist, einen volkswirtschaftlich optimalen Bestand an Infrastrukturkapital zu bestimmen. Eines der Hauptprobleme der politischen Diskussion ist, dass in der Praxis eine derartige Messgröße für den „optimalen“ Modernitätsgrad oder „optimalen“ Bestand an Infrastruktur fehlt. Im Rahmen der Wachstumstheorie ist es jedoch möglich, optimale Wachstumspfade abzuleiten, aus denen wiederum auf den in jeder Periode optimalen Kapitalbestand geschlossen werden kann. Damit kann man z.B. auch Aussagen über das „richtige“ Verhältnis von Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen ableiten. Als Beispiel sei hier eine Studie von Kalaitzidakis und Kalyvitis (2005) angeführt. Die beiden Autoren entwickeln zunächst ein theoretisches Modell der endogenen Wachstumstheorie und führen dann darauf aufbauend eine empirische Schätzung mithilfe eines kanadischen Datensatzes durch. Die zentrale Idee des theoretischen Modells besteht darin, den volkswirtschaftlichen Kapitalstock in einen öffentlichen und einen privaten Anteil aufzuteilen, mit einer konstanten Abschreibungsrate für den privaten und einer endogen bestimmten variablen Abschreibungsrate für den öffentlichen Kapitalstock. Die Abschreibungsrate für den öffentlichen Kapitalstock ist eine Funktion des Verhältnisses von Ersatzinvestitionen zum gesamtwirtschaftlichen Output. Finanziert werden beide Arten von Investitionen über eine Steuer auf den im privaten Sektor erzeugten Output. Mit diesen Annahmen, lässt sich ableiten, dass die langfristige Wachstumsrate der Volkswirtschaft entscheidend von dem Mischungsverhältnis zwischen Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen abhängt. Eine Reallokation kann die volkswirtschaftliche Wachstumsrate unter Umständen erhöhen. Die empirische Schätzung bestätigt dieses Resultat. Interessanterweise kommen die Autoren zu dem Schluss, dass im Fall Kanadas eine Umschichtung von den Ersatzinvestitionen zu den Erweiterungsinvestitionen die Wachstumsrate erhöhen würde. Offenbar sind dieser relevanten und vielversprechenden Studie bisher nur wenige weitere empirisch orientierte Arbeiten gefolgt.

Die zweite Modellvariante der Neuen Wachstumstheorie modelliert den Einfluss der Infrastruktur nicht über die Inputs in der makroökonomischen Produktionsfunktion, sondern über den Einfluss auf die Totale Faktorproduktivität. Wie in Abschnitt 2 schon beschrieben gibt in der gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion

$$Y = A(t)F(K(t), L(t)),$$

der Lageparameter $A(t)$ das technische Niveau einer Volkswirtschaft bzw. die in einer Volkswirtschaft erreichte Produktivität der Produktionsfaktoren K und L (die sogenannte Totale Faktorproduktivität) wieder. Dieser Parameter kann als von der Ausstattung mit Infrastruktur abhängig aufgefasst werden:

$$A(t) = A(G(t)),$$

wobei G den Bestand an Infrastrukturkapital bezeichnet, A entspricht hier der gesamtwirtschaftlichen Produktivität. Zumeist wird die funktionale Form von A so angenommen, dass A in G steigt. Unter geeigneten weiteren Modellannahmen führt dies dazu, dass die jeweilige Volkswirtschaft nicht mehr durch abnehmende Grenzerträge der Produktionsfaktoren gekennzeichnet ist, wie im neoklassischen Wachstumsmodell à la Solow und Swan, sondern durch konstante oder sogar zunehmende Grenzerträge. Dies bedeutet wiederum, dass durch zusätzliche Investitionen in Infrastruktur permanent steigende Wachstumsraten möglich werden, wohingegen dies im neoklassischen Wachstumsmodell nur vorübergehend möglich ist. Dort konvergieren die Wachstumsraten aller makroökonomischen Variablen immer wieder gegen ihre Steady-State Werte. Deshalb wird auf verschiedene Weise versucht, die mikroökonomischen Wirkungsmechanismen genauer zu modellieren, die ausgehend von Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur zu einem höheren Produktivitätsniveau führen. In der Literatur werden Phänomene, wie reduzierte Reisekosten und zunehmende Arbeitsteilung (zwischen Unternehmen und Regionen), einbezogen. Im Modell von Schiffbauer (2005), das sich in erster Linie auf die Telekommunikationsinfrastruktur konzentriert, senken Investitionen in Infrastruktur Koordinations- und Transportkosten für Zwischenprodukte. Dadurch nimmt die Nachfrage nach Zwischenprodukten zu und FuE-Aktivitäten zur Erzeugung weiterer Zwischenprodukte werden angeregt. Dies wiederum erhöht die Totale Faktorproduktivität und damit das volkswirtschaftliche Wachstum. Einen anderen Weg schlägt Bröcker (2013) ein, dessen Modell darauf beruht, dass Transportkostensenkungen bereits bestehende Wissens-Spill-Overs noch weiter verstärken. Auch Modelle dieses Typs scheinen jedoch noch zu stilisiert, um konkrete Handlungsempfehlungen hinsichtlich detaillierter Investitionsstrategien ableiten zu können.

