Universität Hannover

Infrastruktur als Investitionsdeterminante von KMU[‡]

Ingrid Ott
Universität Lüneburg[*]

Susanne Soretz
Universität Hannover[**]

Diskussionspapier Nr. 329

Januar 2006

ISSN 0949 – 9962

JEL classification: D92, D62, H54, R53

Keywords: productive governmental spendings, capital adjustment, congestion

---

[‡]Dieser Beitrag wurde auf der *CR*EPS–Konferenz „Fortschritte in der MittelstandsForschung“ am 25. November 2005 präsentiert und diskutiert und wird im zugehörigen Tagungsband erscheinen. Wir bedanken uns bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern für wertvolle Anregungen.

[*]Universität Lüneburg, Institut für Volkswirtschaftslehre, 21 332 Lüneburg, ott@uni-lueneburg.de;

[**]Universität Hannover, Institut für Volkswirtschaftslehre, 30 167 Hannover, soretz@vwl.uni-hannover.de

Zusammenfassung

In diesem Papier wird untersucht, welche Auswirkungen die Verfügbarkeit von Infrastruktur auf die unternehmerische Investitionsentscheidung hat. Dabei ist unterstellt, dass Infrastruktur zum einen Input in der Produktionsfunktion ist und zum anderen die Höhe der Anpassungskosten beeinflusst. Als formaler Analyserahmen dient ein partialanalytisches dynamisches Modell. Da die Infrastruktur von Überfüllungseffekten betroffen sein kann, ist neben dem absoluten Umfang auch der vorherrschende Rivalitätsgrad zentral für das resultierende Gleichgewicht. Drei zentrale Einflusskanäle werden identifiziert: ein Produktions–, ein Anpassungskosten– und ein Niveaueffekt. Es zeigt sich, dass eine Ausweitung des Umfangs an Infrastruktur Investitionen in Kapital eindeutig erhöht, wohingegen vom Rivalitätsgrad uneindeutige Effekte auf die unternehmerische Investitionsentscheidung ausgehen.

1 Einleitung

Investitionen sind ein zentraler Bereich unternehmerischen Handelns, und ihre optimale Wahl ist entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg. Daher sind die Bestimmungsgründe von Investitionen der Ausgangspunkt für eine Vielzahl ökonomischer Analysen. Während einfache Modelle unterstellen, dass Output ohne Entstehung weiterer Kosten direkt in Maschinen oder Fabrikanlagen umgewandelt werden kann, gibt es mittlerweile eine umfassende Diskussion über die Bedeutung von Anpassungskosten, welche im Zusammenhang mit Investitionen in Kapital anfallen. Hall (2002) untersucht für mehrere Produktionsinputs wie Anpassungskosten wirken, wenn nicht alle Faktoren gleichgermaßen von Anpassungskosten betroffen sind. Jene Analysen, deren Fokus Kapitalanpassungskosten sind, interpretieren diese als steigende Funktion der Relation zwischen Investitionsumfang und Firmenkapitalstock. Andere Arbeiten stellen die ökonomischen Implikationen, die im Zusammenhang mit der Ausweitung des Faktors Arbeit einhergehen, in den Vordergrund (vgl. Hamermesh und Pfann (1996) oder Cooper und Haltiwanger (2003) für einen Überblick). Industriespezifische empirische Studien zeigen, dass unterschiedlichste Verläufe der Anpassungskostenfunktion existieren (vgl. bei Cooper und Haltiwanger (2003) auf Seite 2 unten, wo er verschiedene Studien nennt oder Hall (2004)). Allerdings wird in den genannten Analysen die Tatsache vernachlässigt, dass für viele Unternehmen die Verfügbarkeit von Infrastruktur ebenfalls ein zentrales Investitionskriterium darstellt.

Dieser Aspekt wird in einem anderen Zweig der Literatur thematisiert, dessen Fokus die Bedeutung von Infrastruktur für den Produktionsprozess ist. Grundlegende empirische Arbeiten hierzu stammen von Aschauer (1989) oder finden sich im Band von Munnell (1990). Die Einbettung produktiver Staatsausgaben in einen wachstumstheoretischen Kontext liefert die grundlegende Arbeit von Barro (1990). Sie wurde systematisch um Überfüllungsaspekte, Rivalität oder internationalen Handel erweitert (vgl. bspw. Eicher und Turnovsky (2000), Turnovsky (1999b, 1999a) oder Ott und Soretz (2004).) In diesen Studien spielen Anpassungskosten, wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Rolle. Sie finden sich bspw. in Turnovsky (1996) oder Chatterjee und Turnovsky (2004), allerdings umfassen die Anpassungskosten keinen Bezug zu Infrastruktur. Was damit in der bisherigen Forschung fehlt sind Aussagen dazu, welche Bedeutung dem staatlichen Produktionsinput als Investitionsdeterminante zukommt, wenn der Umfang an Infrastruktur wesentlich die Höhe der Anpassungskosten von Unternehmen beeinflusst.

An dieser Forschungslücke setzt der vorliegende Beitrag an. Ziel ist es, die genannten

Literaturzweige zu verbinden, indem die Abhängigkeit der Anpassungskosten von Infrastruktur explizit in einen Modellrahmen mit produktiven Staatsausgaben implementiert wird. Letztere werden häufig als Infrastruktur interpretiert, welche die Produktivität der privaten Inputs steigert. Als Anwendungsbeispiele können sämtliche Industrien herangezogen werden, die Infrastruktur zur Erstellung ihres Outputs benötigen. Beispielhaft seien die Möbelfabrik, welche ihre Güter direkt zu den Kunden liefert oder Reedereien, die Fährdienste anbieten, genannt. Im Rahmen eines dynamischen partialanalytischen Modells wird zunächst hinterfragt, wie ein Unternehmen seine Investitionsentscheidung trifft, wenn sein Ziel die intertemporale Maximierung des Firmenwertes ist und die Kapitalanpassungskosten umso niedriger sind, je besser die Ökonomie mit Infrastruktur ausgestattet ist. Ausgangspunkt ist die individuell verfügbare Infrastruktur, die sowohl vom absoluten Umfang als auch vom vorherrschenden Rivalitätsgrad determiniert ist. Die Einflusskanäle der Infrastruktur für die unternehmerische Investitionsentscheidung umfassen einen Produktionseffekt (Ansatzpunkt ist hierbei die Produktivität des zur Infrastruktur komplementären privaten Produktionsinputs) und einen Anpassungskosteneffekt. Es ist möglich, ein eindeutiges und sattelpunktstabiles Gleichgewicht zu ermitteln, welches den aus Sicht der Unternehmen optimalen Kapitalstock und die optimale Investitionsquote festlegt. Letztere ist unabhängig von der Höhe des Kapitalstocks und konstant. Da die zu Grunde liegende Produktionsfunktion linear–homogen ist, ist die Zahl der Unternehmen in diesem Wettbewerbsmarkt unbestimmt. Eine Änderung des gleichgewichtigen Kapitalstocks kann dann entweder als eine Ausdehnung der Anzahl von Unternehmen oder aber als eine Zunahme der Größe bestehender Firmen interpretiert werden. Dies ermöglicht außerdem die Interpretation der Wirkung einer Ausdehnung der verfügbaren Infrastruktur auf den resultierenden Kapitalstock.

Mit Hilfe komparativ dynamischer Analysen wird untersucht, welche Auswirkungen auf das Gleichgewicht induziert werden, wenn sich entweder der Bestand an Infrastruktur oder der Rivalitätsgrad ändert. Wie bereits bei der Ermittlung des Ausgangsgleichgewichts zeigt sich, dass die optimale Investitionsquote unabhängig vom Kapitalstock und konstant ist. Die Infrastruktur wirkt über unterschiedliche Einflusskanäle und folgende Teileffekte können abgeleitet werden: (i) Aufgrund der Komplementaritätseigenschaft hat die Infrastruktur Einfluss auf die Produktivität des privaten Inputs. Entsprechend lässt sich ein Produktionseffekt identifizieren. Hinzu kommt (ii) ein Anpassungskosteneffekt, da die Höhe der verfügbaren Infrastruktur direkt die Höhe der Anpassungskosten bestimmt. Zuletzt lässt sich (iii) ein Niveaueffekt ermitteln, der direkt dem Rivalitätsgrad zugeschrieben werden kann und ebenfalls Einfluss auf das Gleichgewicht nimmt. Es zeigt sich, dass bei einer Ausweitung des Infrastrukturbestandes der gleichgewichtige Kapitalstock eindeutig zunimmt, da sowohl über den Produktions– als auch den Anpassungskosteneffekt die Akkumulation aus Unternehmenssicht attraktiver wird. Ein anderes Ergebnis erhält man in Bezug auf Änderungen des Rivalitätsgrades: Eine Erhöhung bewirkt, dass die Anpassungskosten steigen, und die Akkumulation geht zurück. Gleichzeitig steigt jedoch aus Sicht der Unternehmen die Kapitalproduktivität vermeintlich an. Ursächlich hierfür ist ein negativer externer Effekt. Dieselbe Wirkungsrichtung geht von dem Niveaueffekt aus. Insgesamt ist damit unbestimmt, ob die Kapitalakkumulation bei einer Erhöhung der Rivalität zu– oder abnimmt, sondern es kommt darauf, welche Effekte überwiegen.

