

**Volkswirtschaftliche Schriften**

---

**Heft 532**

# **Technologische Spillover-Effekte als Determinanten des Wirtschaftswachstums**

**Theoretische Erkenntnisse und empirische Evidenz**

**Von**

**Jürgen Bitzer**



**Duncker & Humblot · Berlin**

DOI <https://doi.org/10.3790/978-3-428-51122-8>

Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 07:07:00

FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

JÜRGEN BITZER

Technologische Spillover-Effekte als Determinanten  
des Wirtschaftswachstums

# Volkswirtschaftliche Schriften

Begründet von Prof. Dr. Dr. h. c. J. Broermann †

Heft 532

# Technologische Spillover-Effekte als Determinanten des Wirtschaftswachstums

Theoretische Erkenntnisse und empirische Evidenz

Von

Jürgen Bitzer



Duncker & Humblot · Berlin

Die wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität Berlin  
hat diese Arbeit im Jahre 2002 als Dissertation angenommen.

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

D 83

Alle Rechte vorbehalten

© 2003 Duncker & Humblot GmbH, Berlin  
Fotoprint: Berliner Buchdruckerei Union GmbH, Berlin  
Printed in Germany

ISSN 0505-9372  
ISBN 3-428-11122-2

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier  
entsprechend ISO 9706 ☺

## Vorwort

Die Idee zu meiner Dissertation ist meiner Arbeit am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) entsprungen, in der ich mich eingehend mit der Transformation von Innovationssystemen in den ehemaligen Ostblockstaaten beschäftigt habe. Im Rahmen der wirtschaftspolitischen Diskussion wurde als Begründung für die Forderung nach einer Aufrechterhaltung oder einer Erhöhung der außerordentlich hohen staatlichen Förderung von Forschung und Entwicklung immer wieder das Argument eines durch Spillover-Effekte verursachten Marktversagens angeführt. Unter Verweis auf die wirtschaftspolitischen Implikationen der endogenen Wachstumstheorie und die zahlreichen Studien, die die Existenz von Spillover-Effekten nachweisen, fühlten sich die Entscheidungsträger in ihrem Ansinnen bestätigt, ähnlich hohe Anteile des BIPs für die Förderung von Forschung und Entwicklung zu verwenden wie die reichsten Industrienationen – mit zum Teil verheerenden Folgen für die nationalen Innovationssysteme. Da gleichermaßen in westlichen Industrienationen argumentiert wird, reizte mich die Überprüfung der Einzelargumente sowie der Konsistenz der Argumentationskette.

Meine Dissertation wäre ohne die Unterstützung diverser Personen sicherlich nicht zustande gekommen. Den wichtigsten möchte ich im Folgenden kurz meinen Dank aussprechen. Zuerst möchte ich natürlich meinem Doktorvater Professor Dr. Jürgen Kromphardt danken, der durch seine konstruktive und innovationsoffene Begleitung erheblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat. Mein weiterer Dank gilt Herrn Professor Dr. Gernot Weißhuhn, der in der Endphase der Arbeit mit seinen konstruktiven Kommentaren einige letzte Kanten der Arbeit abschleifen half. Beide haben ihren Job als Gutachter ernst genommen und dem Kandidaten durch die zügige Erstellung der Gutachten eine nervenaufreibende Wartezeit erspart. Auch hierfür sei beiden gedankt, da dies heute leider nicht mehr selbstverständlich ist.

Mein weiterer Dank gilt meinen Kollegen im DIW, die mir während der Erstellung der Dissertation den Rücken freigehalten haben. Hierbei möchte ich insbesondere meinem Abteilungsleiter Professor Dr. Wolfram Schrettl danken, der mir den Freiraum und die Unterstützung hat zukommen lassen, ohne die die Erstellung einer externen Dissertation unmöglich ist. Gleichfalls essentiell war die Unterstützung durch meine Kollegen Dr. Andreas Stephan, Dr. Philipp J.H. Schröder und Dipl.-VW Sabine Stephan,

die mir bei der Durchschlagung des einen oder anderen gordischen Knotens beigestanden haben. Frau Iris Semmann gilt mein Dank für den immer vorzüglichen Rat in stilistischen Fragen. Meinem Arbeitgeber, dem Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) danke ich für die Möglichkeit, eine Dissertation zu schreiben sowie für die mir zuteil gewordene Unterstützung bei diesem Unterfangen.

Keinesfalls unerwähnt bleiben sollen Professor Dr. Bronwny H. Hall von der Universität California at Berkeley und Professor Dr. Ariel Pakes von der Harvard Universität, die als Gastgeber bei meinen Forschungsaufenthalten in Berkeley (Winter 1999) und Harvard (Winter 2000) fungierten, in denen ich erhebliche Teile meiner Dissertation geschrieben habe.

Last but not least möchte ich meiner Familie danken, ohne die ich weder eine Dissertation begonnen noch diese erfolgreich zu Ende gebracht hätte. Besonderer Dank gilt hierbei meiner Lebensgefährtin Claudia Neu, die Ansporn und Inspiration für mich war und mich jederzeit uneingeschränkt unterstützt hat.

Berlin, März 2003

*Jürgen Bitzer*

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                              |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                            | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes</b>                              | <b>17</b> |
| 2.1      | Ein kurzer historischer Abriss                                               | 17        |
| 2.2      | Begriffsdefinition                                                           | 20        |
| 2.3      | Exkurs: Partialanalyse der Allokationseffekte von Spillover-Effekten         | 23        |
| <b>3</b> | <b>Spillover-Effekte in F&amp;E-basierten Modellen endogenen Wachstums</b>   | <b>28</b> |
| 3.1      | Modelle zunehmender Produktvielfalt                                          | 28        |
| 3.1.1    | Darstellung des Romer-Modells                                                | 29        |
| 3.1.2    | Modellierung, Bedeutung und Implikationen der Spillover-Effekte im Modell    | 35        |
| 3.2      | Modelle der „schöpferischen Zerstörung“                                      | 39        |
| 3.2.1    | Darstellung des Grundmodells von Aghion und Howitt                           | 39        |
| 3.2.2    | Modellierung, Bedeutung und Implikationen der Spillover-Effekte im Modell    | 46        |
| 3.3      | Zusammenfassung                                                              | 51        |
| <b>4</b> | <b>Der traditionelle Ansatz zur Messung von Spillover-Effekten</b>           | <b>53</b> |
| 4.1      | Theoretische Ableitung des traditionellen Ansatzes                           | 53        |
| 4.2      | Operationalisierung des traditionellen Ansatzes                              | 55        |
| 4.3      | Ein Überblick über empirische Ergebnisse                                     | 60        |
| 4.4      | Kritik am traditionellen Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten        | 69        |
| 4.5      | Zusammenfassung                                                              | 72        |
| <b>5</b> | <b>Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Messung von Spillover-Effekten</b> | <b>73</b> |
| 5.1      | Veränderte Schätzgleichung                                                   | 73        |

|          |                                                                                                |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2      | Eine neue Methode zur Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken .                                    | 75         |
| 5.3      | Direkte Schätzung von Spillover-Effekten . . . . .                                             | 79         |
| 5.4      | Zusammenfassung . . . . .                                                                      | 80         |
| <b>6</b> | <b>Anwendung des neuen Verfahrens . . . . .</b>                                                | <b>82</b>  |
| 6.1      | Daten und Operationalisierung . . . . .                                                        | 82         |
| 6.2      | Ökonometrische Schätzung . . . . .                                                             | 87         |
| 6.3      | Schätzergebnisse . . . . .                                                                     | 90         |
| 6.4      | Exkurs: Internationale Spillover-Effekte einzelner Sektoren . . . .                            | 103        |
| 6.5      | Zusammenfassung . . . . .                                                                      | 108        |
| <b>7</b> | <b>Spillover-Effekte als Begründung von Staatseingriffen? . . . . .</b>                        | <b>110</b> |
| 7.1      | Zielsetzung wirtschaftspolitischer Maßnahmen bei Vorliegen von<br>Spillover-Effekten . . . . . | 110        |
| 7.2      | Empirische Evidenz für das Vorliegen von Marktversagen durch<br>Spillover-Effekte . . . . .    | 112        |
| 7.3      | Zusammenfassung . . . . .                                                                      | 117        |
| <b>8</b> | <b>Fazit und Ausblick . . . . .</b>                                                            | <b>118</b> |
|          | <b>Mathematischer Anhang . . . . .</b>                                                         | <b>122</b> |
|          | <b>Datenanhang . . . . .</b>                                                                   | <b>129</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>                                                          | <b>154</b> |
|          | <b>Personen- und Stichwortverzeichnis . . . . .</b>                                            | <b>163</b> |

## Tabellenverzeichnis

|               |                                                                                                                     |     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 4.1:  | Überblick über Ansätze zur Messung von interindustriellen Spillover-Effekten . . . . .                              | 63  |
| Tabelle 4.2:  | Überblick über Ansätze zur Messung von internationalen Spillover-Effekten . . . . .                                 | 65  |
| Tabelle 4.3:  | Elastizitäten externer F&E . . . . .                                                                                | 68  |
| Tabelle 6.1:  | Beschreibung der verwendeten Daten und deren Herkunft .                                                             | 86  |
| Tabelle 6.2:  | Ergebnisse der Unit-Root-Tests für die verwendeten Variablen . . . . .                                              | 89  |
| Tabelle 6.3:  | Schätzergebnisse zur Messung von in- und ausländischen Spillover-Effekten . . . . .                                 | 92  |
| Tabelle 6.4:  | F&E-Kapitalstockerhöhung zur Erzielung einer Outputerhöhung um 1 USD . . . . .                                      | 93  |
| Tabelle 6.5:  | Schätzergebnisse zur Messung von in- und ausländischen Spillover-Effekten in Einheiten pro Erwerbstätigen . . . . . | 95  |
| Tabelle 6.6:  | Einfluss inländischer Spillover-Effekte nach Ländern . . . . .                                                      | 98  |
| Tabelle 6.7:  | Geschätzte eingehende internationale Spillover-Effekte nach Ländern . . . . .                                       | 100 |
| Tabelle 6.8:  | Geschätzte ausgesendete internationale Spillover-Effekte nach Ländern . . . . .                                     | 102 |
| Tabelle 6.9:  | Einfluss empfangener internationaler Spillover-Effekte nach Sektoren . . . . .                                      | 106 |
| Tabelle 6.10: | Einfluss gesendeter internationaler Spillover-Effekte nach Sektoren . . . . .                                       | 107 |
| Tabelle 7.1:  | Wirkungsanalyse der geschätzten inländischen Spillover-Effekte . . . . .                                            | 113 |
| Tabelle 7.2:  | Wirkungszusammenhänge internationaler Spillover-Effekte auf die Innovationsaktivität . . . . .                      | 115 |
| Tabelle 7.3:  | Wirkungsanalyse der geschätzten internationalen Spillover-Effekte . . . . .                                         | 116 |
| Tabelle A1:   | Start- und Endwerte der Datenreihen für Dänemark . . . . .                                                          | 130 |
| Tabelle A2:   | Start- und Endwerte der Datenreihen für West-Deutschland                                                            | 132 |
| Tabelle A3:   | Start- und Endwerte der Datenreihen für England . . . . .                                                           | 134 |

|              |                                                                   |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle A4:  | Start- und Endwerte der Datenreihen für Finnland . . . . .        | 136 |
| Tabelle A5:  | Start- und Endwerte der Datenreihen für Frankreich . . . . .      | 138 |
| Tabelle A6:  | Start- und Endwerte der Datenreihen für Italien . . . . .         | 140 |
| Tabelle A7:  | Start- und Endwerte der Datenreihen für Japan . . . . .           | 142 |
| Tabelle A8:  | Start- und Endwerte der Datenreihen für Kanada . . . . .          | 144 |
| Tabelle A9:  | Start- und Endwerte der Datenreihen für die Niederlande . . . . . | 146 |
| Tabelle A10: | Start- und Endwerte der Datenreihen für Norwegen . . . . .        | 148 |
| Tabelle A11: | Start- und Endwerte der Datenreihen für Schweden . . . . .        | 150 |
| Tabelle A12: | Start- und Endwerte der Datenreihen für die USA . . . . .         | 152 |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 2.1: Situation des Nutzenstifters $h$ . . . . .                                        | 24 |
| Abbildung 2.2: Situation des Nutznießers $c$ . . . . .                                           | 25 |
| Abbildung 2.3: Situation, wenn der Nutzenstifter auch gleichzeitig Nutz-<br>nießer ist . . . . . | 26 |
| Abbildung 3.1: Auftretende Spillover-Effekte in verschiedenen Perioden .                         | 47 |