Afraz et al. 2006 kalibrieren ein Modell der Neuen Wachstumstheorie im Stil von Barro und Sala-i-Martin (1992, 2003) für das EU-15 Gebiet, um empirische Aussagen zu gewinnen. In diesem Modell wird Stau als eine Funktion des Verhältnisses von Output Y zum Infrastrukturbestand G aufgefasst. Die makroökonomische Produktionsfunktion wird damit zu

$$Y(t) = A(t)K(t)f\left(\frac{G(t)}{Y(t)}\right),$$

mit $f' > 0$ und $f'' < 0$, wobei A wiederum die Totale Faktorproduktivität und K das eingesetzte Kapital bezeichnen. Eine Zunahme von G erhöht zwar den volkswirtschaftlichen Output, führt aber zu einem erhöhten Stauniveau und damit in der nächsten Periode wieder zu einem geringeren Output. Dieser muss durch eine Erhöhung von G kompensiert werden. Damit hängt der Output aber letztlich von sich selbst ab (wie bereits die obige Formel verdeutlicht). Dies verkompliziert die numerische Simulation eines solchen Modells. Die Simulationen zeigen deshalb eine hohe Schwankungsbreite der ermittelten Wachstumsraten.²⁹

²⁹Ein weiteres Beispiel für die Einbeziehung von Stau liefert das Wachstumsmodell von Montolio und Solé-Ollé (2009) für spanische Regionen auf der NUTS III Ebene.

Eine alternative Betrachtungsweise der Wirkung von Infrastrukturinvestitionen unter Berücksichtigung von Staus ist, diese als eine Verbesserung der Erreichbarkeit aufzufassen. Dies erfolgt beispielsweise in regionalökonomischen Studien, nach dem oben schon in Umrissen dargestellten Typus, in denen die Wachstums- oder Produktivitätskennziffern einer Region durch Erreichbarkeitsmaße erklärt werden (siehe z. B. Hartgen und Fields, 2009 und Prud'homme und Lee (1999) für Städte bzw. urbane Aggregationsräume). Die Aufarbeitung dieser Literatur muss einer künftigen Arbeit vorbehalten bleiben.

8. Zusammenschau der Ergebnisse

Wenngleich die zusammengetragenen Studien teilweise zu recht unterschiedlichen Ergebnissen und Aussagen gelangen, so lassen sich doch einige zentrale Erkenntnisse extrahieren, die fast allen Studien gemein sind. Diese sollen in verdichteter Form kurz dargestellt werden:

Im Durchschnitt sind die Wachstumseffekte zusätzlicher Verkehrsinfrastrukturinvestitionen verhältnismäßig gering. Die Outputelastizitäten liegen im Mittel bei 0,05 bis 0,06.³⁰ Mit anderen Worten, eine Zusatzinvestition in die Verkehrsinfrastruktur von 10 % des bestehenden Kapitalstocks erzeugt ein BIP-Wachstum von 0,5 % bis 0,6 %. Hinter diesem Ergebnis verbergen sich allerdings eine Vielfalt unterschiedlicher theoretischer Ansätze, unterschiedlicher Schätzmethoden, unterschiedlicher Datensätze (Zeitreihen, Querschnittsdaten, Paneldaten), unterschiedlicher geographischer Gebiete (Länder, Regionen) und unterschiedlicher Sektoren. Bei Produktionsfunktionsansätzen liegen die Outputelastizitäten im Allgemeinen höher als bei Kostenfunktionsschätzungen. Auch können die Outputelastizitäten für einzelne Branchen durchaus höher liegen als 0,05 bis 0,06. Im Allgemeinen sind sie für Branchen des Verarbeitenden Gewerbes (0,082) höher als für die Volkswirtschaft insgesamt und höher als in den Dienstleistungsbranchen. Die Wachstumseffekte variieren dabei von Verkehrsträger zu Verkehrsträger. Investitionen in die Straße haben höhere Wachstumseffekte als Investitionen in die Schiene oder in Flughäfen. Dieses Ergebnis wird allerdings sehr stark durch die speziellen Transportverhältnisse in den USA bestimmt, in denen der Lkw-Transport eine dominierende Rolle spielt. Die Outputelastizitäten sind für die USA generell höher als für europäische Länder. Die langfristigen Outputelastizitäten sind in der Regel höher als die kurzfristigen, und die Elastizitätswerte sind auf nationaler Ebene höher als auf regionaler Ebene. Der Grund besteht darin, dass bei Studien auf Regionalebene häufig die Netzwerkexternalitäten und Spillover-Effekte vernachlässigt werden, die von der einen Region auf die anderen ausgeübt werden.

Auch stellen nur sehr wenige Studien den Produktivitätsgewinnen die volkswirtschaftlichen Kosten der Zusatzinvestitionen gegenüber. Daraus, dass die Wachstums- und Produktivitätsgewinne positiv sind, folgt noch nicht, dass sich die Investitionen lohnen. Dies gilt vor allem auch, wenn die erzielbaren volkswirtschaftlichen Renditen mit den Renditen in anderen Infrastrukturbereichen verglichen werden.

³⁰Für die öffentliche Infrastruktur insgesamt geht man heute von Werten zwischen 0,1 bis 0,2 aus.

Hinsichtlich der Politikimplikationen bleibt das Bild unklar. Alle genannten Studien beziehen nur materielle Kenngrößen ein (wie Outputwachstum, Kostensenkungen, volkswirtschaftliche Renditen). Nur sehr wenige Studien berücksichtigen Wohlfahrtsmaße (z. B. Analysen, die auf den eingangs erwähnten CGE-Modellen beruhen). Investitionsentscheidungen sollten jedoch auch die Bürgerpräferenzen berücksichtigen. Dies geschieht traditionellerweise in Nutzen-Kosten-Analysen (etwa der Bundesverkehrswegeplanung), die jedoch den Nachteil haben, lediglich eine partialanalytische Perspektive einzunehmen und Rückkopplungen auf die Volkswirtschaft als Ganzes auszublenden.

9. Danksagung

Die Autoren danken Alexander Eck und Christian Thater für kritische Kommentare und redaktionelle Hilfe.

10. Quellen

- Afraz, N., Aquilina, M. Lilico, A. (2006), Impact of transport infrastructure on economic growth, Annex 6 to Final Report of COMPETE Analysis of the contribution of transport policies of the competitiveness of the EU economy and comparison with the United States. Funded by European Commission-DG TREN, Karlsruhe, Germany.
- Albala-Bertrand, J.M. und Mamatzakis, E.C. (2004), The Impact of Public Infrastructure on the Productivity of the Chilean Economy, *Review of Development Studies*, 8, S. 266-278.
- Allroggen, F., Scheffler, R. und Malina, R. (2013), The Impact of Transport on Regional Production Frontiers and Regional Efficiency, Vortrag auf der Jahreskonferenz der International Transportation Economics Association.
- Aschauer, D. (1989a), Does public capital crowd out private capital?, *Journal of Monetary Economics*, S. 171-188.
- Aschauer, D. (1989b), Is public expenditure productive?, *Journal of Monetary Economics*, S. 177-200.
- Aschauer, D. (1989c), Public investments and productivity growth in the Group of Seven, *Economic Perspectives*, S. 17-25.
- Barro, R.J. (1990), Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth, *Journal of Political Economy*, 98, S. 103-125.