Das Papier ist folgendermaßen aufgebaut: Abschnitt 2 beginnt mit einer Darstellung des Modellrahmens und erläutert verbal die verschiedenen Einflusskanäle von Infrastruktur auf die Produktions– und die Anpassungskostenfunktion. Es folgt die formale Analyse der unternehmerischen Investitionsentscheidung in Kapitel 3. Inwiefern letztere durch die Ausstattung von Infrastruktur beeinflusst wird ist Thema von Abschnitt 4. Dem schließt sich die Analyse des Gleichgewichts sowie der transitorischen Dynamik an. Abschnitt 6 untersucht im Rahmen komparativ–dynamischer Analysen, welche Auswirkungen Änderungen der verfügbaren Infrastruktur auf das Gleichgewicht haben. Ansatzpunkt hierbei ist zum einen der absolute Umfang und zum anderen der vorherrschende Rivalitätsgrad. Das Papier schließt mit einer kurzen Zusammenfassung und einem Ausblick. Die formalen Herleitungen finden sich im Wesentlichen im Anhang.

2 Der Modellrahmen

Der von Unternehmen i produzierte Output Y_i wird unter Verwendung der Produktionsfaktoren Kapital K_i, Arbeit L_i sowie eines staatlich staatlich bereitgestellten Inputs G_s hergestellt. Die Produktionstechnologie ist linear–homogen in den privaten Inputs Kapital und Arbeit

$$Y_i(t) = F(K_i(t), L_i(t), G_s(t)) = L_i(t) \cdot f(k(t), G_s(t)) \quad , \tag{1}$$

wobei f den Output pro Arbeitseinheit und $k(t) \equiv \frac{K_i(t)}{L_i(t)}$ die Kapitalintensität bezeichnet.[1]

[1] Fortan sind die Zeitindizes dort, wo die Darstellung eindeutig ist, weggelassen.

Die Terme f_1 und f_2 repräsentieren die partiellen Ableitungen von f nach dem ersten bzw. dem zweiten Argument und es gilt $f_1 > 0, f_2 > 0, f_{11} < 0, f_{22} < 0$. Beide Kreuzableitungen sind identisch und positiv ($f_{12} = f_{21} > 0$). Die konstante Bevölkerung umfasst L Individuen. Von technischem Fortschritt wird abstrahiert.[2] Der öffentliche Input wird den Unternehmen kostenlos zur Verfügung gestellt, allerdings kann bei seiner Verwendung im Produktionsprozess Rivalität auftreten. Damit ist der öffentliche Input nicht zwingend ein reines öffentliches Gut. Formal wird dieser Sachverhalt durch die Überfüllungsfunktion

$$G_s(\varepsilon, G) = G k^{\varepsilon} K^{-\varepsilon}, \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1 \tag{2}$$

spezifiziert. Dabei bezeichnet G die insgesamt vorhandene Menge und G_s die tatsächlich verfügbare Menge des öffentlich bereitgestellten Produktionsinputs. Der Parameter K bezeichnet den aggregierten Kapitalstock, und ε als Rivalitätsgrad bildet ab, ob und in welchem Umfang der öffentliche Input durch Überfüllung gekennzeichnet ist: Für $\varepsilon = 0$ ist der staatliche Input ein reines öffentliches Gut, wohingegen $\varepsilon = 1$ den Spezialfall mit proportionaler Überfüllung repräsentiert, d. h. $G_s = G/L$.[3] Für jeden Rivalitätsgrad steigt die individuell verfügbare Menge G_s mit einer Ausweitung der staatlichen Leistungen G. Der Kapitalstock von Unternehmen i ist nicht konstant, sondern wird einerseits durch Abschreibungen reduziert, wobei die Abschreibungsrate mit δ bezeichnet ist. Andererseits erhöht sich der Kapitalstock, sofern das Unternehmen Brutto–Investitionen I_i tätigt. Damit sind die Netto–Kapitalinvestitionen in jeder Periode durch

$$\dot{K}_i = I_i - \delta K_i \tag{3}$$

gegeben. Im Gegensatz zu einfachen Modellen, in denen eine Einheit Output problemlos in eine Einheit Kapital getauscht werden kann ist hier unterstellt, dass im Zuge der

[2] Die strukturellen Ergebnisse des Modells würden durch die Implementierung von arbeitsvermehrendem technischem Fortschritt nicht verändert. Es würde lediglich die formale Darstellung komplexer.

[3] Diese Darstellung der Überfüllungsfunktion folgt der Modellierung bei Edwards (1990) und wird bspw. von Barro und Sala-I-Martin (1992) aufgegriffen. Daneben gibt es alternative Spezifikationen von Überfüllung, so modellieren bspw. Barro und Sala-I-Martin (2004) die Überfüllungsfunktion nicht als Relation zwischen öffentlichem Produktionsinput und Kapital, sondern ersetzen letzteres durch den Output. Eicher und Turnovsky (2000) unterscheiden absolute und relative Überfüllung. Ihrer Notation folgend beschreibt die hier vorliegende Spezifikation relative Überfüllung. Weiterhin ist zur Einschränkung der Definitionsbereiche der Überfüllungsparameter anzumerken, dass auch $\varepsilon > 1$ ökonomisch interpretiert werden kann. Es handelt sich dann um regionale öffentliche Güter (vgl. Edwards (1990)).

Kapitalinvestitionen Anpassungskosten ϕ anfallen. Deren Höhe hängt positiv vom Umfang der getätigten Investitionen und negativ von der verfügbaren Menge des öffentlichen Produktionsinputs ab. Die Anpassungskostenfunktion ist durch

$$\phi = \phi\left(\frac{I_i}{G_S}\right), \quad \phi' > 0, \quad \phi'' \geq 0 \tag{4}$$

gegeben und impliziert, dass die Kosten mit der Relation I_i/G_s steigen. Für $\phi'' > 0$ sind die Anpassungskosten konvex, wohingegen $\phi'' = 0$ den Fall linearer Anpassungskosten widerspiegelt.[4]

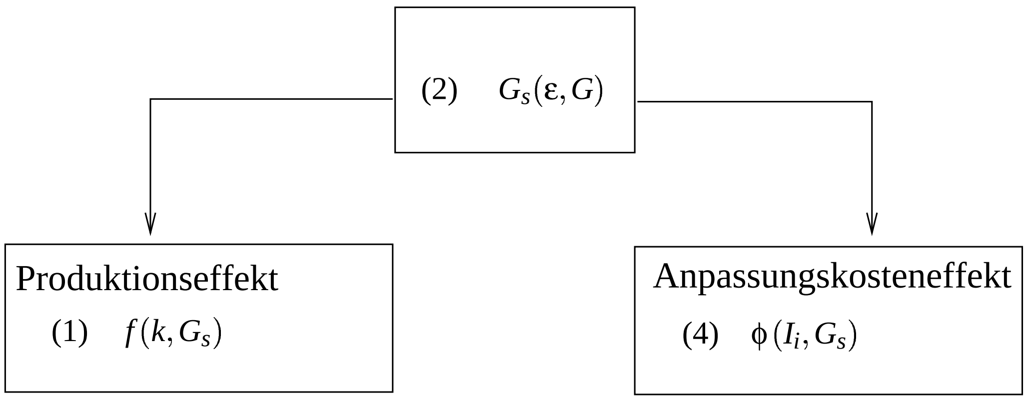

Abbildung 1: Einflusskanäle des öffentlichen Inputs

Mit den geschilderten Spezifikationen der Produktions–, Überfüllungs– und Anpassungskostenfunktionen ist es möglich, die verschiedenen Einflusskanäle des öffentlichen Inputs innerhalb des Modells und ihre Auswirkungen auf die Modelldynamik zu identifizieren.

[4] Cooper und Haltiwanger (2003) weisen darauf hin, dass der konkrete Verlauf der Anpassungskosten zwischen einzelnen Industrien stark variiert. So finden sich neben konvexen Anpassungskosten, deren häufigster Verlauf quadratisch modelliert wird, auch nicht–konvexe Anpassungskostenverläufe. Dieses Phänomen tritt insbesondere im Kontext diskreter Kosten auf, denn dann gibt es finanzielle Bereiche, in denen Unternehmen keine Anpassungsinvestitionen tätigen, da die Erträge die erforderlichen (diskreten) Kosten nicht decken würden (siehe bspw. Caballero (1999) für einen Überblick). Die Implementierung diskreter Anpassungskosten für die Investitionsaktivitäten in unterschiedlichen Industrien diskutieren bspw. Caballero und Engel (1999), Cooper und Haltiwanger (2003) oder Thomas (2001). Da industriespezifische Studien die unterschiedlichsten Verläufe der Anpassungskosten nachweisen erscheint es im Rahmen dieses Modells legitim, den einfachen Fall linearer Kosten zu unterstellen und für alternative Verläufe auf weiteren Forschungsbedarf zu verweisen.

Ansatzpunkt ist dabei die verfügbare Menge an Infrastruktur G_s, die positiv vom Umfang G und negativ vom Rivalitätsgrad ε abhängt. Im Folgenden werden die Einflusskanäle der Infrastruktur dahingehend unterschieden, ob sie Auswirkungen auf die Produktivität einzelner Inputs oder auf die Anpassungskosten haben. Dem entsprechend werden die korrespondierenden Wirkungen als Produktions– oder Anpassungskosteneffekt bezeichnet. Schematisch sind diese Zusammenhänge und die dazugehörigen Gleichungen in Abbildung 1 dargestellt. Hinter den genannten Effekten verbergen sich folgende Teileffekte:

- Der *Produktionseffekt* kommt über die Produktionsfunktion in Gleichung (1) zum Tragen, da G_s als Input modelliert ist. Die Infrastruktur ist zum privaten Kapital komplementär in dem Sinne, dass die Erhöhung von G_s nicht nur (direkt) den Output steigert, sondern auch indirekt wirkt, indem das Grenzprodukt des Kapitals zunimmt. Durch die Kreuzableitungen $f_{12} = f_{21} > 0$ steigt mit einer Ausweitung von G_s auch die Kapitalproduktivität. Auf diesen Sachverhalt wird bei der Analyse des Gleichgewichts in Abschnitt 5 noch ausführlicher eingegangen.