# 1 Einleitung

Die Bedeutung von Wissen für die wirtschaftliche Entwicklung von Volkswirtschaften ist schon seit den ökonomischen Klassikern bekannt. Die theoretische und empirische Forschung zur Bedeutung von Wissen für Wirtschaftswachstum und Wohlstand wurde aber erst in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts intensiv betrieben.<sup>1</sup> Im Sog der Ende der achtziger Jahre entwickelten, auf Forschung und Entwicklung (F&E) basierenden, endogenen Wachstumsmodelle kam Wissen auch auf die politische Agenda. Schnell etablierten sich plakative Begriffe wie „Wissensgesellschaft“, „technologische Leistungsfähigkeit“, „neue Bildungsoffensive“ usw. Heute haben sich nationale Regierungen wie internationale Organisationen die Förderung der Wissensgenerierung auf die Fahnen geschrieben. Insbesondere dem Staat wird eine wichtige Rolle bei der Schaffung von Wissen zugesprochen. Hierbei wird argumentiert, dass die im Zusammenhang mit der Generierung von Wissen auftretenden Spillover-Effekte zu Marktversagen führen. Die Marktteilnehmer investieren aufgrund dieser Externalität im Vergleich zum sozialen Optimum zu wenig in F&E. Dies induziert eine Wachstumsrate, die unterhalb der sozial optimalen liegt, und damit eine geringere Wohlfahrt als im sozialen Optimum. Die theoretischen Überlegungen *scheinen* auch von der empirischen Evidenz untermauert zu werden, da eine große Anzahl von ökonometrischen Studien vorliegt, die die Existenz von Spillover-Effekten belegen. Allein aus der Existenz von Spillover-Effekten wird im Allgemeinen die Notwendigkeit für staatliche Interventionen abgeleitet. Dies hat unter politischen Entscheidungsträgern die Meinung verfestigt, dass die staatliche Förderung von Wissensschaffung ökonomisch geboten sei und uneingeschränkt positiv wirkt.

Ein Beleg hierfür sind fehlende Vorab-Analysen über das Vorliegen von Marktversagen durch Spillover-Effekte, die eigentlich vor der Implementierung von F&E-Förderprogrammen vorgenommen werden müssten.<sup>2</sup> Stattdessen steigt in letzter Zeit die Zahl der ex-post Evaluierungen von staatlichen F&E-Förderprogrammen, die den Erfolg der Programme belegen sollen. Diese Studien untersuchen i. d. R., ob öffentlich in F&E

---

<sup>1</sup> Für einen Überblick über die vor dem zweiten Weltkrieg vorhandenen theoretischen Ansätze zur Erklärung des Wachstumsprozesses vgl. Kromphardt (1993), Kapitel 4.

<sup>2</sup> Zur Begründung von staatlicher Förderung von F&E werden häufig auch Marktversagen durch Unteilbarkeiten, Informationsdefizite und Unsicherheit angeführt. Doch auch für diese Arten von Marktversagen werden keine a priori Analysen vorgenommen.

geförderte Unternehmen in Bezug auf „Überlebenschancen“, Wachstum und Beschäftigung eine bessere Entwicklung als nicht geförderte Unternehmen aufweisen. Das wenig überraschende Ergebnis der meisten Studien besteht darin, dass die geförderten Unternehmen tatsächlich in Bezug auf die oben genannten Indikatoren erfolgreicher sind. Allerdings sagen die Ergebnisse nichts darüber aus, ob tatsächlich ein Marktversagen vorgelegen hat und ob dieses durch die staatliche Förderung behoben werden konnte. Liegt ein Marktversagen nicht vor, so hat der staatliche Eingriff schlicht zu einer Subventionierung ausgewählter Unternehmen und damit zu einer Wettbewerbsverzerrung geführt. Weiterhin wurden die verwendeten Steuermittel anderen Verwendungsarten entzogen und führten damit zu einer Fehlallokation dieser Mittel. Kurzum, liegt kein Marktversagen vor, oder gleichen sich verschiedene Marktversagen wohlfahrtstheoretisch aus, so führt die Staatsintervention zu einer Verringerung der Wohlfahrt.

Wird vor diesem Hintergrund die Argumentation für das Vorliegen eines Marktversagens durch Spillover-Effekte nochmals eingehender betrachtet so zeigt sich, dass die Argumentation auf der Analyse einzelner Fragmente beruht, die alle für sich genommen richtig sind, aber doch keine konsistente Beantwortung der Frage nach der Bedeutung von Spillover-Effekten für das Wirtschaftswachstum zulassen.

Die theoretischen Argumente, die aus der endogenen Wachstumstheorie oder der Theorie der externen Effekte abgeleitet sind, berücksichtigen wichtige, das Wirtschaftswachstum beeinflussende Eigenschaften nicht. Zum Beispiel wird der Umstand, dass Agenten, die Spillover-Effekte aussenden, auch gleichzeitig Empfänger von Spillover-Effekten sein können, nicht modelliert. Dementsprechend greifen aus ihnen abgeleitete wirtschaftspolitische Implikationen zu kurz, da sie nur einen Teil des Einflusses von Spillover-Effekten berücksichtigen.

Auch die vorliegenden empirischen Studien zur Messung von Spillover-Effekten sind für die Beantwortung der Frage nach der Bedeutung von Spillover-Effekten für das Wirtschaftswachstum nur bedingt geeignet. Der Grund hierfür ist die diesen Studien zugrundeliegende Fragestellung, denn die große Mehrheit dieser Studien untersucht den technischen Fortschritt und damit die Produktivitätsentwicklung. Spillover-Effekte werden hierbei als eine Determinante des technischen Fortschritts berücksichtigt. Deshalb erfassen die verwendeten Methoden nur unter sehr restriktiven und realitätsfernen Annahmen – vollständige Konkurrenz, geschlossene Volkswirtschaft und Vollauslastung der Produktionsfaktoren – den Einfluss von Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum komplett. Sind diese Annahmen nicht erfüllt, bleiben wichtige Einflüsse von Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum unberücksichtigt. Mit dem unterschiedlichen

Untersuchungsgegenstand kann auch erklärt werden, warum in vielen ökonomischen Studien der Einfluss der Spillover-Effekte nicht exakt abgegrenzt<sup>3</sup> und damit überschätzt wird.

Dass die einzelnen theoretischen und empirischen Fragmente nicht zu konsistenten Aussagen über die Bedeutung von Spillover-Effekten für das Wirtschaftswachstum führen, ist nicht sonderlich verwunderlich, steht doch im Mittelpunkt der einzelnen Fragmente nicht die Analyse von Spillover-Effekten. Vielmehr sind die Spillover-Effekte hierbei nur *ein* Aspekt der Analyse. Schlussendlich sind mit dieser Inkonsistenz aber auch die vorliegenden wirtschaftspolitischen Implikationen und die daraus abgeleiteten wirtschaftspolitischen Instrumente in Frage zu stellen.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Sie verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz zur Untersuchung der Frage nach der Bedeutung von Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum. Ziel ist es, eine konsistente Analyse durchzuführen, auf deren Basis sich auch wirtschaftspolitisch belastbare Aussagen treffen lassen.

Die Analyse ist folgendermaßen aufgebaut. In Kapitel 2 wird zunächst der Untersuchungsgegenstand in einem ersten Schritt exakt abgegrenzt. Hierbei wird der Herkunft des Begriffs der Spillover-Effekte nachgegangen. Anschließend werden verschiedene in der Literatur vorhandene Konzepte diskutiert.

In einem zweiten Schritt werden in Kapitel 3 die Grundmodelle der F&E-basierten endogenen Wachstumsmodelle speziell auf die dort modellierten Spillover-Effekte hin analysiert. Im Rahmen der Analyse werden sowohl die Bedeutung der Spillover-Effekte für das Zustandekommen von Wirtschaftswachstum herausgearbeitet, als auch die Höhe der Spillover-Effekte ermittelt. Weiterhin werden die Auswirkungen der Spillover-Effekte auf das Marktgleichgewicht analysiert und Letzteres mit dem sozial optimalen verglichen, um so mögliche wirtschaftspolitische Implikationen aus den Modellen abzuleiten.

In Kapitel 4 werden im dritten Schritt vorliegende Studien zur Messung von Spillover-Effekten in Bezug auf ihre Aussagekraft hinsichtlich der hier gestellten Frage nach der Bedeutung von Spillover-Effekten für das Wirtschaftswachstum untersucht. Im Rahmen dieser Analyse werden die Annahmen, die der heute gängigen Messmethode zugrunde liegen, diskutiert. Weiterhin wird die auf diesen Annahmen aufbauende Operationalisierung der Messmethode eingehend analysiert. Eine kritische Diskussion beleuchtet die Probleme dieser „herkömmlichen“ Methode zur Messung

---

<sup>3</sup> Ein Beispiel ist die vernachlässigte Abgrenzung gegenüber dem Einfluss der Zulieferungen auf den Output.

von Spillover-Effekten für die Beantwortung der Frage nach der Bedeutung der Spillover-Effekte für das Wirtschaftswachstum.

In einem vierten Schritt wird in Kapitel 5 – ausgehend von den Problemen, die mit der herkömmlichen Methode verbunden sind – ein neues Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten entwickelt, welches für die hier untersuchte Fragestellung adäquat ist. Die wichtigsten Unterschiede zur herkömmlichen Methode liegen in einer veränderten Schätzgleichung, einem neuen Verfahren zur F&E-Kapitalstockkonstruktion und einer direkten Schätzung von Spillover-Effekten.

In Kapitel 6 wird in einem weiteren Schritt das in Kapitel 5 entwickelte neue Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten angewendet. Mit ökonometrischen Schätzungen werden die in- und ausländischen Spillover-Effekte von 12 OECD-Ländern gemessen. Hierbei kommen die veränderte Schätzgleichung, die neue Methode zur F&E-Kapitalstockkonstruktion und die Methode zur direkten Schätzung von Spillover-Effekten zum Einsatz. Eine weitere Besonderheit besteht darin, dass bei den Schätzungen empfangene und ausgesandte internationale Spillover-Effekte gemessen werden, die für die Ableitung wirtschaftspolitischer Implikationen von großer Bedeutung sind.

Im sechsten und letzten Schritt werden in Kapitel 7 die auf der Basis der theoretischen Überlegungen und den Ergebnissen der ökonometrischen Schätzungen ableitbaren wirtschaftspolitischen Implikationen diskutiert.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse abschließend besprochen und zukünftiger Forschungsbedarf aufgezeigt.

## 2 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

### 2.1 Ein kurzer historischer Abriss

Die Bedeutung von Wissen für Innovationen und somit für Wirtschaftswachstum und Wohlfahrt ist Ökonomen schon seit langem bewusst. So schrieb schon Adam Smith 1776, dass die Grundvoraussetzungen für Erfindungen, seien sie noch so einfach, Wissen und Fertigkeit sind (Smith (1776), S. 13):

„Were we to examine, in the same manner, all the different parts of his dress and household furniture ... with all the knowledge and art requisite for preparing that beautiful and happy invention, without which these northern parts of the world could scarce have afforded a very comfortable habitation“.