- Barro, R.J. und Sala-I-Martin, X. (1992), Public Finance in Models of Economic Growth, *Review of Economic Studies*, 59, 4, S. 645-661.
- Barro, R.J. und Sala-I-Martin, X. (2003), *Economic Growth*, 2nd. Edition, MIT Press, Cambridge.
- Bertenrath, R., Thöne, M., und Walter, C. (2006), Wachstumswirksamkeit von Verkehrsinvestitionen in Deutschland, Forschungsauftrag 13/04 des Bundesministeriums der Finanzen, *FiFo Berichte*, Nr. 7, Mai 2006.
- Biehl, D. (1991), The role of infrastructure in regional development, in: R. Vickerman (Hrsg.), *Infrastructure and Regional Development*, London, 1991, S. 9-35.
- Blum, U. (1982), Effects of transportation investments on regional growth: A theoretical and empirical investigation, *Twenty First Congress of the Regional Science association, Papers of the Regional Science association*, Vol. 49, S. 167-184.
- Bom, P.D. und Ligthart, J.E. (2008), How Productive is Public Capital? A Meta-Analysis, *CESifo Working Paper Series*, Nr. 2206.
- Bröcker, J. und M. Fritsch (2012), *Ökonomische Geographie*, München.
- Bröcker, J. und J. Mercenier (2011), General equilibrium models for transportation economics, in: A. De Palma, R. Indsey, E. Quinet, R. Vickerman (Hrsg.), *A Handbook of Transportation Economics*, Cheltenham.
- Bröcker, J., Korzhenevych, A. und Schürmann, C. (2010), Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 44, S. 795-811.
- Bröcker J. (2013), Wider economic benefits from communication-cost reductions: an endogenous growth approach, *Environment and Planning B: Planning and Design* 40(6): 971 – 986.
- Button, K. (2010), *Transport Economics*, 3rd Edition, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Cadot, O., Roller, L.-H. und Stephan, A. (1999), A political economy model of infrastructure allocation: an empirical assessment, *CEPR Discussion paper*, Nr. 2336.
- Canning, D. und Bennathan, E. (2000), The social rate of return on infrastructure investments, *Policy Research Working Paper Series*, Nr. 2390, The World Bank.

- Charlot, S. und Schmitt, B. (1999), Public Infrastructure and Economic Growth in France's Regions, Working Paper, Wien.
- Coelli, T.J., Rao, D., O'Connell, C. und Battese, G. (2005), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2. Auflage, Berlin.
- Cohen, J. und Morrison, C. (2003), *Public infrastructure investment, inter-state spillovers, and manufacturing costs*, Mimeo.
- COMPETE - Schade, W., Doll, C. Maibach, M., Peter, M., Crespo, F., Carvalho, D., Caido, G., Conti, M., Lilico, A. und Afraz, N. (2006), *COMPETE Final Report: Analysis of the contribution of transport policies to the competitiveness of the EU economy and comparison with the United States*, Funded by European Commission – DG TREN, Karlsruhe, Germany.
- Cutanda, T.A. und Paricio, T.J. (1994), Infrastructure and regional economic growth: The Spanish case, *Regional studies: Journal of the Regional Studies Association*, Vol. 28, S. 69-77.
- De La Fuente, A. und Vives, X. (1997), Infrastructure and Education as Instruments of Regional Policy: Evidence from Spain, *Economic Policy*, Vol. 10, No. 20, April 1995, 13-51.
- Delorme, C., Thompson, H. und Warren, R. (1999), Public Infrastructure and Private Productivity: A Stochastic-Frontier Approach, *Journal of Macroeconomics*, Vol. 21, S. 563-576.
- Fernald, J.G. (1999), Roads to Prosperity? Assessing the Link between Public Capital and Productivity, *American Economic Review*, Vol. 89, S. 619-638.
- Fujita, M., Krugman P. und Venables, A.J. (1999), *The Spatial Economy, Cities, Regions, and International Trade*, MIT Press, Cambridge.
- Gramlich, E.M. (1994), Infrastructure Investment: A Review Essay, *Journal of Economic Literature*, Vol. 32, S. 1176-1196.
- Hartgen, D.T. und Fields, G.M. (2009), Gridlock and Growth: The Effect of Traffic Congestion on Regional Economic Performance, *Policy Study Nr. 371*, Reason Foundation.
- Henderson, J. und Quandt, R. (1971), *Microeconomic theory – A mathematical approach*, 2. Auflage, McGraw-Hill Book Company, Düsseldorf, S. 206-253.