- Der *Anpassungskosteneffekt* wird ebenfalls durch die verfügbare Infrastruktur beeinflusst: Eine Erhöhung von G_s bewirkt, dass die Relation I_i/G_s kleiner wird, weshalb wegen $\phi' > 0$ die Anpassungskosten sinken. Interpretiert man G_s als verfügbare Infrastruktur, so erklärt dies, warum bspw. Anpassungskosten 'auf der grünen Wiese' (niedriges G) höher sind als in einem bereits erschlossenen Industriegebiet (hohes G) und verdeutlicht darüber hinaus, wie Staatsaktivität die individuellen Anpassungskosten beeinflussen kann. Daneben bewirkt ein geringer Überfüllungsgrad ebenfalls eine Reduktion der Anpassungskosten. Damit ist bspw. erklärbar, weshalb die Anpassungskosten von Unternehmen im Gebiet des Hamburger Hafens (hohes ε) höher sind als in der Nähe des Hafens von Wilhelmshaven (geringes ε).

Mit Hilfe der genannten Effekte ist es möglich, neben den einzelnen Einflusskanälen von Infrastruktur auf die unternehmerische Investitionsentscheidung (Abschnitte 3 und 4) auch zu analysieren, wie Änderungen der verfügbaren Infrastruktur auf das Gleichgewicht wirken. Dabei werden die so induzierten Änderungen der Produktivität dem Produktionseffekt und Änderungen der Anpassungskosten dem Anpassungskosteneffekt zugerechnet (vgl. Abschnitt 5).

3 Die Investitionsentscheidung des Unternehmens

Da die verfügbare Infrastruktur sowohl die Produktion als auch die Anpassungskosten beeinflusst hat sie Auswirkungen auf das unternehmerische Handeln. Dieser Abschnitt analysiert, welche Wirkungen auf die Investitionsentscheidung eines intertemporal optimierenden Unternehmens ausgehen, sofern dessen Ziel darin besteht, den Firmenwert zu maximieren. Betrachtet werden Unternehmen, die ihre Kapitalkosten über die Ausgabe von Aktien finanzieren und den Netto–Cash–Flow (NCF) in jeder Periode als Dividende an die Kapitaleigner ausbezahlen. Der NCF ergibt sich aus der Produktion nach Abzug der Löhne (ω) und den Aufwendungen für Investitionen in den Kapitalstock des Unternehmens. Da G_s den Unternehmen kostenlos zur Verfügung gestellt wird, mindert die Verwendung des öffentlichen Inputs den NCF nicht. Künftige NCF werden mit dem durchschnittlichen Kapitalmarktzins r diskontiert, und der Gegenwartswert der Aktien $V(0)$ resultiert als[5]

$$V(0) = \int_0^\infty e^{-r\cdot t} \left[F(K_i, L_i, G_s) - w \cdot L_i - I_i \cdot \left(1 + \phi\left(\frac{I_i}{G_s} \right) \right) \right] dt \quad . \tag{5}$$

Das einzelne Unternehmen maximiert $V(0)$ für einen anfänglich gegebenen Kapitalstock $K_i(0) > 0$ unter Beachtung der Akkumulationsgleichung (3). Formal lässt sich die Optimierung durch die Current–Value–Hamiltonfunktion

$$J = e^{-r\cdot t} \left\{ F(K_i, L_i, G_s) - w \cdot L_i - I \cdot \left(1 + \phi\left(\frac{I_i}{G_s} \right) \right) + q \cdot (I_i - \delta K_i) \right\} \tag{6}$$

darstellen. Mit q ist der Schattenpreis des Kapitals bezeichnet. Damit misst q, um wieviel der NCF steigt, wenn der Kapitalstock um eine Einheit zunimmt. Da die Hamiltonfunktion in laufenden Einheiten formuliert ist, wird q in Outputeinheiten pro Kapital zum Zeitpunkt t formuliert. Das Unternehmen i entscheidet in jeder Periode über den Einsatz von Arbeit, Kapital und die Höhe der zu tätigenden Kapitalinvestitionen. Als notwendige Bedingungen resultieren damit

[5] Da mengenanpassende Unternehmen unterstellt sind, ist der Marktzins r für die einzelne Firma eine exogene Größe.

$$\frac{\partial J}{\partial L_i} = 0 \quad \Longrightarrow \quad f - f_1 \cdot k = w \tag{7a}$$

$$\frac{\partial J}{\partial I_i} = 0 \quad \Longrightarrow \quad 1 + \phi + \frac{I_i}{G_s} \cdot \phi' = q \tag{7b}$$

$$\frac{\partial J}{\partial K_i} = -\dot{v} \quad \Longrightarrow \quad \frac{\dot{q}}{q} - \delta + \frac{1}{q}\left[\underbrace{f_1 + f_2 \cdot \varepsilon \frac{G_s}{k}}_{f_k} + L_i \cdot \left(\frac{\imath}{G_s}\right)^2 \cdot \phi' \cdot \varepsilon \frac{G_s}{k}\right] = r \quad . \tag{7c}$$

In der Darstellung der notwendigen Bedingungen wird die intensive Form der Produktionsfunktion f gemäß Gleichung (1) verwendet. Die Variable $\imath \equiv \frac{I_i}{L_i}$ bezeichnet die Investitionen je Arbeitseinheit und für das Grenzprodukt des physischen Kapitals gilt $f_k \equiv \frac{df}{dk} = f_1 + f_2 \varepsilon \frac{G_s}{k}$.

Die statische Effizienzbedingung (7a) bestimmt die Nachfrage des Unternehmens nach Arbeitskräften. Sie besagt, dass im Optimum das Grenzprodukt der Arbeit dem Lohnsatz entspricht. Anpassungskosten treten hier nicht auf, da sie beim Einsatz von Arbeit annahmegemäß nicht anfallen. Die zweite statische Effizienzbedingung (7b) determiniert die optimale Investitionsentscheidung in jeder Periode und impliziert, dass Grenzertrag einer Investition (gemessen anhand des Schattenpreises q) und Grenzkosten einer Investition einander entsprechen müssen. Dabei sind die Grenzkosten durch den Term $1 + \phi + \frac{I_i}{G_s}\phi'$ gegeben. In einer Welt ohne Anpassungskosten wäre es möglich, eine Einheit Output in Relation 1:1 in eine Einheit Kapital zu transformieren, als Optimalitätsbedingung resultierte $q = 1$. Nun jedoch erhöhen sich die Grenzkosten um die Anpassungskosten. Der Ertragszuwachs eines Unternehmens als Folge einer Investition muss entsprechend höher ausfallen. Gleichung (7c) ist eine dynamische Effizienzbedingung und bestimmt die optimale Ausweitung des Kapitalstocks über die Zeit hinweg.[6] Die eckige Klammer umfasst das Grenzprodukt des Kapitals zuzüglich der mit dem Investitionsumfang gewichteten marginalen Anpassungskosten ($I_i \frac{\partial \phi}{\partial K_i}$), die mit einer Ausweitung des Firmenkapitalstocks einhergehen. Hierbei ist zu beachten, dass die marginalen Anpassungskosten bei einer Ausweitung des individuellen Kapitalstocks K_i sinken. Dieser Effekt resultiert aus der Tatsache, dass c. p. die verfügbare Menge G_s bei einer Ausdehnung des individuellen

[6] Zu beachten ist hierbei, dass die Umrechnung des Schattenpreises q aus laufenden Werten in Gegenwartswerte den Zusammenhang $q(t) = v(t)e^{r \cdot t}$ und damit $\dot{v} = e^{-r \cdot t}(rq - \dot{q})$ impliziert.

Kapitals K_i steigt.[7] Der Klammerterm wird mit dem Kehrwert von q gewichtet, wobei der Schattenpreis den Wert 1 umso mehr überschreitet, je höher die Anpassungkosten sind (vgl. Gleichung (7b)). Im Optimum muss die Marktertragsrate des Kapitals (r) übereinstimmen mit der Summe aus (i) der Netto–Wertsteigerung des Kapitalstocks ($\frac{\dot{q}}{q} - \delta$) und (ii) der auf den Schattenpreis des Kapitals bezogenen Summe aus Grenzprodukt des Kapitals und dem Einfluss der Kapitalausdehnung auf die Investitionskosten.

Die vollständige Spezifizierung des Optimierungsproblems umfasst auch die Transversalitätsbedingung

$$\lim_{t\to\infty}(v \cdot K_i) = \lim_{t\to\infty}(q \cdot K_i \cdot e^{-rt}) = 0 \quad . \tag{8}$$

Sie besagt, dass am Ende des Optimierungshorizonts entweder der Kapitalstock von Unternehmen i aufgezehrt sein oder der Wert des Kapitals Null betragen muss.

4 Infrastruktur und unternehmerisches Handeln

Die Darstellung der notwendigen Bedingungen (7a)–(7c) verdeutlicht, dass der öffentliche Produktionsinput in vielerlei Hinsicht für das unternehmerische Handeln bedeutsam ist. Für die folgende Argumentation wird der Input als staatlich bereitgestellte Verkehrsinfrastruktur, bspw. in Form von Straßen, interpretiert.[8] Die absolute Menge G kann dann als Größe des Netzes interpretiert werden und der Rivalitätsgrad ε beschreibt, wie stark eine gegebene Infrastruktur von Staueffekten betroffen ist. Die folgende Argumentation greift die Einflusskanäle von G_s, wie in Abbildung 1 dargestellt, auf und erläutert die ökonomischen Implikationen:

Bei der Wahl des Arbeitskräfteeinsatzes gemäß der notwendigen Bedingung (7a) ist die Infrastrukturausstattung insofern bedeutsam, als sie einen zur Arbeit komplementären

[7] Damit sinkt die Relation $\frac{I_i}{G_s}$. Formal resultiert der geschilderte Zusammenhang aus der partiellen Ableitung: $\frac{\partial\phi}{\partial K_i} = \frac{\partial\phi}{\partial\frac{I_i}{G_s}} \cdot \frac{\partial\frac{I_i}{G_s}}{\partial G_s} \cdot \frac{\partial G_s}{\partial K_i} = \phi' \cdot \left(-\frac{I_i}{G_s^2}\right) \cdot \varepsilon\frac{G_s}{K_i} < 0$.