Wissen wird bei Smith allerdings durch Arbeitsteilung in Form von learning-by-doing generiert. Eine stärkere Arbeitsteilung und somit eine höhere Spezialisierung führt nach Smith zu einem „Ansteigen von Wissenschaft“. (Smith (1776), S. 12):

„Each individual becomes more expert in his own peculiar branch, more work is done upon the whole, and the quantity of science is considerably increased by it.“

Die Innovationen führen zu einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität. (Smith (1776), S. 256):

„In consequence of better machinery, of greater dexterity, and of a more proper division and distribution of work, all of which are the natural effects of improvement, a much smaller quantity of labour becomes requisite for executing any particular piece of work“.

Die Erhöhung der Arbeitsproduktivität hat eine Erhöhung des Realinkommens zur Folge. Diese wiederum führt zu einer Vergrößerung des Absatzmarktes. Da bei Smith die Größe des Absatzmarktes das Ausmaß

der Arbeitsteilung begrenzt (vgl. Smith (1776), S. 18 ff.) führt eine Vergrößerung des Absatzmarktes zu größerer Arbeitsteilung und damit wiederum zu steigender Arbeitsproduktivität. Somit führt Wissen bei Smith schlussendlich zu Wirtschaftswachstum.

Die Problematik von positiven Externalitäten in Verbindung mit Wissen wurde allerdings von ihm nicht behandelt.<sup>1</sup> Dieses Thema wurde 1828 von Jean-Baptiste Say in die ökonomische Literatur eingeführt. Er wies darauf hin, dass das aufwendig generierte Wissen sehr einfach diffundieren kann. Für die Nutzer des neuen Wissens gibt es nach Says Ansicht keinen Grund, den Erfindern etwas für ihre Arbeit zurückzugeben. (Say (1821), S. 328-329):

„But the knowledge, acquired with so much difficulty, is probably transmissible in a few pages; and, through the channel of public lectures, or of the press, is circulated in much greater abundance, than required for consumption; or, rather, it spreads of itself, and, being imperishable, there is never any necessity to recur to those, from whom it originally emanated. Thus, according to the natural laws, whereby the price of things is determined, this superior class of knowledge will be very ill paid; that is to say, it will receive a very inadequate portion of the value of the product, to which it has contributed.“

In den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts führte Arthur Cecil Pigou positive Externalitäten im Zusammenhang mit Wissen in die Wohlfahrtsökonomie ein. Pigou zeigte, dass die mit der Wissensgenerierung auftretenden Externalitäten zu einem Auseinanderfallen von privater und sozialer Ertragsrate führen. Er schrieb (Pigou (1932), S. 183-185):

„Among these examples we may set out first a number of instances in which marginal private net product falls short of marginal social net product, because incidental services are performed to third parties from whom it is technically difficult to exact payment. (...) Lastly and most important of all, it is true of resources devoted alike to the fundamental problems of scientific research, out of which, in unexpected ways, discoveries of high practical utility often grow, and also to the perfecting of inventions and improvements in industrial processes. These latter are often of such a nature that they can

---

<sup>1</sup> Für eine ausführliche Beschreibung und Analyse von Adam Smiths Verständnis von Wissenschaft und Technologie vgl. Langlois (2001).

neither be patented nor kept secret, and, therefore, the whole of the extra reward, which they at first bring to their inventor, is very quickly transferred from him to the general public in the form of reduced prices.“

Pigous Ansatz wurde in den fünfziger und sechziger Jahren von verschiedenen Autoren, wie Griliches (1958), Arrow (1962), Machlup (1962), Schmookler (1966), Mansfield (1968a, 1968b), Nordhaus (1969), im Rahmen der Erforschung von Innovationen<sup>2</sup> und Wirtschaftswachstum aufgegriffen. Griliches (1958) war hierbei einer der Ersten, der mit Hilfe ökonomometrischer Verfahren den sozialen Ertrag von Forschung im Bereich der Landwirtschaft ermittelte und somit einen der ersten Beiträge zur Messung dieser positiven Externalitäten leistete.

Unter den ersten Autoren<sup>3</sup>, die den Begriff „Spillover“ für die im Zusammenhang mit Wissen auftretenden positiven externen Effekte verwendeten, befindet sich William D. Nordhaus. In seinem 1969 erschienen Buch „Invention, Growth, and Welfare – A Theoretical Treatment of Technological Change“ schreibt er im 3. Kapitel „Imperfections in the Invention Market“ (Nordhaus (1969), S. 36):

„The specific particularities of knowledge that make its markets so imperfect are (1) the lumpiness of the inventive inputs necessary to produce knowledge, and (2) the high degree of spillover or externality that accompanies the inventive process. These two characteristics lead to a high degree of imperfection in the knowledge market.“

Die Spillover-Effekte werden von ihm wenig später noch in der Weise präzisiert, dass neues Wissen zu anderen Firmen diffundieren und von diesen im Wettbewerb verwendet werden kann. Dabei weist er auch auf die Unterschiede von Wissen zu physischem Kapital hin. (Nordhaus (1969), S. 66):

„Because knowledge, unlike capital, cannot be bolted down, a certain amount of the firm’s new knowledge will spill over to other firms and can be used by potential entrants. As noted earlier, this diffusion constitutes a major source of technological external economy.“

---

<sup>2</sup> Synonym wurden auch die Begriffe „technischer Wandel“ und „Invention“ verwendet.

<sup>3</sup> Die erste vom Autor zurückverfolgbare Nennung des Begriffs „Spillover“ findet sich bei Mansfield (1968b), S. 19.

Mit Hilfe von Nordhauses Ausführungen kann nun eine präzise Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes dieser Arbeit vorgenommen werden. Der folgende Abschnitt diskutiert hierfür verschiedene Interpretationen von Spillover-Effekten.

## 2.2 Begriffsdefinition

Entsprechend den Ausführungen von Nordhaus handelt es sich bei Spillover-Effekten um eine positive Externalität, die durch Diffusion von Wissen auftritt. Dabei sieht Nordhaus das Auftreten der Externalität in den Eigenschaften von Wissen verursacht.<sup>4</sup> Diese sind: Nicht-Rivalität im Konsum und eine teilweise Nicht-Ausschließbarkeit.<sup>5</sup>

Die Festlegung von Spillover-Effekten als eine durch die Eigenschaften von Wissen verursachte Externalität steht im Widerspruch zu heute häufig in der Literatur verwendeten Spillover-Begriffen. So unterscheidet Jaffe (1996) beispielsweise zwischen Wissens-<sup>6</sup>, Markt- und Netzwerk-Spillover-Effekten. Unter Markt-Spillover-Effekten – die Arrow (1962) als „appropriability effect“ und Griliches als „rent spillover“ bezeichnet – versteht Jaffe die Käuferrenten, die beim Vertrieb eines neuen Produktes oder Verfahrens auftreten können.<sup>7</sup> Er schließt aus dem Vorhandensein von Käuferrenten, dass der Erfinder nicht die vollen Erträge seiner Innovation internalisieren kann, sondern die Käufer sich einen Teil davon aneignen. Nur bei perfekter Preisdiskriminierung internalisiert der Erfinder alle Erträge seiner Erfindung. Es muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass dies aber bei jedem Gut der Fall ist und somit nicht in einer besonderen Eigenschaft von Wissen begründet ist. Ein Netzwerk-Spillover-Effekt tritt nach Jaffe auf, wenn der Wert einer Erfindung stark von der Entwicklung komplementärer Technologien abhängt (vgl. Jaffe (1996)).

Nach der Definition von Nordhaus sind die von Jaffe eingeführten Markt-Spillover- und Netzwerk-Spillover-Effekte aber nicht als Spillover-Effekte im eigentlichen Sinne anzusehen, da sie weder eine Externalität darstellen, noch durch besondere Eigenschaften von Wissen verursacht sind.

---

<sup>4</sup> Vgl. Zitat von Nordhaus auf Seite 19 oder vgl. Mohnen (1996), S. 41.

<sup>5</sup> Die Nicht-Ausschließbarkeit kann hierbei als eine Funktion der Technologie und des vorhandenen Rechtssystems angesehen werden. Vgl. Romer (1990), S. S74-S75.

<sup>6</sup> „Knowledge created by one agent can be used by another without compensation, or with compensation less than the value of the knowledge.“ Jaffe (1996), S. 5.

<sup>7</sup> Der Begriff Käuferrente wird hier verwendet, da diese Rente nicht nur bei Konsumenten, sondern auch bei Käufern von Zwischenprodukten oder Kapitalgütern auftritt.

Auch der von Jaffe verwendete Wissens-Spillover-Begriff unterscheidet sich von dem Nordhauses. So sieht Jaffe auch eine finanzielle „Unterkompensation“ von Wissen als Spillover-Effekt an.<sup>8</sup> Allerdings stellt auch dies keinen externen Effekt dar, weil die zwei Partner in einer Vertragsbeziehung stehen und der Verkauf des Wissens über einen Markt abgewickelt wird (vgl. Verspagen (1997a), S. 230).<sup>9</sup> Die auf diese Weise vereinbarte Kompensation, auch wenn sie geringer ausfällt als der tatsächliche Wert des Wissens<sup>10</sup>, ist eine freiwillig eingegangene marktliche Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Nutzer des Wissens und deshalb kein marktexterner Effekt. Sie können daher auch keinen Grund für ein Marktversagen darstellen (vgl. Park (1995), S. 571). Somit bleibt festzuhalten, *dass eine Voraussetzung für das Auftreten von Spillover-Effekten die Abwesenheit einer Kompensation für das genutzte Wissen ist.*<sup>11</sup> Auch Griliches (1979) und Kaiser (1999) lassen ausschließlich unkompensierten Wissenstransfer als „wirkliche“ Spillover-Effekte gelten.<sup>12</sup>

Die reine Feststellung, dass es sich bei Spillover-Effekten um positive externe Effekte handelt, die durch das Diffundieren von Wissen verursacht werden, reicht allerdings noch nicht aus, um den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit exakt abzugrenzen. Denn nicht alle Spillover-Effekte sind gleichermaßen interessant für die Beantwortung der Frage nach durch sie ausgelöstem Marktversagen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass Spillover-Effekte, die „gewollt“ auftreten, wie dies beispielsweise bei Universitäten in der Regel der Fall ist, nicht zu einem Marktversagen führen. Ein Marktversagen durch Spillover-Effekte entsteht nur dann, wenn Wissen mit dem Ziel von Gewinnerzielung generiert wurde. Der mit den *unerwünschten* Spillover-Effekten einhergehende Gewinnverlust *kann*<sup>13</sup> dann zu einem Marktversagen führen. Interessanterweise wird somit das *Motiv*, mit welchem Forschung betrieben wird, zu einem wichtigen Aspekt der vorliegenden Analyse. Spillover-Effekte, die von nicht gewinnorientierten Organisationen ausgehen, müssen daher aus der Analyse

---

<sup>8</sup> Vgl. Jaffes Definition in Fußnote 6.

<sup>9</sup> Vgl. die Diskussion von Scitovsky (1954) über „technological and pecuniary external economies“.

<sup>10</sup> Wie sich der Wert des Wissens ergibt, bleibt bei Jaffe unbeantwortet.

<sup>11</sup> Vgl. hierzu die Definitionen von externen Effekten bei Feess (1997), S. 750, Schumann/Meyer/Ströbele (1999), S. 492, Pindyck/Rubinfeld (1998), S. 743.