- Hirschman, A.O. (1958), *The Strategy of Economic Development*, New Haven.
- Hummels, D. (2007), International Transportation Costs and Trade in the Second Era of Globalization, *Journal of Economic Perspectives*, 21(3), S.131-154.
- Jiwattanakulpaisarn, P., Noland, R. und Graham, D. (2012), Marginal Productivity of Expanding Highway Capacity, *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, Vol. 46, S. 333-347.
- Jochimsen, R. (1966), *Theorie der Infrastruktur: Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung*, Tübingen.
- Kalaitzidakis, P. und Kalyvitis, S. (2005), „New“ Public Investment and/or Public Capital Maintenance for Growth? The Canadian Experience, *Economic Inquiry*, Western Economic Association International, Vol. 43, S. 586-600.
- Kamps, C. (2004), New estimates of Government net capital stocks for 22 OECD countries 1960-2001, *IMF Working papers*, Nr. 67.
- Kamps, C. (2005), Is there a lack of public capital in the European Union?, *EIB Papers*, 1/2005, European Investment Bank, Economics Department.
- Kemmerling, A. und Stephan, A. (2002), The Contribution of Local Public Infrastructure to Private Productivity and Its Political Economy: Evidence from a Panel of Large German Cities, *Public Choice*, 113, S. 403-424.
- Kemmerling, A. und Stephan, A. (2008), The politico-economic determinants and productivity effects of regional transport investment in Europe, *EIB-Papers 7/2008*, European Investment Bank, Economics Department.
- Komar, W. und Ragnitz, J. (2002), Effekte eines beschleunigten Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland – Das Beispiel der A 72 Chemnitz-Leipzig, *Wirtschaft im Wandel, Zeitschrift des Instituts für Wirtschaftsforschung (IWH) Halle*, Nr. 12/2002, S. 360-365.
- Lafourcarde, M. und Thisse, J. (2011), New economic geography: the role of transport costs, in: A. De Palma, R. Indsey, E. Quinet, R. Vickerman (Hrsg.), *A Handbook of Transport Economics*, Cheltenham.
- Lakshmanan, T.R. (2011), The broader economic consequences of transport infrastructure investments, *Journal of Transport Geography*, Vol. 19, Ausgabe 1, S. 1-12.

- Lakshmanan, T.R. und Anderson, W.P. (2002), Transportation Infrastructure, Freight Services Sector and Economic Growth, A White paper prepared for the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Center for Transportation Studies, Boston University.
- Link, H., Dodgson, J.S., Maibach, M. UND Herry, M. (1999), *The Costs of Road Infrastructure and Congestion in Europe*, Heidelberg-New York.
- Melo, P., Graham, D. und Brage-Ardao, R. (2013), The productivity of transport infrastructure investment: A meta-analysis of empirical evidence, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 43, S. 695-706.
- Montolio D. und Solé-Ollé, A. (2009), Road investment and regional productivity growth: the effects of vehicle intensity and congestion, *Papers in Regional Science*, Vol. 88 (1), S. 99-118.
- Nadiri, M.I. und Mamuneas, T. (1998), The effects of public infrastructure and R&D capital on the cost structure and performance of the U.S. manufacturing industries, *The Review of Economic and Statistics*, Vol. 76, S. 22-37.
- Neary, J.P. (2001), Of Hype and Hyperbolas: Introducing the New Economic Geography, *Journal of Economic Literature*, 39, S. 536-561.
- Ott, I. und Turnovsky, S.J. (2005), Excludable and Non-Excludable Public Goods: Consequences for Economic Growth, *Cesifo Working Paper*, Nr. 1423, München.
- Pereira, A.M. und Andraz, J. (2005), Public Investment in Transportation Infrastructure and Economic Performance in Portugal, *Review of Development Economics*, Vol. 9, S. 177-196.
- Pereira, A.M. und Roca-Sagales, O. (1999), Public capital formation and regional development in Spain, *Review of Development Economics*, Vol. 3, S. 281-294.
- Pereira, A.M. und Roca-Sagales, O. (2001), Infrastructures and private sector performance in Spain, *Journal of policy Modeling*, 23, S. 371-384.
- Pereira, A.M. und Roca-Sagales, O. (2003), Spillover effects of public capital formation: evidence from the Spanish regions, *Journal of Urban Economics*, 53, S. 238-256.
- Pfähler, W., Hofmann, U. und Bonte, W. (1996), Does extra public infrastructure capital matter?, *Finanzarchiv*, Vol. 53, S. 68-112.