[8] Eine alternative Interpretationsmöglichkeit besteht darin, G als bestehendes institutionelles Rahmensystem, welches die Individuen für ihre Produktion zwingend benötigen, aufzufassen. In diesem Fall könnte ε als Gütemaß des rechtlichen Rahmens interpretiert werden. Alternativ könnte der Rivalitätsgrad als Proxi dafür herangezogen werden, wie stark die betrachtete Volkswirtschaft durch Agglomeration gekennzeichnet ist.

Produktionsinput darstellt. Eine Ausweitung von G_s erhöht damit die Produktivität von Arbeit und im Vergleich zu einem Modell ohne Infrastruktur steigt der Arbeitseinsatz. Im Gegensatz zum Produktionseffekt kommt der Anpassungskosteneffekt nicht zum Tragen.

Auch die statische Investitionsentscheidung des Unternehmens gemäß der Bedingung (7b) ist durch die verfügbare Infrastruktur wesentlich beeinflusst, wobei jedoch lediglich der Anpassungskosteneffekt wirkt. Sofern G_s steigt, sinken die Anpassungskosten ϕ und für $\phi'' > 0$ auch die marginalen Anpassungskosten. Umgekehrt gilt, dass eine Reduktion der verfügbaren Infrastruktur mit steigenden Kosten einhergeht. Zunächst sei der einfachste Fall betrachtet: Ohne das Vorliegen von Anpassungskosten ist $\phi = \phi' = 0$. Im Optimum entspricht der Grenzertrag einer Einheit investierten Kapitals gemessen in Outputeinheiten dem Schattenpreis des Kapitals $q = 1$. Sofern Anpassungskosten anfallen, übersteigt der Schattenpreis des Kapitals 1 um den Effekt der Anpassungskosten: Nun kann der Output nicht in der Relation 1:1 in Kapital umgewandelt werden, sondern es ist mehr als eine Einheit Output erforderlich, um eine Einheit Kapital zu erhalten. Daher erfordert eine optimale Investitionsnachfrage bei Vorliegen von Anpassungskosten einen höheren Grenzertrag der Investitionen als dies ohne Anpassungskosten der Fall ist. Der Aufschlag ist dabei umso höher, je größer die Anpassungskosten gemessen am Wert von ϕ sind. Der Effekt wird obendrein verstärkt durch die marginalen Anpassungskosten, $\phi' > 0$. In diesem Kontext kommt dem Umfang der verfügbaren Infrastruktur G_s und damit dessen Determinanten ε und G eine wesentliche Rolle zu: Je weniger stark überfüllt die betrachtete Region (niedriges ε) und je besser die Infrastrukturausstattung (hohes G) ist, desto höher ist die verfügbare Infrastruktur, G_s. Dies reduziert die Höhe der Anpassungskosten und wirkt zusätzlich mittelbar über niedrigere Werte von I_i/G_s und ϕ' dämpfend auf den geschilderten Aufschlag. Damit ist Infrastruktur von zentraler Bedeutung für die unternehmerische Investitionsentscheidung und mehr Infrastruktur wirkt in jeder Periode investitionserhöhend.[9]

Im Kontext der dynamischen Effizienzbedingung (7c) kommen sowohl der Produktionseffekt (über f_k) als auch der Anpassungskosteneffekt (allerdings nur indirekt über ϕ') zum Tragen. Die marginalen Anpassungskosten einer Kapitalerhöhung ändern sich im

[9] Bei dieser Argumentation ist zu beachten, dass insbesondere die investitionserhöhende Wirkung einer weniger stark agglomerierten Region nur dann greift, wenn keine Spillovers zwischen den einzelnen Unternehmen auftreten. Diese werden häufig bei von Hoch– und Spitzentechnologieunternehmen vermutet und im Rahmen der New Economic Geography, basierend auf den grundlegenden Werken von Krugman (1991), diskutiert.

Zuge der Kapitalakkumulation, da c. p. die verfügbare Infrastruktur G_s mit dem individuellen Kapitalstock bei gegebenem I_i zunimmt. Auch hier sei zunächst der einfachste Fall betrachtet: Sofern keine Anpassungskosten vorliegen ist $q = 1$, mithin $\frac{\dot{q}}{q} = 0$ und die dynamische Effizienzbedingung reduziert sich zu $f_k - \delta = r$, d. h. das Nettogrenzprodukt des Kapitals muss dem Zins entsprechen. Der Anpassungskosteneffekt entfällt und nur der Produktionseffekt ist relevant. Für $q > 1$ gilt hingegen, dass für einen gegebenen Marktzins r die Summe aus Grenzprodukt des Kapitals und der Anpassungskostenreduktion (siehe eckige Klammer) umso höher sein muss, je größer die Anpassungskosten sind, da letztere die Höhe von q determinieren. Sowohl der Produktionseffekt als auch der Anpassungskosteneffekt beeinflussen die unternehmerische Entscheidung. Ebenso wie für den Faktor Arbeit gilt, dass Infrastruktur ein zum Kapital komplementärer Produkionsinput ist und damit positiv auf das Grenzprodukt wirkt. Darüber hinaus senkt eine verbesserte Ausstattung einer Region mit Infrastruktur die Anpassungskosten. In beiden Fällen gilt mithin, dass von der Infrastruktur positive Auswirkungen auf die dynamische Investitionsentscheidung ausgehen. Eine abschließende Betrachtung von Gleichung (7c) schließt die Analyse alternativer Rivalitätsgrade mit ein, da auch von ε Auswirkungen auf den Produktions– und den Anpassungskosteneffekt ausgehen. Sofern die Infrastruktur überfüllt ist ($\varepsilon > 0$), kommt es zu einer Überschätzung der Produktivität des individuellen Kapitals. Die Individuen berücksichtigen bei ihrer Kapitalakkumulation nicht, dass ihr individueller Kapitalstock Bestandteil des aggregierten Kapitals ist. Eine Ausdehnung von K_i bewirkt nämlich gleichzeitig, dass K zunimmt. Sofern $\varepsilon > 0$ ist, induziert dies eine Reduktion von G_s mit der Folge, dass das tatsächliche Grenzprodukt des Kapitals sinkt.[10] Daneben ist der Überfüllungsgrad auch bedeutsam für die Stärke des Anpassungskosteneffekts: So entfällt dieser ganz, wenn die Infrastruktur ein reines öffentliches Gut ist ($\varepsilon = 0$). In diesem Fall ist die Höhe des individuellen Kapitals irrelevant für die Verfügbarkeit von G_s und der eckige Klammerterm in Gleichung (7c) reduziert sich auf das Grenzprodukt des Kapitals. Die Verfügbarkeit G_s wird umso mehr eingeschränkt, je höher der Rivalitätsgrad ist, weil dann im selben Zuge die Anpassungskosten steigen. Insgesamt nimmt die Stärke sowohl von Produktions– als auch von Anpassungskosteneffekt mit dem Rivalitätsgrad zu.

Tabelle 1 fasst zusammen, inwiefern die Infrastruktur über den Produktions– und den Anpassungskosteneffekt auf die Effizienzbedingungen (7a)–(7c) Auswirkungen hat und so das unternehmerische Handeln beeinflusst.

[10] Vgl. Turnovsky (2000) oder Ott (2001) für eine ausführliche Darstellung dieses Sachverhalts.

Tabelle 1: Einflusskanäle von Infrastruktur auf die Effizienzbedingungen

Gleichung	Anpassungskosteneffekt	Produktionseffekt
(7a)		x
(7b)	x	
(7c)	x (für $\varepsilon > 0$)	x

5 Gleichgewicht und transitorische Dynamik

Um die Höhe des gleichgewichtigen Kapitalstocks eines Unternehmens ermitteln zu können, ist es erforderlich, die Anpassungskostenfunktion in Gleichung (4) zu spezifizeren. In der Mehrzahl der theoretischen und empirischen Studien werden entweder konvexe oder nicht–konvexe Anpassungskostenverläufe diskutiert. Allerdings machen gerade jene empirischen Studien, die die Kosten für unterschiedliche Industrien ermitteln, deutlich, dass die konkreten Verläufe stark zwischen den einzelnen Industrien variieren und es keinen 'stilisierten' Kostenverlauf gibt (vgl. Cooper und Haltiwanger (2003)). Für unsere Analyse wählen wir daher den einfachen Fall, dass die Anpassungskosten proportional zu $\frac{I_i}{G_s}$ sind. Unterstellt man darüber hinaus in Übereinstimmung mit Gleichung (7b) einen monoton steigenden Zusammenhang zwischen der Relation $\frac{I_i}{G_s}$ und dem Schattenpreis q, ist es möglich, einen inversen Zusammenhang

$$\frac{I_i}{G_s} = \psi(q), \quad \psi' > 0 \tag{9}$$

darzustellen und so die Anpassungskostenfunktion in Gleichung (4) zu spezifizieren.[11] Es resultiert

$$\phi\left(\frac{I_i}{G_s}\right) = b\frac{I_i}{G_s} = b \cdot \psi(q), \quad b > 0, \phi' = b, \phi'' = 0 \quad . \tag{10}$$

[11]Dieser Zusammenhang ist die Grundlage einer Vielzahl empirischer Schätzungen (Quellen: Siehe Barro/Sala–i–Martin (2004), S. 155). Das Verhältnis V/K wird häufig als Proxy für den Schattenpreis des Kapitals q verwendet. Alternativ werden bspw. Änderungen in der Relation zwischen Investitionen und Kapital als Änderungen des Firmenmarktwertes interpretiert.