<sup>12</sup> „True spillovers are the ideas borrowed by the research teams of industry i from the research results of industry j.“ Griliches (1979), S. 104. „The amount of knowledge a firm receives from other firms without paying for it is called ‘knowledge spillover’.“ Kaiser (1999), Zitat aus der Non-technical Summary.

<sup>13</sup> Die Diskussion, wann ein auftretender Spillover-Effekt zu einer Staatsintervention führen sollte, wird in Kapitel 7 näher beleuchtet.

der Spillover-Effekte, die zu Marktversagen führen können, herausgehalten werden. Für die später folgende Operationalisierung bei der Messung von Spillover-Effekten ist dies ein wichtiges Ergebnis, da somit hauptsächlich von Unternehmen generiertes Wissen für die hier vorgenommene Analyse von Interesse ist.

Zuletzt soll noch der in dieser Arbeit verwendete Wissensbegriff exakt abgegrenzt werden, da nicht jede Form von Wissen zu Spillover-Effekten führt. In der Literatur wird grob zwischen technischem Wissen<sup>14</sup> und Humankapital unterschieden. Bei technischem Wissen handelt es sich um Wissen, welches bei der Produktion von Gütern als Input verwendet wird und die Eigenschaften eines öffentlichen Gutes besitzt. Technisches Wissen liegt beispielsweise in Form von Blaupausen, Computerprogrammen oder chemischen Formeln vor und wird im Zuge von angewandter Forschung und Entwicklung<sup>15</sup> (F&E) erworben. Bei Humankapital hingegen handelt es sich um Wissen und Fähigkeiten, die in einem Menschen „verkörpert“ sind. Humankapital kann durch Ausbildung, Training und Erfahrung erworben werden oder schlicht durch Veranlagung gegeben sein. Wichtig ist hierbei allerdings, dass es sich bei Humankapital nicht um ein öffentliches Gut handelt. (Barro/Sala-i-Martin (1995), S. 172):

„We should emphasize, however, some respects in which the accumulation of human capital differs from the creation of knowledge in the form of technological progress. If we think of human capital as the skills embodied in a worker, then the use of these skills in one activity precludes their use in another activity; hence, human capital is a rival good. Since people have property rights in their own skills, as well as in their raw labor, human capital is also an excludable good. In contrast, ideas of knowledge may be nonrival – in that they can be spread freely over activities of arbitrary scale – and may in some circumstances be nonexcludable.“

Die Rivalität im „Konsum“ und die Ausschließbarkeit der Nutzung von Humankapital schließt ihr ungewolltes Diffundieren aus. Im Zusammenhang mit Humankapital können somit genau genommen auch keine Spillover-Effekte auftreten.

Damit ist die Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes abgeschlossen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Analyse von *technolo-*

---

<sup>14</sup> Vgl. beispielsweise Nordhaus, der dieses Wissen „technical knowledge“ nennt. Vgl. Nordhaus (1969), S. 4.

<sup>15</sup> Vgl. OECD (1993) für eine Definition von F&E.

*gischen Spillover-Effekten*<sup>16</sup>, die folgendermaßen definiert sind: Technologische Spillover-Effekte sind positive externe Effekte, die von wissensgenerierenden, profit-orientierten Unternehmen durch die *ungewollte* Diffusion von Wissen ausgehen.

## 2.3 Exkurs: Partialanalyse der Allokationseffekte von Spillover-Effekten

Mit Hilfe einer Partialanalyse können mögliche Allokationseffekte von Spillover-Effekten untersucht werden. Die Theorie der externen Effekte stellt hierfür ein hilfreiches Instrumentarium zur Verfügung. Im Folgenden wird untersucht, welchen Einfluss auftretende Spillover-Effekte auf die Allokation auf dem „Wissensmarkt“ haben.

Ausgangspunkt der Überlegung ist ein Unternehmen, ein Sektor oder ein Land, welches unter Verwendung von Inputs Wissen herstellt und dieses verkauft. Dabei macht es für die Analyse der Allokationseffekte keinen Unterschied, ob das generierte Wissen firmenintern „verkauft“ oder ob es beispielsweise in Form von Lizenzen an Dritte veräußert wird. Die durch die Bereitstellung des Gutes „Wissen“ bewirkte Wohlfahrtssteigerung der Gesellschaft ergibt sich aus der Summe der Konsumenten- und Produzentenrente (vgl. Fritsch/Wein/Ewers (2001), S. 55-57). Das lokale soziale Optimum auf dem Wissensmarkt ist hierbei gegeben, wenn die Grenznutzen gleich den Grenzkosten sind. Durch die bereits in Kapitel 2.2 diskutierte ungewollte Diffusion von Wissen entstehen Spillover-Effekte, die den Nutzen anderer Akteure erhöhen, ohne dass diese den Nutzenstifter dafür kompensieren. Die Partialanalyse kommt für den Fall des Senders von Spillover-Effekten (Nutzenstifter) zu dem Ergebnis, dass er weniger F&E durchführt, als sozial wünschenswert wäre. Abbildung 2.1 verdeutlicht diesen Zusammenhang beispielhaft für ein Unternehmen  $h$  bei vollständiger Konkurrenz.

Dabei spiegelt  $N'$  die über den Marktpreis abgeholten Nutzen der Nachfrager wider. Der soziale Nutzen ergibt sich, wenn zu dem privaten Nutzen auch die nicht vergüteten externen Nutzen hinzu addiert werden. Die entsprechende soziale Nachfrage nach Wissen wird durch  $N''$  dargestellt.  $p_h$  und  $y'$  geben den Preis und die Menge an Wissen im Marktgleichgewicht an,  $p_h^*$  und  $y^*$  stellen den Preis und die Menge an Wissen im lokalen sozialen Optimum dar. Es ist offensichtlich, dass die Vernachlässigung des sozialen Nutzens eine Fehlallokation zur Folge hat, die zu einem

<sup>16</sup> Im Folgenden wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur noch von Spillover-Effekten gesprochen.

Auseinanderfallen von Marktgleichgewicht (Punkt  $M$ ) und lokalem sozialen Optimum (Punkt  $S$ ) führt.

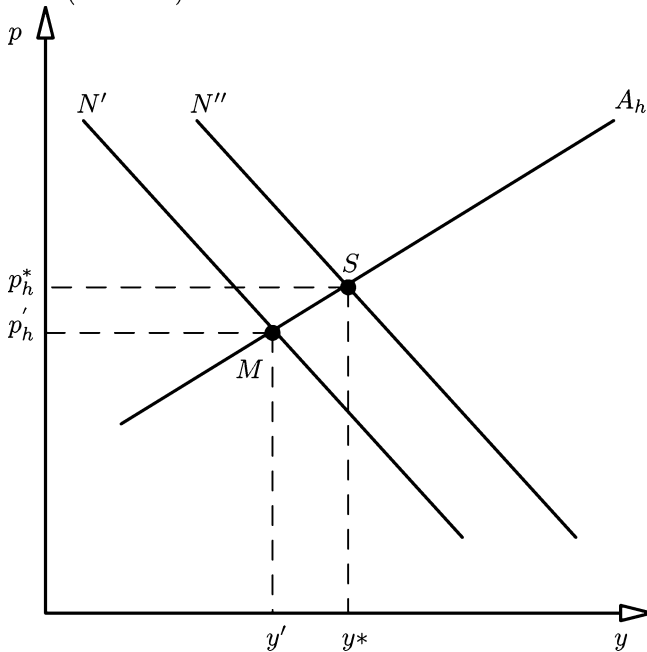
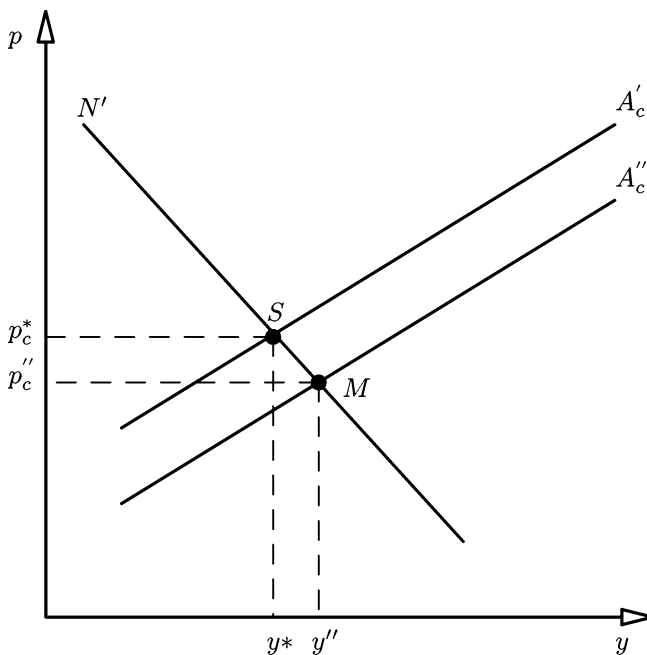


Abbildung 2.1: Situation des Nutzenstifters  $h$

Auf der anderen Seite gibt es die Unternehmen, die von den Spillover-Effekten profitieren (Nutznießler). Diese reduzieren durch die Spillover-Effekte ihre Grenzkosten der Wissensproduktion, da sie den Aussender der Spillover-Effekte nicht kompensieren und damit eine Teilmenge ihres Inputfaktors „Wissen“ kostenlos beziehen. Aus diesem Grund können sie eine Menge des von ihnen produzierten *Wissens* absetzen, die größer ist als die sozial erwünschte. Abbildung 2.2 verdeutlicht diesen Zusammenhang beispielhaft für ein Unternehmen  $c$  bei vollständiger Konkurrenz. Wobei  $A'_c$  die Angebotskurve unter Berücksichtigung der sozialen Kosten des Wissens darstellt. Die Angebotskurve  $A''_c$  hingegen gibt das bereitgestellte Angebot an Wissen unter Berücksichtigung der eingegangenen Spillover-Effekte – bzw. unter Vernachlässigung der sozialen Kosten – an.  $p''_c$  und  $y''$  bezeichnen den Preis und die Menge an Wissen im Marktgleichgewicht.  $p^*_c$  und  $y^*$  stellen wiederum den Preis und die Menge an Wissen im sozialen Optimum dar. Auch hier zeigt sich eine Fehlallokation verursacht durch die Vernachlässigung der sozialen Kosten des hergestellten Wissens, was zu einem Auseinanderfallen von Marktgleichgewicht (Punkt  $M$ ) und lokalem sozialen Optimum (Punkt  $S$ ) führt.

Abbildung 2.2: Situation des Nutznießers  $c$ 

Auf der Basis dieser beiden Partialanalysen können allerdings keine Aussagen über die Notwendigkeit eines Staatseingriffs getroffen werden. Der Grund hierfür liegt in einer wichtigen Besonderheit der Wissensproduktion, in der Wissen gleichzeitig Input *und* Output ist. Das von Unternehmen  $A$  generierte Wissen dient anderen Unternehmen als Input in deren Wissensherstellung. Gleichzeitig stellt das von anderen Unternehmen generierte Wissen wiederum einen Input für die Wissensproduktion des Unternehmens  $A$  dar. In diesem Zusammenhang wird von bilateralen externen Effekten (vgl. Feess (1997), S. 506) gesprochen, da der Nutzen des betrachteten Unternehmens, Sektors oder Landes negativ durch die gesendeten und positiv durch die empfangenen Spillover-Effekte beeinflusst wird. In dem eben beschreibenden Zusammenhang bedeutet dies, dass Nutzenstifter auch gleichzeitig Nutznießer sein können. Somit müssen für die Analyse eines durch Spillover-Effekte ausgelösten Marktversagens<sup>17</sup> die ein- *und* ausgehenden Spillover-Effekte in die Betrachtung einbezogen werden. Abbildung 2.3 verdeutlicht diesen Zusammenhang beispielhaft für ein Unternehmen bei vollständiger Konkurrenz graphisch.