- Pflüger, M. (2004), A Simple, Analytically Solvable, Chamberlinian Agglomeration Model, *Regional Science and Urban Economics*, 34, S. 565-573.
- Pflüger, M. (2007), Die Neue Ökonomische Geographie: Ein Überblick, Manuskript, Universität Passau, DIW Berlin, 2007.
- Pindyck, R.S. und Rubinfeld, D.L. (1998), *Econometric Models and Economic Forecasts*, 4. Auflage, Boston.
- PROGTRANS UND IWW-Karlsruhe (2007), Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstrassen in Deutschland, Gutachten im Auftrage des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin.
- Prud'homme, R. und Lee, C.W. (1999), Size, Sprawl, Speed and the Efficiency of Cities, *Urban Studies*, Vol. 36, S. 1849-1858.
- Romp, W. und de Haan, J. (2005), Public Capital and economic growth: A Critical Survey, *EIB Papers*, 2/2005, European Investment Bank, Economics Department.
- Romp, W. und de Haan, J. (2007), Public Capital and economic growth: a critical survey, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 8, S. 6-52.
- Roos, M. (2003), Internationale Integration und die Neue Ökonomische Geographie, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 4(1), S. 107-121.
- Rothengatter, W. (2002), Integration der Nutzen-Kosten-Analyse in ein System-Dynamik-Modell zur Bewertung verkehrspolitischer Strategien, in: G. Hauger (Hrsg), *Perspektiven der Verkehrssystemplanung: Festschrift für Peter Cerwenka*, S.353-368, IVS Schriften 14, Wien.
- RWI (2010), Verkehrsinfrastrukturinvestitionen – Wachstumsaspekte im Rahmen einer gestaltenden Finanzpolitik, Endbericht, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums der Finanzen, Januar 2010.
- SACTRA (1999), Transport and the Economy, Department of the Environment, Transport and the Regions, Published by the Stationary Office, The Publications Center, London.
- Sarafoglou, N., Andersson, A., Holmberg, I. und Ohlsson, O. (2006), Spatial Infrastructure and Productivity in Sweden, *Yugoslav Journal of Operations Research*, Vol. 16, S. 67-83.

- Schiffbauer, M. (2007), Calling for Innovations – Infrastructure and Sources of Growth, *DYNREG Working Papers*, 18/2007, Bonn Graduate School of Economics.
- Seitz, H. (1994), A dual economic analysis of the benefits of the public road network, *The Annals of Regional Science*, Band 27, S. 223-239.
- Seitz, H. und Licht, G. (1995), The impact of public infrastructure capital on regional manufacturing costs, *Regional Studies*, Vol. 29, S. 231-241.
- Sturm, J.E. und De Haan, J. (1995), Is public expenditure really productive? New evidence for the US and the Netherlands, *Economic Modelling*, Vol. 12, S. 60-72.
- Tatom, J.A. (1991), Public capital and private sector performance, Federal Reserve Bank of St. Louis.
- Thomas, R.L. (1997), *Modern Econometrics: An Introduction*, Harlow, United Kingdom.
- Wegener, M. (2011), Transport in models of economic development, in: A. De Palma, R. Indsey, E. Quinet, R. Vickerman (Hrsg.), *A Handbook of Transportation Economics*, Cheltenham.
- Wieland, B. (2007), Infrastruktur, in: O. Schöller, W. Canzler, A. Knie (Hrsg.), *Handbuch Verkehrspolitik*, S. 376-404.
- World Bank (1994), Annual Report.