Die marginalen Anpassungskosten sind konstant und b kann als Sensitivitätsparameter interpretiert werden, der deutlich macht, wie stark ϕ auch von der Höhe der verfügbaren Infrastruktur abhängt. Zusammen mit der Effizienzbedingung (7b) erfordert eine optimale Invesitionsentscheidung damit

$$\psi(q) = \frac{q-1}{2b} \quad . \tag{11}$$

Das Gleichgewicht wird für einen konstanten Marktzins r und die in Gleichung (10) spezifizierten Anpassungskosten ermittelt. Es ist definiert als ein Zustand, in dem sich weder die Kapitalintensität noch der Schattenpreis des Kapitals ändern. Formal resultiert ein Gleichgewicht für $\dot{k} = \dot{q} = 0$. Neben der Existenz und der Eindeutigkeit des Gleichgewichts sind auch der Anpassungsprozess dahin sowie die Stabilitätseigenschaften des Systems bedeutsam. Das Differentialgleichungssystem, welches das Gleichgewicht formal beschreibt, resultiert aus den Gleichungen (3) und (7c) zusammen mit (9), (10) und $k = \frac{K_i}{L_i}$ als

$$\dot{k} = \imath - \delta k \tag{12a}$$

$$\dot{q} = (r+\delta)q - \left[f_k + \frac{1}{L_i} \cdot b\psi^2 \cdot \varepsilon \frac{G_s}{k} \right] \quad . \tag{12b}$$

Dabei ist verwendet, dass Gleichung (12b) über ψ eine Funktion der Investitionsquote $\frac{\imath}{k}$ ist, da gemäß dem Zusammenhang aus (9) gilt

$$\psi(q) = \frac{I_i}{G_s} = \frac{\imath}{k} \cdot \frac{K_i}{G_s} = \frac{\imath}{k} \cdot \frac{L_i}{\frac{G_s}{k}} \quad . \tag{13}$$

Gleichsetzen der Gleichungen (11) und (13) macht darüber hinaus deutlich, dass auch der Schattenpreis des Kapitals eine Funktion der Investitionsquote ist. Ein konstanter Schattenpreis erfordert damit eine konstante Investitionsquote, weshalb zur Ermittlung des Gleichgewichts Gleichung (12b) entsprechend modifiziert wird. Definiert man als Investitionsquote $\frac{\imath}{k} \equiv \mu$ und entsprechend $\dot{\left(\frac{i}{k}\right)} \equiv \dot{\mu}$, lässt sich die Änderung des Schattenpreises ($\dot{q}$) in Gleichung (12b) umformulieren zu[12]

[12]Die formale Herleitung von Gleichung (14) erfolgt im Anhang A. Dabei ist zu beachten, dass ein mengenanpassendes Unternehmen das aggregierte Kapital als exogene und konstante Größe betrachtet.

$$\dot{\mu} = \frac{\frac{G_S}{k}}{2bL_i}[r+\delta-f_k] + \mu(r+\delta+(1-\varepsilon)\delta) - \mu^2\left(1-\frac{1}{2}\varepsilon\right) \tag{14}$$

Unter Verwendung dieser Gleichung beschreibt das Gleichgewicht die Situation, in der sich weder der Kapitalstock, noch die Invesititionsquote ändern. Der Schattenpreis des Kapitals ist dann ebenfalls konstant und es ist möglich, das Gleichgewicht sowie die transitorische Dynamik anhand eines Phasendiagramms grafisch darzustellen (vgl. Abbildung 2).

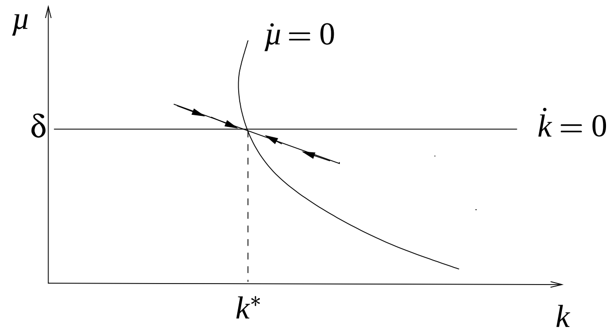

Abbildung 2: Phasendiagramm

Der Kapitalstock in (12a) ändert sich nicht, sofern die Investitionsquote genau der Abschreibungsrate δ entspricht. Dies gilt unabhängig von der absoluten Höhe von k, weshalb die Funktion $\dot{k} = 0$ eine Parallele zur Abszisse bei einer (konstanten) Invesitionsquote $\mu^* = \delta$ ist. Die Steigung der Relation zwischen μ und k entlang der Funktion $\dot{\mu} = 0$ kann durch implizites Differenzieren der Funktion (14) ermittelt werden und resultiert als[13]

$$\frac{d\mu}{dk} = -\frac{\frac{1}{2bL_i}\left[(r+\delta)\frac{\partial\frac{G_S}{k}}{\partial k} - \frac{\partial f_1\frac{G_S}{k}}{\partial k} - \frac{\partial\varepsilon f_2\left(\frac{G_S}{k}\right)^2}{\partial k}\right]}{r+\delta+(1-\varepsilon)\delta-2\mu\left(1-\frac{1}{2}\varepsilon\right)} \quad . \tag{15}$$

Die Vorzeichenanalyse ergibt, dass der Zähler eindeutig positiv ist, wohingegen der Nenner uneindeutig ist und bei einer bestimmten Invesititionsquote $\bar{\mu} \equiv \delta + \frac{r}{2-\varepsilon} > \delta$ wechselt: Sofern $\mu < \bar{\mu}$ hat der Nenner ein positives Vorzeichen, analog gilt umgekehrt, dass für

Daher ist die Wachstumsrate von K nicht Bestandteil von Gleichung (14). Dasselbe gilt für Umfang und Änderung der Infrastruktur, weshalb die Wachstumsrate der Infrastruktur ebenfalls nicht in (14) enthalten ist.

[13]Die Herleitung von Gleichung 15 findet sich im Anhang B.

$\mu > \bar{\mu}$ der Nenner negativ wird.[14] Zusammen mit dem negativen Vorzeichen in (15) resultiert dann der in Abbildung 2 dargestellte Verlauf der Funktion $\dot{\mu} = 0$. Das Gleichgewicht (k^*, μ^*) ist eindeutig. Im Folgenden wird die Analyse nur für Investitionsquoten $\mu < \bar{\mu}$ durchgeführt, da nur in einem solchen Bereich des Phasenraums das Gleichgewicht liegen kann.

Neben dem eigentlichen Gleichgewicht sind auch die Stabilitätseigenschaften sowie die transitorische Dynamik des Systems von Interesse. Aus Gleichung (12a) ist ersichtlich, dass der Kapitalstock steigt (sinkt), sofern die Invesititionsquote höher (niedriger) als μ^* ist. Die horizontalen Richtungspfeile in Abbildung 2 verdeutlichen diesen Sachverhalt. Gemäß Gleichung (14) steigt (sinkt) die Investitionsquote sofern sie anfänglich rechts (links) der Funktion $\dot{\mu} = 0$ liegt. Dies ist durch die vertikalen Richtungspfeile dargestellt. Anfängliche Kombinationen aus Kapital und Invesitionsquote, die auf dem stabilen Pfad liegen, führen in das Gleichgewicht. Da die Individuen über vollkommene Voraussicht verfügen, werden sie für einen beliebigen anfänglichen Kapitalstock K_i die Investitionsquote so wählen, dass ein Punkt auf dem stabilen Pfad realisiert ist und das Gleichgewicht erreicht wird. Insgesamt ist das System damit durch Sattelpunktstabilität gekennzeichnet. Sowohl Existenz als auch die Eindeutigkeit und die Stabilitätseigenschaften sind unabhängig vom Umfang und dem Rivalitätsgrad der Infrastruktur. Dies gilt allerdings nicht für das eigentliche Gleichgewicht.

6 Infrastruktur und Gleichgewicht

Für die in Gleichung (1) spezifizierte Produktionsfunktion gelten konstante Skalenerträge. Damit ist die Anzahl der Unternehmen indeterminiert und eine Änderung des gleichgewichtigen Kapitalstocks kann entweder als die Entscheidung eines Unternehmens, seine Firmengröße zu erweitern oder als eine Ausdehnung der Anzahl der Firmen interpretiert werden. Unabhängig von der Interpretation bestimmt die Infrastrukturausstattung wesentlich die Höhe des an einem bestimmten Standort investierten Kapitals, da G_s Einfluss auf die Investitionsentscheidung und damit auf die Lage der Funktion $\dot{\mu} = 0$ hat. Die unterschiedlichen Einflusskanäle und deren Wirkungen auf das Gleichgewicht werden nun analysiert.

[14] Die Vorzeichenanalyse des Zählers sowie die Herleitung von $\bar{\mu}$ findet sich ebenfalls in Anhang B.