<sup>17</sup> Hierbei wird Marktversagen als ein Zuviel oder Zuwenig an Wissensproduktion im Vergleich zum lokalen sozialen Optimum angesehen wird.

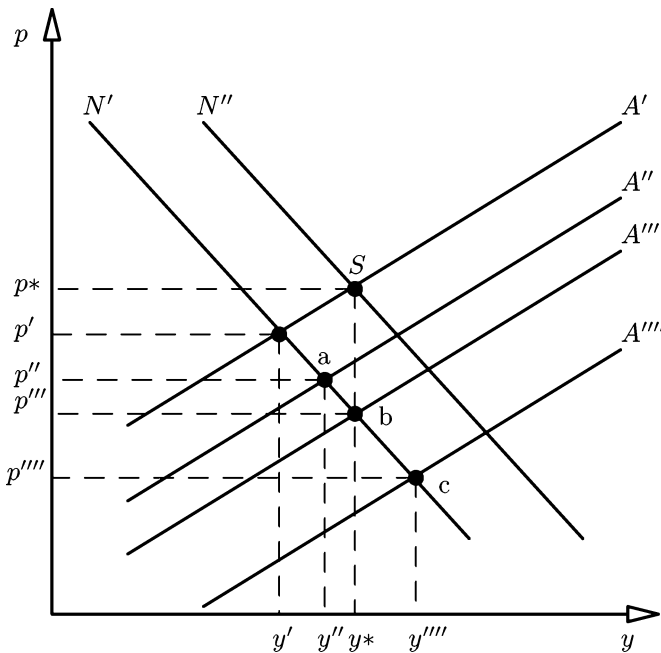


Abbildung 2.3: Situation, wenn der Nutzenstifter auch gleichzeitig Nutznießer ist

Hierbei stellt  $N'$  wieder die Marktnachfrage,  $N''$  die soziale Nachfrage und  $A'$  das Marktangebot unter Berücksichtigung der sozialen Kosten dar.  $A''$ ,  $A'''$  und  $A''''$  geben das Angebot unter Vernachlässigung der sozialen Kosten eingehendender Spillover-Effekte wieder. Die vernachlässigten sozialen Kosten – bzw. die eingehenden Spillover-Effekte – nehmen von  $A''$  nach  $A''''$  zu. Die ausgesendeten Spillover-Effekte des Nutzenstifters können durch eingehende Spillover-Effekte anderer Akteure unter- (Punkt a), über- (Punkt c) oder exakt (Punkt b) kompensiert werden. Anders formuliert: Der nicht vergütete externe Nutzen des von einem Unternehmen, Sektor oder Land hergestellten Wissens kann durch vernachlässigte soziale Kosten des gleichen Unternehmens, Sektors oder Landes unter-, über- oder exakt kompensiert werden. Dementsprechend kann auch die vom Markt bereitgestellte Menge an F&E zu einer unter-, über- oder sozial optimalen „Versorgung“ mit F&E führen (vgl. Mohnen (1990), S. 134). Ein Vergleich der Konsumenten- und Produzentenrenten im Marktgleichgewicht b und dem lokalen sozialen Optimum S zeigen, dass der im Marktgleichgewicht b realisierte Preis  $p'''$  zu keinen Störungen in anderen Märkten aufgrund einer Veränderung der Budgetrestriktion führt, da diese unverändert bleibt. Dies liegt darin begründet, dass Preis und Grenzkosten gleichermaßen ge-

sunken sind und damit auch die Einnahmen und Ausgaben der Haushalte. Abschließend bleibt festzuhalten, dass es von einem theoretischen Standpunkt aus durchaus nicht eindeutig ist, ob und gegebenenfalls welche Interventionen (Subventionierung oder Besteuerung) der Staat im Bereich von F&E durchführen sollte, um das lokale soziale Optimum auf dem Wissensmarkt zu erreichen.

### 3 Spillover-Effekte in F&E-basierten Modellen endogenen Wachstums

Das vorliegende Kapitel geht der Frage nach, welche Bedeutung Spillover-Effekte in F&E-basierten endogenen Wachstumsmodellen haben. Im Zentrum der Analyse steht insbesondere der Einfluss auftretender Spillover-Effekte auf die Wohlfahrt von Volkswirtschaften. Hierbei soll geklärt werden, ob die untersuchten Modelle eine Aussage darüber zulassen, ob die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht bei Vorliegen von Spillover-Effekten unter der im sozialen Optimum liegt, was eine staatliche Intervention in Form einer F&E-Förderung nahelegen würde.

Um angesichts der seit Mitte der achtziger Jahre stark zunehmenden Anzahl von endogenen Wachstumsmodellen nicht die Fragestellung aus den Augen zu verlieren, wird sich die Analyse auf die F&E-basierten endogenen Wachstumsmodelle konzentrieren, in denen Unternehmen aktiv F&E durchführen, um technisches Wissen zu generieren.<sup>1,2</sup>

Innerhalb der Gruppe der F&E-basierten endogenen Wachstumsmodelle lassen sich zwei Ansätze unterscheiden. Zum einen die auf einen Artikel von Romer (1990) zurückgehenden *Modelle zunehmender Produktvielfalt*, die im nächsten Abschnitt eingehend analysiert werden, und zum anderen die auf die Arbeit von Aghion und Howitt (1992) zurückgehenden *Modelle zunehmender Produktqualität*, welche in Abschnitt 3.2 untersucht werden. Bei der Analyse wird auf die jeweiligen Grundmodelle von Romer (1990) und Aghion und Howitt (1992) zurückgegriffen.

#### 3.1 Modelle zunehmender Produktvielfalt

Die in diesem Abschnitt behandelte Gruppe von F&E-basierten endogenen Wachstumsmodellen entstand Anfang der neunziger Jahre. Sie modellieren den technischen Fortschritt in einer Volkswirtschaft als Zunahme der in ihr produzierten Anzahl unterschiedlicher Güter. Ein erstes Modell wurde von Paul M. Romer (1990) entwickelt. Das in Abschnitt

---

<sup>1</sup> Dies unterscheidet sie von den auf Frankel (1962) zurückgehenden AK-Modellen und von den auf Lucas (1988) zurückgehenden Humankapitalmodellen, die auch zu den endogenen Wachstumsmodellen gezählt werden.

<sup>2</sup> Die in diesen Modellen auftretenden Spillover-Effekte stehen im Einklang mit der im vorangegangenen Abschnitt vorgenommenen Begriffsdefinition.

3.1.1 ausführlich diskutierte Modell begreift den technischen Fortschritt als Zunahme der Produktvielfalt an *Kapitalgütern*, die zur Herstellung von Konsumgütern verwendet werden.

Ein weiteres Modell stammt von Grossman und Helpman, welche 1991 ein Modell zunehmender *Konsumgütervielfalt* entwickelten (vgl. Grossman/Helpman (1991), Kapitel 3, S. 43-83). Es handelt sich hierbei um ein Ein-Sektoren-Modell, in dem Unternehmen neue Konsumgüter erfinden und diese auch produzieren. Im Gegensatz zu Romers Modell hängt der Nutzen der Haushalte nicht von der Konsummenge, sondern von der Vielfalt der zur Verfügung stehenden Konsumgüter ab. Die Modellierung der Wissenserzeugung entspricht der im Romer-Modell und führt deshalb zu der gleichen Art von Spillover-Effekten und damit zu den gleichen Schlussfolgerungen. Aus diesem Grunde ermöglicht das Modell keine weitergehenden Einsichten für den hier analysierten Untersuchungsgegenstand und wird daher im Folgenden nicht weiter behandelt.<sup>3</sup>

### 3.1.1 Darstellung des Romer-Modells

In Anlehnung an seine Dissertation (1983) und seine (1986) und (1987) erschienenen Artikel, die die Einführung von zunehmenden Ertragsraten in die Wachstumstheorie zum Thema hatten, entwickelte Romer (1990) ein endogenes Wachstumsmodell mit Spillover-Effekten. Romer geht in seinem Modell von vier verschiedenen Produktionsfaktoren aus: Kapital, Arbeit, Humankapital und dem Technologieniveau. Letzteres wird als Anzahl vorhandener Konstruktionsentwürfe für Kapitalgüter, sogenannte Designs, gemessen. Das Modell besteht aus drei Sektoren. Im *Forschungssektor*, werden unter Einsatz von Humankapital und des existierenden Wissenskapitalstocks neue Konstruktionsentwürfe für Kapitalgüter entwickelt. Im *Kapitalgütersektor*, werden unter Einsatz der Konstruktionsentwürfe aus dem Forschungssektor und Konsumgütern<sup>4</sup> Kapitalgüter herstellt. Diese werden im dritten, dem *Konsumgütersektor*, neben Arbeit und Humankapital zur Herstellung von Konsumgütern verwendet. Die Konsumgüter

---

<sup>3</sup> Für eine kurze Darstellung des Grossman/Helpman-Modells und eine Diskussion der Unterschiede zum Romer-Modell, vgl. Barro/Sala-i-Martin (1995), S. 231-237.

<sup>4</sup> Präziser ausgedrückt verzichten die Wirtschaftssubjekte auf einen Teil ihres Konsums und investieren die so bei der Konsumgüterherstellung eingesparten Ressourcen in die Produktion von Kapitalgütern. Unter der Annahme, dass die Produktionsfunktionen zur Herstellung von Konsumgütern und Kapitalgütern die gleiche Funktionsform besitzen, kann der Ressourceneinsatz in der Kapitalgüterproduktion durch die Anzahl der nicht konsumierten Konsumgüter angegeben werden. Im Englischen wird hierbei von „forgone consumption“ gesprochen. Im Folgenden wird daher, der Übersichtlichkeit wegen, bei der Herstellung von Kapitalgütern vom Einsatz von Konsumgütern gesprochen. Vgl. Romer (1990), S. S81.

können entweder konsumiert oder zur Herstellung von Kapitalgütern verwendet werden.

Um die Modellstruktur einfach zu halten, unterstellt Romer verschiedene vereinfachende Annahmen. Als Erstes geht er davon aus, dass Bevölkerung und Arbeitsangebot konstant sind. Ferner nimmt er an, dass der Humankapitalstock in der Bevölkerung fix ist und ein konstanter Teil davon auf dem Markt angeboten wird.<sup>5</sup>

Zur Ermittlung der Bedeutung der in Romers Modell auftretenden Spillover-Effekte wird dieses im Folgenden formal hergeleitet. Im Konsumgütersektor werden entsprechend folgender Cobb-Douglas-Produktionsfunktion Konsumgüter  $Y$  produziert:

$$(3.1) \quad Y(H_Y, L, x) = H_Y^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} di$$

Dabei ist  $H_Y$  das im Konsumgütersektor verwendete Humankapital und  $L$  die eingesetzte Arbeit.  $x(i)$  stellt die im Konsumgütersektor eingesetzten Kapitalgüter dar.<sup>6</sup>

Die im Konsumgütersektor benötigten Kapitalgüter werden im zweiten Sektor hergestellt. Die Nachfrage nach Kapitalgütern ergibt sich aus den Marktbedingungen im Konsumgütersektor. Die konsumgüterherstellenden Unternehmen befinden sich im perfekten Wettbewerb. Da  $L$  und  $H_Y$  fix sind,<sup>7</sup> können die Unternehmen ihren Profit nur maximieren, indem sie die Anzahl der einzusetzenden Kapitalgüter wählen, die sie zum Preis von  $p(i)$  von den Kapitalgütherstellern mieten. Für sie stellt sich daher folgendes Maximierungsproblem:

$$(3.2) \quad \max_x \int_0^\infty [H_Y^\alpha L^\beta x(i)^{1-\alpha-\beta} - p(i)x(i)] di$$

---

<sup>5</sup> Die Aufhebung dieser Annahmen würde zu keinen grundlegend anderen Ergebnissen führen. Vgl. Romer (1990), S. S80.