Die gleichgewichtige Investitionsquote μ^* wurde aus Gleichung (12a) hergeleitet. Wie dort ersichtlich, wird μ^* lediglich von der Höhe der Abschreibungsrate δ determiniert und ist damit unabhängig von der Höhe der Infrastrukturausstattung. Im Gegensatz dazu wird der gleichgewichtige Kapitalstock k^* durchaus von G_s beeinflusst, wobei den in Abschnitt 2 diskutierten Produktions– und Anpassungskosteneffekten zentrale Bedeutung zukommt. Im Folgenden wird die Diskussion für die beiden Determinanten ε und G separat geführt. Dabei werden sämtliche Auswirkungen von G auf die Relation $\frac{G_s}{k}$ dem Anpassungskosteneffekt zugerechnet, da für eine konstante Investitionsquote und einen gegebenen Arbeitseinsatz L_i die Relation $\frac{G_s}{k}$ die Höhe von $\frac{I_i}{G_s}$ und damit die Höhe der Anpassungskosten determiniert (vgl. Gleichung (13)). Damit induzieren die durch eine Ausweitung von G erzielten Änderungen von $\frac{G_s}{k}$ Veränderungen der Anpassungskosten. Analog werden sämtliche Effekte, die durch Erhöhungen von G auf das Grenzprodukt der Arbeit ausgehen, dem Produktionseffekt zugeordnet. In den Gleichungen (17) und (19) sind diese Effekte durch AKE bzw. PE kenntlich gemacht. Darüber hinaus tritt noch ein Niveaueffekt (NE) auf, der im Zusammenhang mit Gleichung (19) diskutiert wird.

Bedeutung des Infrastrukturbestandes: Zunächst wird untersucht, welchen Einfluss der Bestand an Infrastruktur G auf die genannten Effekte hat und welche Konsequenzen daraus für k^* resultieren. Ausgangspunkt ist der gleichgewichtige Kapitalstock k_0^*. Es zeigt sich, dass eine Ausweitung von G einen eindeutig positiven Effekt auf die Höhe von k^* hat. Formal lässt sich die Analyse des Sachverhalts auf den Zusammenhang

$$\text{sign} \quad \frac{dk}{dG} = -\,\text{sign} \quad \frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G} \tag{16}$$

reduzieren.[15] Das Vorzeichen von $\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G}$ kann über

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G} = \frac{1}{2bL_i}\left[\underbrace{\underbrace{\frac{\partial \frac{G_s}{k}}{\partial G}}_{>0}\underbrace{(r+\delta-f_k)}_{\leq 0}}_{AKE} - \underbrace{\underbrace{\frac{G_s}{k}}_{>0}\underbrace{\frac{\partial f_k}{\partial G}}_{\leq 0}}_{PE}\right] \quad < 0 \tag{17}$$

ermittelt werden und ist eindeutig negativ.

Verwendet man die Ergebnisse aus Gleichung (17) und setzt diese in Gleichung (16) ein, so zeigt sich, dass der gleichgewichtige Kapitalstock mit einer Ausweitung der Infrastruktur eindeutig zunimmt. Ursächlich hierfür sind sowohl der Produktions– als auch der

[15] Die formale Herleitung findet sich im Anhang C.

Anpassungskosteneffekt: Eine Erhöhung von G lässt die verfügbare Infrastruktur steigen, weshalb für ein gegebenes Investitionsvolumen die Relation $\frac{I_i}{G_s}$ sinkt, so die Anpassungskosten reduziert und Kapitalakkumulation für Unternehmen attraktiver wird. Daneben gilt, dass eine Ausweitung von G aufgrund der Komplementaritätseigenschaft der Infrastruktur positiv auf das Grenzprodukt des Kapitals wirkt, was ebenfalls die Akkumulation steigen lässt. Sowohl der Anpassungskosteneffekt als auch der Produktionseffekt wirken eindeutig positiv, weshalb k^* als Folge einer Ausweitung des Infrastrukturbestandes eindeutig zunimmt. Weder Existenz, noch Eindeutigkeit oder Stabilität des Gleichgewichts sind von einer Ausweitung der Infrastruktur betroffen. Abbildung 3 verdeutlicht diesen Sachverhalt noch einmal grafisch. Das neue Gleichgewicht ist dort durch k_1^* gekennzeichnet.

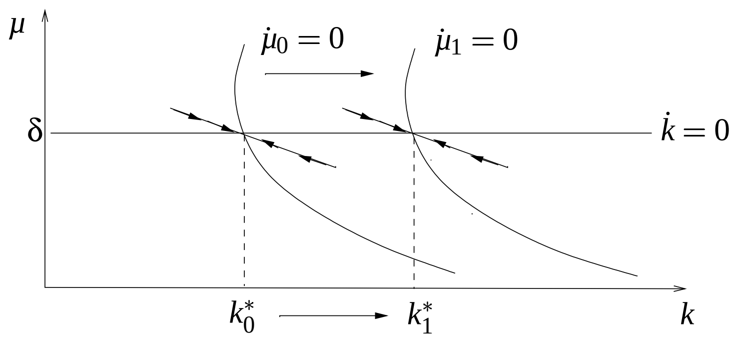

Abbildung 3: Wirkung einer Ausweitung der Infrastruktur auf k^*

Bedeutung des Rivalitätsgrades: Im Gegensatz zum soeben hergeleiteten Ergebnis sind die Auswirkungen einer Änderung des Rivalitätsgrades auf den gleichgewichtigen Kapitalstock uneindeutig. Auch hier lässt sich die formale Analyse auf einen einfachen Zusammenhang

$$\text{sign}\left(\frac{dk^*}{d\varepsilon}\right) = -\,\text{sign}\left(\frac{\partial\dot{\mu}}{\partial\varepsilon}\right). \qquad (18)$$

reduzieren.[16] Es zeigt sich, dass das Vorzeichen von $\frac{\partial\dot{\mu}}{\partial\varepsilon}$ uneindeutig ist und davon abhängt, welche Auswirkungen von Änderungen des Rivalitätsgrades auf den Produktions– und den Anpassungskosteneffekt ausgehen. Darüber hinaus kommt ein Niveaueffekt (s. u.)

[16]Die Herleitung findet sich in Anhang C.

zum Tragen. Formal ist dies ersichtlich, wenn ausgehend von Gleichung (14) die Einflusskanäle alternative Rivalitätsgrade ermittelt werden. Es gilt

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \varepsilon} = \frac{1}{2bL_i}\left[\underbrace{\underset{<0}{\frac{\partial \frac{G_s}{k}}{\partial \varepsilon}}(r+\underset{\leq 0}{\delta - f_k})}_{AKE} - \underbrace{\underset{>0}{\frac{G_s}{k}}\underset{\geq 0}{\frac{\partial f_k}{\partial \varepsilon}}}_{PE}\right] - \underbrace{\underset{>0}{\mu(\delta - \frac{1}{2}\mu)}}_{NE} \quad \gtreqless 0 \quad . \tag{19}$$

Verwendet man diese Gleichung zusammen mit (18) so wird ersichtlich, dass der Anpassungskosteneffekt negativ und der Produktionseffekt positiv auf k^* wirkt. Darüber hinaus kommt ein weiterer Effekt zum Tragen, dessen Ausprägung wesentlich durch die Höhe der Investitionsquote determiniert ist. Er wird daher als Niveaueffekt bezeichnet. Seine Wirkung auf k^* ist ebenfalls positiv. Die ökonomische Intuition für die einzelnen Effekte kann wie folgt zusammengefasst werden: Eine Erhöhung des Rivalitätsgrades senkt die verfügbare Infrastruktur und lässt über $\frac{I_i}{G_s}$ die Anpassunkgskosten steigen. Damit wird Kapitalakkumulation unattraktiver und k^* sinkt. Im Gegensatz dazu bewirkt eine Steigerung von ε, dass die Unternehmen die Grenzproduktivität des Kapitals höher wahrnehmen, als es bei einem geringeren Rivalitätsgrad der Fall ist. Dies stimuliert die Akkumulation und k^* steigt.[17] Der Niveaueffekt wirkt ebenfalls positiv auf den gleichgewichtigen Kapitalstock und ist in seiner Ausprägung unabhängig von ε. Auch er ist durch den externen Effekt zu begründen, da nicht nur das Grenzprodukt des Kapitals sondern auch absolut die Produktivität des Kapitals durch die Unternehmen überschätzt wird, wenn Überfüllung vorherrscht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Auswirkungen, die von einer Änderung des Rivalitätsgrades auf den gleichgewichtigen Kapitalstock ausgehen, uneindeutig sind und der Gesamteffekt davon abhängt, welche Effekte überwiegen. Die Uneindeutigkeit des Ergebnisses ist in Abbilung 4 dargestellt. Dominiert der Produktionseffekt zusammen mit dem Niveaueffekt, so steigt der gleichgewichtige Kapitalstock und das neue Gleichgewicht liegt in k_1^*. Das Gegenteil ist der Fall, wenn der Anpassungskosteneffekt dominiert. Dann resultiert k_2^*. Auch bei Änderungen des Überfüllungsgrades gilt, dass weder

[17] Zu beachten ist, dass sich hinter dieser 'falschen' Wahrnehmung ein externer Effekt verbirgt, denn das tatsächliche Grenzprodukt des Kapitals sinkt bei einer Erhöhung des Rivalitätsgrades. Damit ist die Ausdehnung von k^* mit einer Erhöhung von ε nicht optimal. Die wohlfahrtsökonomischen Implikationen können mit Hilfe eines totalanalytischen Modells ermittelt werden und umfassen auch die Finanzierungsrestriktionen, die bei der staatlichen Bereitstellung des öffentlichen Inputs berücksichtigt werden müssen.

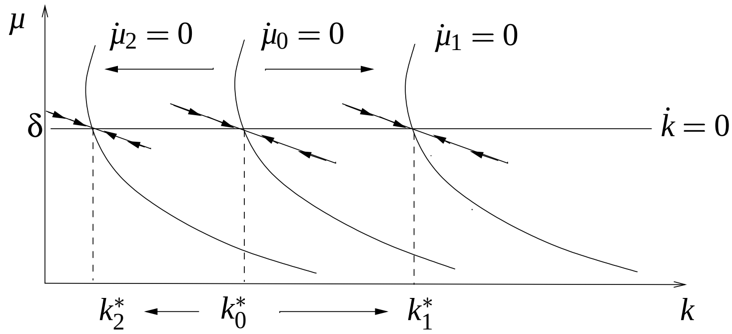

Abbildung 4: Wirkung einer Erhöhung des Rivalitätsgrades auf k^*

Existenz–, noch die Eindeutigkeits– oder die Stabilitätseigenschaften des Gleichgewichts berührt sind.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorliegende Papier analysiert, welche Bedeutung die Infrastrukturausstattung bei der unternehmerischen Investitionsentscheidung spielt. Als Ausgangspunkt dient die verfügbare Infrastruktur, die durch eine Ausweitung des Bestandes zu– und bei Vorliegen von Überfüllungseffekten abnimmt. Da die Infrastruktur einen zum privaten Kapital komplementären Produktionsinput darstellt gehen von ihr Auswirkungen auf dessen Produktivität aus. Daneben ist sie auch bedeutsam für die Höhe der Anpassungskosten, die umso geringer sind, je höher die verfügbare Infrastruktur ist. Aufgrund dieser Eigenschaften ist die Infrastrukturausstattung einer Ökonomie von zentraler Bedeutung für die unternehmerische Investitionsentscheidung.

Eingebettet in ein dynamisches partialanalytisches Modell wird nicht nur analysiert, welcher gleichgewichtige Kapitalstock sich bei gegebener Ausstattung mit Infrastruktur einstellt, sondern auch wie Änderungen der Infrastruktur auf die Kapitalakkumulation wirken. Es ist möglich, ein eindeutiges und sattelpunktstabiles Gleichgewicht zu ermitteln, das durch einen konstanten Kapitalstock und eine konstante Investitionsquote bestimmt ist. Änderungen der verfügbaren Infrastruktur lösen Produktions–, Anpassungskosten– und/oder Niveaueffekte aus, die den gleichgewichtigen Kapitalstock verändern: Eine Ausweitung des Infrastrukturbestandes bewirkt für jeden Rivalitätsgrad eine eindeutige Zunahme des gleichgewichtigen Kapitalstocks. Ursache hierfür ist zum einen die erhöhte

Produktivität des Kapitals und zum anderen ein Sinken der Anpassungskosten. Im Gegensatz dazu gehen von einer Erhöhung des Rivalitätsgrades umgekehrt wirkende Kräfte aus: Überwiegt der Anpassungskosteneffekt, reduziert dies den gleichgewichtigen Kapitalstock. Das Gegenteil ist der Fall, wenn Produktions– und Niveaueffekt dominieren. Ursächlich für dieses Resultat ist, dass die Individuen bei Vorliegen von Überfüllung ihre individuelle Kapitalproduktivität überschätzen. Da es sich bei dem vorliegenden Analyserahmen um ein partialanalytisches Modell handelt, in dem keinerlei Finanzierungsrestriktionen bei der Bereitstellung des öffentlichen Inputs diskutiert werden, ist es nicht möglich, eine optimale Politik abzuleiten, die die vorherrschenden Externalitäten internalisiert. Dies liefert zweifelsohne Ansatzpunkte für wichtige weitere Forschungsaktivitäten.

Mathematischer Anhang

Anhang A: Herleitung von (14)

Umstellen von (11) liefert $q = 1 + 2b\psi \Longrightarrow \dot{q} = 2b\dot{\psi}$. Damit resultiert (12b) als

$$2b\dot{\psi} = (r+\delta)(1+2b\psi) - \left[f_1 + \left(f_2 + \frac{1}{L_i}\cdot b\psi^2\right)\cdot \varepsilon \frac{G_s}{k}\right] \tag{20}$$

Aus der Definition von $\psi = \frac{I_i}{G_s}$ gemäß Gleichung (9) folgt die Veränderung $\dot{\psi}$ als

$$\begin{aligned}
\dot{\psi} &= \frac{\dot{I}_i}{G_s} - \frac{I_i}{G_s}\cdot\frac{\dot{G}}{G} && \text{mit} \quad i = \frac{\partial \frac{I_i}{L_i}}{\partial t} = \frac{\dot{I}_i}{L_i} \\
&= L_i \cdot \frac{i}{G_s} - L_i \cdot \frac{I_i}{G_s}\left[\frac{\dot{G}}{G} + \varepsilon\frac{\dot{k}}{k} - \varepsilon\frac{\dot{K}}{K}\right] && \text{mit} \quad \left(\frac{\dot{\imath}}{k}\right) = \frac{i}{k} - \frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{k}}{k} \\
&= L_i \cdot \frac{k}{G_s}\left[\frac{i}{k} - \frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{k}}{k} + \frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{k}}{k} - \frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{G}}{G} - \varepsilon\cdot\frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{k}}{k} + \varepsilon\frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{K}}{K}\right] \\
\dot{\psi} &= L_i \cdot \frac{k}{G_s}\left[\left(\frac{\dot{\imath}}{k}\right) + (1-\varepsilon)\frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{k}}{k} - \frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{G}}{G} + \varepsilon\frac{\imath}{k}\cdot\frac{\dot{K}}{K}\right]
\end{aligned} \tag{21}$$

Einsetzen von (21) in (20) und Auflösen nach $\left(\frac{\dot{\imath}}{k}\right)$ liefert

$$
\begin{aligned}
\left(\dot{\frac{i}{k}}\right) &= \frac{(r+\delta)(1+2b\psi)\frac{G_s}{k}}{2bL_i} - \frac{f_1\frac{G_s}{k}}{2bL_i} - \frac{f_2\varepsilon\left(\frac{G_s}{k}\right)^2}{2bL_i} - \frac{\psi^2\varepsilon\left(\frac{G_s}{k}\right)^2}{2L_i^2} \\
&\quad -\frac{\imath}{k}\left((1-\varepsilon)\frac{\dot{k}}{k} - \frac{\dot{G}}{G} + \varepsilon\frac{\dot{K}}{K}\right) \qquad \text{mit } \psi = \frac{I_i}{G_s} \\
\left(\dot{\frac{i}{k}}\right) &= \frac{(r+\delta)(1+2b\frac{I_i}{G_s})\frac{G_s}{k}}{2bL_i} - \frac{f_1\frac{G_s}{k}}{2bL_i} - \frac{f_2\varepsilon\left(\frac{G_s}{k}\right)^2}{2bL_i} - \frac{1}{2}\varepsilon\left(\frac{\imath}{k}\right)^2 \\
&\quad -\frac{\imath}{k}\left((1-\varepsilon)\frac{\dot{k}}{k} - \frac{\dot{G}}{G} + \varepsilon\frac{\dot{K}}{K}\right) \qquad (22)
\end{aligned}
$$

Aus Sicht eines mengenanpassenden Unternehmens ist der aggregierte Kapitalstock exogen und konstant. Damit ist $\varepsilon\frac{\dot{K}}{K} = 0$. Die Wachstumsrate des Kapitals pro Kopf resultiert aus (3) als $\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\imath}{k} - \delta$. Verwendet man diese Informationen zusammen mit $\left(\dot{\frac{i}{k}}\right) = \dot{\mu}$ sowie $\frac{\imath}{k} \equiv \mu$ und fasst zusammen, dann resultiert $\dot{\mu}$ wie in (14) dargestellt.

Anhang B: Herleitung von (15) und Vorzeichenanalyse

Die Steigung der Funktion $\dot{\mu} = 0$ aus (14) wird durch implizites Differenzieren $\frac{d\mu}{dk} = -\frac{\frac{\partial\dot{\mu}}{\partial k}}{\frac{\partial\dot{\mu}}{\partial\mu}}$ ermittelt. Es gilt

$$
\frac{\partial\dot{\mu}}{\partial\mu} = r+\delta+(1-\varepsilon)\delta+\frac{\dot{G}}{G} - 2\mu\left(1-\frac{1}{2}\varepsilon\right) \quad \gtreqless 0 \quad \Longleftrightarrow \quad \mu \lesseqgtr \bar{\mu} \qquad (23a)
$$

$$
\frac{\partial\dot{\mu}}{\partial k} = \frac{1}{2bL_i}\left[(r+\delta)\frac{\partial\frac{G_s}{k}}{\partial k} - \left(\frac{df_1}{dk}\cdot\frac{G_s}{k} + f_1\cdot\frac{\partial\frac{G_s}{k}}{\partial k}\right) - \varepsilon\left(\frac{df_2}{dk}\cdot\left(\frac{G_s}{k}\right)^2 + f_2\cdot\frac{\partial\left(\frac{G_s}{k}\right)^2}{\partial k}\right)\right] \qquad (23b)
$$

Beide Funktionen eingesetzt in das totale Differential ergeben dann (15), wobei die Terme in den großen runden Klammern in (23b) eine ausführlichere Darstellung der beiden letzten (negativen) Summanden in (15) sind.