<sup>6</sup> Zur Vereinfachung der Analyse wird der Technologieindex  $i$ , der die Anzahl der entwickelten Designs wiedergibt, als kontinuierliche Variable behandelt. Bei Verwendung einer diskreten Variable müsste die Form der Produktionsfunktion entsprechend an die Unteilbarkeit der Variablen angepasst werden, was die Analyse bedeutend komplizieren würde. Die Berücksichtigung der Unteilbarkeit der Forschungsprojekte auf der mikroökonomischen Ebene und bei Kurzfristbetrachtungen ist unbestreitbar notwendig, doch kann diese Eigenschaft bei Betrachtungen auf der makroökonomischen Ebene, ohne zu anderen Ergebnissen zu kommen, aufgegeben werden. Vgl. Romer (1990), S. S82.

<sup>7</sup> Die Aufteilung zwischen dem im Konsumgütersektor eingesetzten Humankapital  $H_Y$  und dem im Forschungssektor eingesetzten Humankapital  $H_A$  wird später im Modell determiniert.

Die Maximierung des Integrals führt zur nachstehenden inversen Nachfragefunktion für Kapitalgüter:

$$(3.3) \quad p(i) = (1 - \alpha - \beta) H_Y^\alpha L^\beta x(i)^{-\alpha-\beta}$$

Die profitmaximierenden, kapitalgüterherstellenden Unternehmen nehmen die Nachfragekurve als gegeben an. Jedes Unternehmen maximiert unter dieser Annahme seine Profite.

$$(3.4) \quad \pi = \max_x p(x)x - r\eta x = \max_x (1 - \alpha - \beta) H_Y^\alpha L^\beta x^{1-\alpha-\beta} - r\eta x$$

Der Gewinn ist hierbei gegeben durch den Strom an Mieten  $p(x)$  abzüglich der verzinsten Kosten von  $[r \cdot \eta x]$  für die Miete der Kapitalgüter, dabei stellt  $r$  den Zinssatz und  $\eta$  die benötigte Menge an Konsumgütern zur Herstellung einer Einheit Kapitalgut dar. Der gewinnmaximale Preis für den Kapitalgüthersteller ergibt sich aus der Gleichung 3.4 und lässt sich als einfacher Aufschlag auf die Grenzkosten ausdrücken.<sup>8</sup>

$$(3.5) \quad p^* = \frac{r\eta}{(1 - \alpha - \beta)}$$

Die Kapitalgüthersteller erzielen einen Preis, der über den Grenzkosten liegt und somit einen Monopolpreis darstellt. Gesichert wird diese Monopolposition durch den Kauf des exklusiven Rechts zur Produktion des Kapitalgutes  $i$  vom Erfinder des Designs  $i$ , der gleichzeitig Inhaber eines unbegrenzt gültigen Patents auf dieses Design ist.<sup>9</sup> Ein Markteintritt von Wettbewerbern ist damit ausgeschlossen. Bei der Vergabe der Exklusivrechte für die Produktion eines neuen Kapitalguts überbieten sich die Kapitalgüthersteller so lange, bis der abdiskontierte Strom ihrer Gewinne aus der Produktion  $(\pi(t)/r(t))$  dem Preis  $P_A$  für das neue Design entspricht. Unter der Annahme, dass der Preis für Designs über die Zeit konstant ist,<sup>10</sup> ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen dem erwarteten Gewinn der Kapitalgüterhersteller und dem Preis für das Patent ( $P_A$ ).

$$(3.6) \quad \pi(t) = r(t)P_A$$

<sup>8</sup> Vgl. ausführliche Herleitung im mathematischen Anhang, S. 122.

<sup>9</sup> Barro und Sala-i-Martin (1995) zeigen, dass auch eine Modellerweiterung mit erodierender Monopolmacht möglich ist. Vgl. S. 223-226.

<sup>10</sup> Diese Bedingung trifft im Gleichgewicht zu.

Die Herstellung der neuen Designs ( $\dot{A}$ ) wird im Forschungssektor unter Einsatz von Humankapital ( $H_A$ ) und dem vorhandenen Wissenskapitalstock ( $A$ ) durchgeführt. Hierbei unterstellt Romer folgende Produktionsfunktion:

$$(3.7) \quad \dot{A} = \delta H_A A$$

Dabei ist  $\delta$  ein Produktivitätsparameter. Gleichung 3.7 zeigt, dass mit zunehmender Anzahl von Designs  $A$  die Produktivität des Humankapitals im Forschungssektor steigt. Für diese produktivitätserhöhende Wirkung wird der Erfinder eines neuen Designs von seinen Forscherkollegen aber nicht vergütet, wie Gleichung 3.6 belegt. Diese positive Externalität stellt einen Spillover-Effekt dar. Der Grund für das Auftreten dieses Spillover-Effektes sind die getroffenen Annahmen über die Eigenschaften von Wissen. In Romers Modell wird davon ausgegangen, dass jeder, der im Forschungssektor arbeitet, uneingeschränkten Zugriff auf den gesamten verfügbaren Wissenskapitalstock hat und diesen für die Produktion neuer Designs verwenden kann. Die Geschwindigkeit des technischen Fortschritts im Modell wird durch die eingesetzte Menge an Humankapital und den schon vorhandenen Kapitalstock beeinflusst (vgl. Romer (1990), S. S83).

Die hier unterstellte Linearität in  $A$  hat eine wichtige Funktion bei der Gesamtbetrachtung des Modells, denn sie ermöglicht unbegrenzt anhaltendes, konstantes Wirtschaftswachstum. Würden abnehmende Grenzerträge für  $A$  angenommen, so würde das Wachstum pro Kopf abnehmen, bis es schließlich zum Erliegen kommt (vgl. Romer (1990), S. S84). Der Grund hierfür liegt in den Reaktionen auf die abnehmenden Grenzerträge im Forschungssektor. Mit steigendem  $A$  würden die Grenzerträge immer geringer ausfallen, und Humankapital würde deshalb aus dem Forschungssektor in den konsumgüterproduzierenden Sektor abwandern. Dies hätte ein Sinken des technischen Fortschritts und damit des Wirtschaftswachstums zur Folge. Zunehmende Grenzerträge würden umgekehrt zu einer „Explosion“ des Modells führen, da sich die Wachstumsrate ständig exponentiell erhöhen würde.<sup>11</sup>

Um die gleichgewichtige Wachstumsrate zu ermitteln, muss das Modell noch geschlossen werden.

Von allen Kapitalgütern  $x_i$  wird die gleiche Menge eingesetzt, da für alle die gleichen Produktions- und Einsatzbedingungen und für jedes ein-

---

<sup>11</sup> Die Annahme, dass  $A^\psi$  mit  $\psi = 1$ , wird als „knife-edge assumption“ bezeichnet, da nur unter dieser Annahme ein Gleichgewicht existiert. Diese stark einschränkende Annahme wird oft als Kritik an dem Modell vorgebracht.

zelle abnehmende Grenzerträge gelten. Im Falle unterschiedlicher Einsatzmengen wäre eine Erhöhung der Gewinne des Kapitalgutsektors durch die Verringerung des Outputs von Unternehmen mit hohem Output und der Erhöhung des Outputs von Unternehmen mit geringem Output möglich (vgl. Romer (1990), S. S88). Dies gestattet die Vereinfachung der Gleichung 3.1:

$$(3.8) \quad Y(H_Y, L, x) = H_Y^\alpha L^\beta A x^{*(1-\alpha-\beta)}$$

Gleichung 3.8 verdeutlicht, dass Output  $Y$  mit der Rate  $\dot{A}$  wächst, wenn  $L$  (konstant per Annahme),  $x^*$  und  $H_Y$  konstant sind.  $A$  wiederum wächst mit einer konstanten Rate, wenn der Einsatz an Humankapital im Forschungssektor  $H_A$  konstant bleibt.<sup>12</sup> Der Nachweis eines gleichgewichtigen Wachstumspfad reduziert sich somit darauf zu zeigen: Während  $Y$ ,  $K$ ,  $C$  und  $A$  wachsen, entwickeln sich Preise und Löhne so, dass  $H_Y$  und  $H_A$  konstant bleiben. Im Konsumgütersektor wird Humankapital entsprechend seinem Grenzprodukt vergütet, welches proportional mit  $A$  wächst. Auch im Forschungssektor verändert sich die Produktivität entsprechend mit  $A$ . Somit nimmt die Produktivität von Humankapital in beiden Sektoren mit der gleichen Rate zu. Aus diesem Grunde verändern sich  $H_Y$  und  $H_A$  nicht, wenn der Preis für neue Designs  $P_A$  konstant bleibt. Nun muss noch geprüft werden, ob der so abgeleitete gleichgewichtige Wachstumspfad auch die oben abgeleiteten Gleichgewichtsbedingungen innerhalb der verschiedenen Sektoren erfüllt.

Der im Kapitalgütersektor entstehende diskontierte Gewinnstrom muss im Gleichgewicht gleich dem Preis  $P_A$  eines Designs sein.<sup>13</sup>

$$(3.9) \quad P_A = \frac{1}{r} \pi = \frac{\alpha + \beta}{r} (1 - \alpha - \beta) H_Y^\alpha L^\beta x^{*(1-\alpha-\beta)}$$

Da im Konsumgütersektor und im Forschungssektor die gleichen Löhne für Humankapital gezahlt werden müssen, ergibt sich daraus folgender Zusammenhang: Im Forschungssektor wird das gesamte Einkommen zur Vergütung des einzigen Produktionsfaktors Humankapital verwendet. Der Lohn für Humankapital ist deshalb  $P_A \delta A$ . Daraus kann folgende Gleichung

<sup>12</sup> Vgl. Gleichung 3.7.

<sup>13</sup> Der Gewinnstrom  $\pi = (\alpha + \beta)p^*x^*$  kann aus Gleichung 3.4 unter Einsetzen von Gleichung 3.5 und 3.3 abgeleitet werden. Vgl. auch den mathematischen Anhang für die Herleitung des Gewinnstroms S. 123.

abgeleitet werden, dabei muss  $H_Y = H - H_A$  so gewählt werden, dass sie erfüllt ist.

$$(3.10) \quad w_H = P_A \delta A = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^\beta A x^{*(1-\alpha-\beta)}$$

Wird nun der Preis der Designs aus Gleichung 3.9 in Gleichung 3.10 eingesetzt und diese anschließend nach  $H_Y$  aufgelöst, ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$(3.11) \quad H_Y = \frac{1}{\delta} \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} r$$

Dabei ist  $H_Y$  konstant, wenn  $r$  konstant ist. Daraus folgt gleichzeitig, dass dann auch  $H_A$  konstant ist, da die Restriktion  $H_A = H - H_Y$  gilt.<sup>14</sup>

Bisher konnte also nachgewiesen werden, dass  $A$ ,  $Y$  und  $K$  mit der gleichen Rate wachsen. Da  $K/Y$  eine Konstante ist, ist auch  $C/Y$  eine Konstante. Die Wachstumsrate  $g$  für all diese Variablen ist daher identisch:

$$(3.12) \quad g = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{A}}{A} = \delta H_A$$

Um die Wachstumsrate  $g$  bestimmen zu können sind weitere Schritte erforderlich. Mit Hilfe der Restriktion  $H_A = H - H_Y$  kann nun  $H_A$  in Gleichung 3.12 ersetzt werden. Weiterhin wird für  $H_Y$  Gleichung 3.11 eingesetzt.

$$(3.13) \quad g = \delta H_A = \delta H - \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} r$$

Der einzige noch nicht determinierte Faktor in Gleichung 3.13 ist die Zinsrate  $r$ . Diese kann nun auf die Präferenzen der Konsumenten zurückgeführt werden. Romer geht dabei von Ramsey-Konsumenten aus, die eine Präferenzfunktion mit konstanter intertemporaler Elastizität maximieren.

$$(3.14) \quad \int_0^\infty U(C) e^{-\rho t} dt \quad \text{mit} \quad U(C) = \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} \quad \text{mit} \quad \sigma \in [0, \infty)$$

---

<sup>14</sup> Dass der Gesamthumankapitalstock  $H$  fix ist, wurde schon zu Anfang festgelegt.

Entsprechend gängiger Ableitung ist die Optimalitätsbedingung gegeben durch:<sup>15</sup>

$$(3.15) \quad \frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma}(r - \rho)$$

Nach Gleichung 3.12 gilt im Gleichgewicht  $g = \frac{\dot{C}}{C}$ . Gleichung 3.15 kann somit umgeschrieben werden zu  $g = \frac{1}{\sigma}(r - \rho)$ .<sup>16</sup> Auflösen nach  $r$  ergibt:

$$(3.16) \quad r = g\sigma + \rho$$

Durch Einsetzen von Gleichung 3.16 in Gleichung 3.13 und anschließend Auflösen nach  $g$ , ergibt sich schließlich die gleichgewichtige Wachstumsrate:

$$(3.17) \quad g = \frac{\delta H - \frac{1}{(1-\alpha-\beta)} \frac{\alpha}{(\alpha+\beta)} \rho}{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)} \frac{\alpha}{(\alpha+\beta)} \sigma + 1}$$

Die gleichgewichtige Wachstumsrate im Romer-Modell wird somit durch den Effizienzparameter  $\delta$ , das fixierte gesamte Humankapital  $H$ , die Technologieparameter  $\alpha$  und  $\beta$ , die Diskontrate  $\rho$  und die intertemporale Elastizität  $\sigma$  bestimmt.

### 3.1.2 Modellierung, Bedeutung und Implikationen der Spillover-Effekte im Modell

Der in Romers Modell implementierte Spillover-Effekt wirkt *direkt* auf die Produktivität im Forschungssektor und *indirekt* auf die Produktivität im Konsumgütersektor. Entsprechend der hier verwendeten Arbeitsdefinition von Spillover-Effekten handelt es sich nur bei ersterem um einen Spillover-Effekt. Im zweiten Fall werden der Innovator durch die Zahlung, die er vom Kapitalguthersteller erhält, und der Kapitalguthersteller wiederum durch die Mietzahlungen des Konsumgutherstellers kompensiert.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Für eine ausführliche Herleitung dieser Bedingung vgl. Barro/Sala-i-Martin (1995), S. 63-65.

<sup>16</sup> Durch Gleichsetzen von  $g = \frac{1}{\sigma}(r - \rho)$  mit Gleichung 3.13 und anschließendem Auflösen nach  $r$  ergibt sich der Gleichgewichtszinssatz  $r = \frac{\delta H + \frac{\rho}{\sigma}}{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)} \frac{\alpha}{(\alpha+\beta)} + \frac{1}{\sigma}}$ .

<sup>17</sup> Vgl. Diskussion im Abschnitt 2.2.

Der Wissenskapitalstock entwickelt sich im Laufe der Zeit gemäß Gleichung 3.7. Wie schon im vorangegangenen Abschnitt erläutert, ist das Vorhandensein von Spillover-Effekten in Romers Modell essentiell, da es ansonsten kein dauerhaftes Wirtschaftswachstum generiert. Der technische Fortschritt  $\dot{A}$  lässt die Wirtschaft wachsen. Die Linearität in  $A$  ermöglicht unbegrenztes Wirtschaftswachstum. Ein Abweichen von dieser Linearität führt zu stagnierendem oder zu exponentiell zunehmendem Wachstum. Da es sich hier allerdings um unendlich ferne Ereignisse handelt, ist nicht auszuschließen, dass  $A$  vielleicht einen Exponenten in der Nähe von 1 hat. So könnte ein Exponent von 0,99 erst in mehreren hundert Jahren zum „Einschlafen“ des Wirtschaftswachstums führen.

Der durch den Spillover-Effekt im Forschungssektor auftretende produktivitätserhöhende Effekt von  $A$  führt dazu, dass die Grenzproduktivität des Humankapitals im Forschungssektor und im Konsumgüterproduzierenden Sektor mit der gleichen Rate wächst. Somit bleibt die Aufteilung des Humankapitals zwischen Forschungssektor und Konsumgüterproduzierenden Sektor konstant, und es kommt zu dauerhaftem Wirtschaftswachstum. Es ist somit auch offensichtlich, dass der Exponent von  $A$  größer 0 sein muss, damit das Modell dauerhaftes Wirtschaftswachstum erklären kann.

Die unterstellte Form der durch den Spillover-Effekt entstehenden Entwicklung des Wissenskapitalstocks hat noch weitere Implikationen. So wird beispielsweise von einer Entwertung des Wissenskapitalstocks abgesehen. Somit ist Wissen, das im letzten Jahrhundert erfunden wurde, genauso wichtig wie das vom letzten Jahr.<sup>18</sup> Damit wächst der Kapitalstock kontinuierlich. Altes Wissen wird also nicht durch neues verdrängt. Es wird ausschließlich komplementäres Wissen akkumuliert. Die Einführung einer *gleichmäßigen* Entwertung des Kapitalstocks würde die Modellaussagen nicht beeinflussen. Das gleichgewichtige Wachstum würde nur geringer ausfallen. Eine variierende Abschreibungsrate könnte durch eine Erweiterung der Gleichung 3.7 um eine Verhaltensannahme, warum, wann und wie stark die Entwertung des Wissenskapitalstocks schwankt, eingeführt werden. Weiterhin impliziert die hier unterstellte Wissensakkumulation, dass die Spillover-Effekte mit zunehmendem Kapitalstock absolut wachsen. Eine weitere Implikation ist, dass in die Entwicklung neuer Designs gleichmäßig der gesamte Wissenskapitalstock einfließt ohne Unterscheidung verschiedener Wissensgebiete. Das bedeutet, dass Wissen aus der Entwicklung von Kunstdünger genauso in die Entwicklung eines neuen Computerprozessors einfließt wie das Wissen über Quantenmechanik.

Bleibt noch die Frage nach der Größenordnung des Spillover-Effektes. Das Modell ermöglicht, den Spillover-Effekt auf verschiedene Arten zu mes-

<sup>18</sup> Eine Aussage über das Wissenskapital in Periode Null wird nicht gemacht.

sen, beispielsweise in Produktivitätseinheiten. Entsprechend der Modellbeschreibung schlägt sich der Spillover-Effekt in einer erhöhten Produktivität im Forschungssektor nieder. Zu jedem Zeitpunkt lässt sich die Erhöhung der Produktivität im Forschungssektor ermitteln. Die Humankapitalproduktivität entwickelt sich dabei entsprechend folgender Funktion:

$$(3.18) \quad \frac{\dot{A}}{H_A} = \delta A(t)$$

Es bleibt festzuhalten, dass die Funktion den in Periode  $t$  auftretenden Spillover-Effekt angibt. Wenn allerdings berücksichtigt wird, dass der Aufbau des gesamten Wissenskapitalstocks durch Spillover-Effekte positiv beeinflusst wird, dann ist die Größenordnung des gesamten Spillover-Effekts in Periode  $t$  durch das Integral über Funktion 3.18 gegeben.

$$(3.19) \quad \int_0^T \delta A(t) dt$$

Die so vorgenommene Abschätzung der Größenordnung des Spillover-Effektes in Romers Modell ist allerdings aufgrund der Angabe in der Einheit *Produktivität* nur begrenzt aussagefähig. Eine Wertgröße wäre hier nützlicher, um abschätzen zu können, welcher Betrag hätte aufgewendet werden müssen, um die Erfinder zu kompensieren, so dass kein Spillover-Effekt aufgetreten wäre. Auch dies ist im Rahmen des Modells möglich. Die Vergütung des Produktionsfaktors Humankapital im Forschungssektors ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$(3.20) \quad w_H = P_A \delta A$$

Dies bedeutet, dass mit jeder Produktivitätszunahme  $\dot{A}$  im Forschungssektor der Lohn für *alle* Forscher um  $\delta P_A$  steigt. Wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Erfinder den ihnen zuteil werdenden Produktivitätszuwachs bezahlen müssten, so wäre der Wert für diesen ihre Gewinn- bzw. Gehaltserhöhung  $\Delta w_H$ . Wird auch hier die Frage nach der Größenordnung des gesamten Spillover-Effektes gestellt, muss wiederum das Integral über die Humankapitalproduktivitätsfunktion verwendet werden. Der Wert des gesamten Spillover-Effektes ist dann gegeben durch:

$$(3.21) \quad P_A \cdot \int_0^T \delta A(t) dt$$

Während diese Wertgröße interessant für Fragestellungen auf der Mikro- und Mesoebene – wie zum Beispiel bei Fragen im Zusammenhang mit Patentschutz – ist, stehen auf der makroökonomischen Ebene wohlfahrtstheoretische Fragestellungen im Vordergrund. Hierfür ist eine Messung des Spillover-Effektes in Form von entgangenem Wirtschaftswachstum sinnvoll. Dies wird durch einen Vergleich der marktgleichgewichtigen mit der sozial optimalen Wachstumsrate möglich. Bei der Ermittlung der sozial optimalen Wachstumsrate wird von einem sozialen Planer ausgegangen, der alle Entscheidungen in der Wirtschaft unter der Zielsetzung der Nutzenmaximierung der Individuen trifft. Der soziale Planer hat hierbei den Nutzen der Individuen unter Berücksichtigung verschiedener Nebenbedingungen zu optimieren. Die zu maximierende Nutzenfunktion entspricht der aus Gleichung 3.14:

$$\max_x \int_0^\infty \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt$$

Die zu berücksichtigenden Nebenbedingungen sind gegeben durch:

$$\begin{aligned}\dot{K} &= \eta^{\alpha+\beta-1} A^{\alpha+\beta} H_Y^\alpha L^\beta K^{1-\alpha-\beta} - C \\ \dot{A} &= \delta H_A A \\ H &= H_A + H_Y\end{aligned}$$

Die Lösung des Maximierungsproblems unter Berücksichtigung der genannten Nebenbedingungen ergibt die gleichgewichtige sozial optimale Wachstumsrate  $g^S$ :<sup>19</sup>

$$(3.22) \quad g^S = \frac{\delta H - \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \rho}{\frac{\alpha}{\alpha+\beta} \sigma + 1 - \frac{\alpha}{\alpha+\beta}} = \frac{\delta H - \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \rho}{(\sigma - 1) \frac{\alpha}{\alpha+\beta} + 1}$$

Wird die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht (Gleichung 3.17) mit der sozial optimalen Wachstumsrate (Gleichung 3.22) verglichen, so zeigt sich, dass sie sich bis auf drei Terme gleichen. Im Nenner und im Zähler von Gleichung 3.17 taucht jeweils der monopolistische Preisaufschlag  $1/(1 - \alpha - \beta)$  auf. Dieser resultiert aus der Marktverzerrung durch die Monopolpreisbildung und kann durch eine entsprechende Steuer eliminiert werden. Die bereinigte gleichgewichtige Wachstumsrate des Marktgleichgewichts  $g^b$  hat dann folgende Form:

$$(3.23) \quad g^b = \frac{\delta H - \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \rho}{\sigma \cdot \frac{\alpha}{\alpha+\beta} + 1}$$

---

<sup>19</sup> Die ausführliche Herleitung findet sich bei Romer (1990), S. S100.