Unter Verwendung von

$$\frac{\partial \frac{G_s}{k}}{\partial k} = (\varepsilon - 1)\frac{G_s}{k^2} \tag{24a}$$

$$\frac{\partial \left(\frac{G_s}{k}\right)^2}{\partial k} = 2\frac{G_s}{k}\left[\frac{\frac{\partial G_s}{\partial k}\cdot k - G_s}{k^2}\right] = 2(\varepsilon - 1)\frac{G_s}{k}\cdot\frac{G_s}{k^2} \tag{24b}$$

$$\frac{\partial G_s}{\partial k} = \varepsilon\frac{G_s}{k} \tag{24c}$$

$$\frac{d f_1}{dk} = \frac{\partial f_1}{\partial k} + \frac{\partial f_1}{\partial G_s}\cdot\frac{\partial G_s}{\partial k} = f_{11} + f_{12}\cdot\varepsilon\frac{G_s}{k} \tag{24d}$$

$$\frac{d f_2}{dk} = \frac{\partial f_2}{\partial k} + \frac{\partial f_2}{\partial G_s}\cdot\frac{\partial G_s}{\partial k} = f_{21} + f_{22}\cdot\varepsilon\frac{G_s}{k} \tag{24e}$$

ist eine Vorzeichenanalyse von (23b) möglich. Es wird deutlich, dass die Vorzeichen der Terme in den runden Klammern in Gleichung (23b) negativ sind, sofern die Kreuzableitungen nicht dominieren.[18] Für den Fall eines reinen öffentlichen Gutes ($\varepsilon = 0$) entfallen sie gänzlich. Insgesamt ist dann das Vorzeichen von (23b) eindeutig positiv.

Im Gegensatz dazu ist das Vorzeichen von (23a) uneindeutig und es kann gezeigt werden, dass das Vorzeichen bei einer bestimmten Investitionsquote $\bar{\mu} > \delta$ wechselt:

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \mu} \gtreqless 0 \quad \Longleftrightarrow \quad r + \delta + (1-\varepsilon)\delta + \frac{\dot{G}}{G} - 2\mu\left(1 - \frac{1}{2}\varepsilon\right) \gtreqless 0 \tag{25a}$$

$$\Longleftrightarrow \quad \bar{\mu} \equiv \delta + \frac{r + \frac{\dot{G}}{G}}{2-\varepsilon} \gtreqless \mu \quad . \tag{25b}$$

Der linke Teil in Gleichung (25b) definiert jene Investitionsquote $\bar{\mu}$, bei welcher $\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \mu}$ konstant ist. Sie ist eindeutig größer als $\mu^* = \delta$. Für $\mu > \bar{\mu}$ ist das Vorzeichen von (25b) negativ; analog gilt ein positiver Zusammenhang für $\mu < \bar{\mu}$.

Anhang C: Herleitung von (18) und (16)

Der Zusammenhang zwischen dem gleichgewichtigen Kapitalstock und dem Rivalitätsgrad lässt sich ebenfalls unter Verwendung des totalen Differentials aus (14) ermitteln,

[18] Für die Cobb–Douglas–Produktionstechnologie kann dies leicht gezeigt werden. [prüfen, ob nicht auch allgemein für homogene Funktionen gezeigt werden kann, dass $d f_1 < 0$ und $d f_2 < 0$]

wobei nunmehr $\frac{dk}{d\varepsilon} = -\frac{\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \varepsilon}}{\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial k}}$ im Zentrum der Analyse steht. Die Relation $\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial k} > 0$ ist bereits aus (23b) bekannt. Für den Zusammenhang zwischen $\dot{\mu}$ und ε gilt

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \varepsilon} = \frac{1}{2bL_i}\frac{\partial \frac{G_s}{k}[\cdots]}{\partial \varepsilon} - \mu\delta + \frac{1}{2}\mu^2 \tag{26a}$$

$$\text{mit} \quad [\cdots] \equiv r + \delta - f_1 - f_2\varepsilon\frac{G_s}{k} \quad \text{so dass}$$

$$\frac{\partial \frac{G_s}{k}[\cdots]}{\partial \varepsilon} = \underbrace{\frac{\partial G_s}{\partial \varepsilon}}_{-}\left[\underbrace{r + \delta - f_1 - f_2\varepsilon\frac{G_s}{k}}_{-} - G_s f_{12} - f_{22}\varepsilon\frac{G_s^2}{k} - f_2\varepsilon\frac{G_s}{k}\right] > 0 \tag{26b}$$

Vorzeichenanalyse: Die verfügbare Infrastruktur sinkt mit zunehmender Rivalität, daher ist $\frac{\partial G_s}{\partial \varepsilon} < 0$. Die eckige Klammer in von (26b) enthält u.a. den Term $r + \delta - f_1 - f_2\varepsilon\frac{G_s}{k} < 0$ (vgl. Argumentation am Ende von Abschnitt 5). Damit wird die gesamte Klammer negativ und somit $\frac{\partial \frac{G_s}{k}[\cdots]}{\partial \varepsilon}$ positiv. Das Vorzeichen von $-\mu\delta + \frac{1}{2}\mu^2$ ist für alle $\mu \in [0, \bar{\mu}]$ negativ. Damit resultiert insgesamt für (26a) ein uneindeutiges Vorzeichen:

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial \varepsilon} = \underbrace{\frac{1}{2bL_i}}_{+}\underbrace{\frac{\partial \frac{G_s}{k}[\cdots]}{\partial \varepsilon}}_{+} + \underbrace{\mu\left(\frac{1}{2}\mu - \delta\right)}_{-} \quad \gtreqless 0 \tag{27}$$

Die Herleitung von (16) erfolgt erneut unter Zuhilfenahme des eines Differentials $\frac{dk}{dG} = -\frac{\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G}}{\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial k}}$, welches aus Gleichung (14) abgeleitet werden kann. Zu klären ist das Vorzeichen des Zählerterms und es folgt

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G} = \frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G_s} \cdot \frac{\partial G_s}{\partial G} \quad \text{mit} \tag{28a}$$

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G_s} = \frac{1}{2bL_ik}\left[\underbrace{r + \delta - f_1 - f_2\varepsilon\frac{G_s}{k}} - f_{12}G_s - G_s f_{22}\varepsilon\frac{G_s}{k} - f_2\varepsilon\frac{G_s}{k}\right] < 0 \quad , \tag{28b}$$

wobei die verfügbare Infrastruktur mit G steigt und daher $\frac{\partial G_s}{\partial G} > 0$ und der Klammerterm in (28b) negativ ist. Insgesamt resultiert ein eindeutiges Vorzeichen

$$\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G} = \underbrace{\frac{\partial \dot{\mu}}{\partial G_s}}_{-} \cdot \underbrace{\frac{\partial G_s}{\partial G}}_{+} \quad < 0 \quad . \tag{29}$$

Literatur

Aschauer, David Alan (1989). Is Public Expenditure Productive? *Journal of Monetary Economics*, **23**, 177–200.

Barro, Robert J. (1990). Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth. *Journal of Political Economy*, **98**, 103–125.

Barro, Robert J. und Sala-I-Martin, Xavier (1992). Public Finance in Models of Economic Growth. *Review of Economic Studies*, **59**, 645–661.

Barro, Robert J. und Sala-I-Martin, Xavier (2004). *Economic Growth*. MIT–Press, Cambridge, MA, 2nd edn.

Caballero, Ricardo J. (1999). Aggregate Investment. In: *Handbook of Macroeconomics*, edited by Taylor, John B. and Woodford, Michael, pp. 816–862. Elsevier, New York.

Caballero, Ricardo J. und Engel, Eduardo M. R. A. (1999). Explaining Investment Dynamics in U.S. Manufactoring: A Generalized (S,s) Approach. *Econometrica*, **67**, 783–826.

Chatterjee, Santanu und Turnovsky, Stephen J. (2004). Substitutability of Capital, Investment Costs, and Foreign Aid. In: *Economic Growth and Macroeconomic Dynamics: Recent Developments in Economic Theory*, edited by Dowrick, Steve, Pitchford, Rohan, and Turnovsky, Stephen J., pp. 138–170. Cambridge University Press, Cambridge.

Cooper, Russell W. und Haltiwanger, John C. (2003). On the Nature of Capital Adjustment Costs. Working Paper 7925, NBER, Cambridge, MA.

Edwards, J. H. Y. (1990). Congestion function specification and the 'publicness' of local public goods. *Journal of Urban Economics*, **27**, 80–96.

Eicher, Theo und Turnovsky, Stephen (2000). Scale, Congestion and Growth. *Economica*, **67**, 325–346.

Hall, Robert E. (2004). Measuring Factor Adjusmtent Costs. *The Quarterly Journal of Economics*, **119** (3), 899–927.

Hall, Stephen E. (2002). Industry Dynamics with Adjustment Costs. Working Paper 8849, National Bureau of Economic Research, Cambridge MA.

Hamermesh, Daniel S. und Pfann, Gerard A. (1996). Adjustment Costs in Factor Demand. *Journal of Economic Literature*, **34**, 1264–1292.

Krugman, Paul (1991). Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy*, **99**, 483–499.

Munnell, Alicia H. (1990). *Is there a Shortfall in Public Capital Investment?* Federal Reserve Bank of Boston, Boston.

Ott, Ingrid (2001). *Produktive Staatsausgaben und endogenes Wachstum*. Metropolis, Marburg.

Ott, Ingrid und Soretz, Susanne (2004). Growth and Welfare Effects of Tax Cuts: The Case of a Productive Governmental Input with Technological Risk. *Empirica*, **2–3**, 117–135.

Thomas, Julia K. (2001). Is Lumpy Investment Relevant for the Business Cycle? Tech. Rep. unpublished, University of Minnesota, Minnesota.

Turnovsky, Stephen J. (1996). Fiscal Policy, Adjustment Costs, and Endogenous Growth. *Oxford Economic Papers*, **48**, 361–381.

Turnovsky, Stephen J. (1999a). On the Role of Government in a Stochastically Growing Open Economy. *Journal of Economic Dynamics and Control*, **104**, 275–298.

Turnovsky, Stephen J. (1999b). Productive Government Expenditure in a Stochastically Growing Economy. *Macroeconomic Dynamics*, **3** (4), 544–570.

Turnovsky, Stephen J. (2000). *Methods of Macroeconomic Dynamics*. MIT Press, Cambridge/Mass., 2nd edn.