Der nun noch verbleibende Unterschied in den Wachstumsraten ist auf die vorhandenen Spillover-Effekte zurückzuführen. Der Nenner der sozial optimalen Wachstumsrate ist um genau  $\alpha/(\alpha + \beta)$  kleiner als der der Wachstumsrate im Marktgleichgewicht, und damit ist die Wachstumsrate im sozialen Optimum höher. Romers Modell kommt in Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit zu einem eindeutigen Ergebnis. Das Vorliegen von Spillover-Effekten führt zu einem Wachstum, welches niedriger ist als das im sozialen Optimum.

### 3.2 Modelle der „schöpferischen Zerstörung“

Eine weitere Kategorie von endogenen, F&E fundierten Wachstumsmodellen sind die auf Schumpeters Ideen basierenden Modelle „schöpferischer Zerstörung“ (Schumpeter (1934, 1942)). In der Literatur werden diese Modelle häufig auch als „Qualitätsleitermodelle“<sup>20</sup> oder Modelle zunehmender Produktqualität bezeichnet. Sie modellieren den technischen Fortschritt als Verbesserung der Produktqualität bei Zwischenprodukten, die zur Herstellung von Konsumgütern verwendet werden.

Ein erstes dieser Modelle wurde von Aghion und Howitt (1988, 1990, 1992) vorgelegt. Weitere frühe Modelle mit vertikalen Produktinnovationen stammen von Stokey (1988), Segerstrom/Anant/Dinopoulos (1990) und Grossman/Helpman (1991). Die verschiedenen Modelle wurden in den letzten zehn Jahren entscheidend erweitert und überarbeitet.<sup>21</sup> Um den Fokus auf den Untersuchungsgegenstand nicht zu verlieren, wird in dieser Arbeit zugunsten der Übersichtlichkeit nicht auf die Erweiterungen eingegangen, da sich die Modellierung und die Aussagen in Bezug auf Spillover-Effekte nicht bedeutend unterscheiden. Im Folgenden wird das Grundmodell von Aghion/Howitt stellvertretend für die Kategorie der endogenen Wachstumsmodelle „schöpferischer Zerstörung“ eingehend auf das Vorhandensein und die Implikationen von Spillover-Effekten analysiert.

#### 3.2.1 Darstellung des Grundmodells von Aghion und Howitt

Im Grundmodell von Aghion/Howitt wird von zwei Produktionsfaktoren in der Ökonomie ausgegangen: Arbeit<sup>22</sup> und Zwischenprodukte. Zur

---

<sup>20</sup> Im Englischen: Quality Ladder Models.

<sup>21</sup> Für einen guten Überblick über die verschiedenen Erweiterungen vgl. Aghion/Howitt (1998).

<sup>22</sup> Im Gegensatz zum Originalartikel wird in der vorliegenden Darstellung nicht zwischen drei Formen von Arbeit unterschieden, da sich das Entscheidungsproblem am Ende in beiden Fällen auf die Aufteilung der Arbeit zwischen Herstellung von Zwischenprodukten und Forschung reduziert. Vgl. Aghion/Howitt (1992), S. 331.

Produktion von Konsumgütern werden ausschließlich Zwischenprodukte als Input verwendet.

Die produzierenden Unternehmen des konsumgüterherstellenden Sektors befinden sich im vollkommenen Wettbewerb. Die für alle Unternehmen gleiche Produktionsfunktion ist gegeben durch:<sup>23</sup>

$$(3.24) \quad y = Ax^\alpha \quad \text{mit} \quad 0 < \alpha < 1$$

$A$  stellt einen Produktivitätsparameter für das eingesetzte Zwischenprodukt dar, der sich entsprechend folgender Funktion entwickelt:

$$(3.25) \quad A_\tau = A_0\gamma^\tau \quad \text{mit} \quad \gamma > 1$$

Es ist anzumerken, dass  $\tau$  kein Zeitindex, sondern die Anzahl der aufgetretenen Innovationen ist. Der Einsatz eines neuen Zwischenproduktes erhöht den Produktivitätsparameter um  $\gamma$ .

Zwischenprodukte werden durch den Einsatz einer Einheit Arbeit ohne Verwendung von Kapital hergestellt.<sup>24</sup> Dementsprechend beträgt die zur Produktion von Zwischenprodukten eingesetzte Arbeit  $L^Z = x$ . Im Grundmodell von Aghion/Howitt gibt es nur einen Hersteller von Zwischenprodukten, der als Monopolist die gesamte Menge an Zwischenprodukten produziert.<sup>25</sup> Das hergestellte Zwischenprodukt besitzt die zu diesem Zeitpunkt höchste verfügbare Qualität. Die Durchführung von Forschung ermöglicht potentiellen Konkurrenten, ein neues qualitativ höherwertiges Zwischenprodukt zu entwickeln, damit in den Markt einzutreten und den jetzigen ZwischenproduktHersteller zu verdrängen.<sup>26</sup>

<sup>23</sup> Die folgenden Ausführungen unterstellen der Übersichtlichkeit wegen eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion. Die Ergebnisse könnten aber auch unter einer allgemeinen Form hergeleitet werden.

<sup>24</sup> Die Einbeziehung von Kapital in das Modell ändert die Aussagen in Bezug auf die auftretenden Spillover-Effekte nicht. Aus diesem Grund wird diese Modellerweiterung hier nicht eingeführt. Für den interessierten Leser sei auf Aghion/Howitt (1998), Kapitel 3 verwiesen.

<sup>25</sup> Auch die Erweiterung auf eine Volkswirtschaft mit multiplen Zwischenprodukten ändert die Grundaussagen des Modells in Bezug auf die auftretenden Spillover-Effekte nicht. Vgl. Aghion/Howitt (1998), Kapitel 3.

<sup>26</sup> Die vollständige Verdrängung des Vorgängers vom Markt wird mit der Annahme von drastischen Innovationen begründet. Doch auch bei Unterstellung von nicht drastischen Innovationen bleiben die Modellaussagen die gleichen. Vgl. Aghion/Howitt (1998), S. 74-75.

Dem Zwischenprodukthersteller ist klar, dass mit dem Auftreten eines neuen Produktes sein Gewinnstrom versiegt. Deshalb wird er versuchen, seinen erwarteten Gewinn im derzeitigen Zeitintervall zu maximieren.<sup>27</sup> Da sich die Unternehmen des Konsumgüterherstellenden Sektors im vollkommenen Wettbewerb befinden, kann der Zwischengüterhersteller nur einen Preis in Höhe der Grenzproduktivität des Zwischenproduktes  $\frac{\partial y}{\partial x}$  erzielen. Die inverse Nachfragefunktion für den Monopolisten hat dementsprechend folgende Form:

$$(3.26) \quad p_\tau(x) = \alpha A_\tau x^{\alpha-1}$$

Für den Zwischenprodukthersteller der Periode  $\tau$  bis  $\tau + 1$  stellt sich folgendes Maximierungsproblem:

$$(3.27) \quad \pi_\tau = \max_x [p_\tau(x)x - w_\tau x]$$

Dabei ist  $w_\tau$  der Lohn für die eingesetzte Arbeit. Durch die partielle Ableitung nach  $x_\tau$  können die gewinnmaximale Menge sowie der gewinnmaximale Preis ermittelt werden.

$$(3.28) \quad \frac{\partial \pi_\tau}{\partial x} = A_\tau \alpha^2 x^{\alpha-1} - w_\tau = 0$$

Nach einer Umformung zeigt sich, dass die gewinnmaximierende Menge  $\tilde{x}_\tau$  eine Funktion des *Effizienzlohnes*  $\tilde{w}_\tau = \frac{w_\tau}{A_\tau}$  ist.

$$(3.29) \quad x = \left( \frac{\alpha^2}{w_\tau/A_\tau} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha)}} = \tilde{x}_\tau \left( \frac{w_\tau}{A_\tau} \right)$$

Weiterhin ergibt sich durch eine einfache Umformung der monopolistische, gewinnmaximierende Preis für den Zwischenprodukthersteller, welcher die Form eines konstanten Preisaufschlages auf den Lohn hat.

$$(3.30) \quad p_\tau(x) = \alpha A_\tau x_\tau^{\alpha-1} = \frac{1}{\alpha} w_\tau$$

---

<sup>27</sup> Deshalb führt er auch keine Forschung in seiner Zeit als Monopolist durch. Eine entsprechende Modellerweiterung, in der auch der Monopolist selbst forscht, findet sich bei Barro/Sala-i-Martin (1995), S. 255-257.

Diese Tatsache kann nun dazu verwendet werden, die Gewinngleichung 3.27 umzuschreiben und damit zu vereinfachen.

$$(3.31) \quad \pi_\tau = p_\tau(x)x_\tau - w_\tau x_\tau = \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) w_\tau x_\tau = A_\tau \tilde{\pi} \left(\frac{w_\tau}{A_\tau}\right)$$

Es lässt sich an dieser Stelle erkennen, dass sowohl  $x_\tau$  als auch  $\pi_\tau$  Funktionen des Effizienzlohnes  $\tilde{w}_\tau = \frac{w_\tau}{A_\tau}$  sind. Die produzierte Qualität ( $A_\tau$ ) findet somit Eingang in die Arbeitsnachfrage- und Gewinnfunktion des Zwischenproduktherstellers.

Bleibt noch die Darstellung der Forschungsaktivität im vorliegenden Modell. Der einzige Input im Forschungsbereich ist Arbeit.<sup>28</sup> Wie oben schon erwähnt, erhöht das neue Zwischenprodukt die Produktivität in der Konsumgüterherstellung und verdrängt aus diesem Grunde das ältere Produkt. Für das verbesserte Zwischenprodukt erhält der Erfinder ein lebenslanges Patent und somit ein Monopol zur Herstellung des neuen und einzigen Zwischenproduktes.<sup>29</sup> Der Erfinder bleibt so lange Monopolist, bis er vom Erfinder eines neuen Zwischenproduktes vom Markt verdrängt wird. Die Verdrängung des vorherigen Monopolisten wird als „Business-stealing Effekt“ bezeichnet, da dieser für den Verlust seines Monopoleinkommens vom Nachfolger nicht kompensiert wird.

Im Gegensatz zu Romers Modell wird die Forschung im vorliegenden Modell unter Unsicherheit durchgeführt. Hierbei wird unterstellt, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Innovation innerhalb eines bestimmten Zeitraumes auftritt, einer Poisson-Verteilung folgt. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Erfindung („arrival rate“) ist hierbei  $\lambda$ . Somit beträgt die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen eines neuen Zwischenproduktes  $\lambda n$ , wenn  $n$  Forscher an einer Entdeckung arbeiten.  $\lambda$  ist hierbei eine Approximation der Produktivität – oder besser der Kreativität – des Forschungssektors.<sup>30</sup>

Um das Modell zu schließen muss nun noch ermittelt werden, wie sich die in der Ökonomie zur Verfügung stehende Arbeit  $L$  auf die Herstellung von Zwischenprodukten  $L^Z$  und Forschung  $L^F$  verteilt.

$$(3.32) \quad L = L^Z + L^F = x + n, \quad \text{mit} \quad L^Z = x, L^F = n$$

<sup>28</sup> Aghion und Howitt (1998) entwickeln in ihrem Buch eine Modellvariante, in der Kapital als Input in die Forschung Eingang erhält. Vgl. S. 92 ff.

<sup>29</sup> Die Modellierung des Innovationsprozesses erfolgt in Anlehnung an die Patentenliteratur. Ein Überblick über diese Literatur findet sich bei Tirole (1988) und Reinanum (1989).

<sup>30</sup> Für eine ausführlichere Darstellung der Poisson-Verteilung vgl. Fahrmeir et al. (1999), S. 258-262 oder siehe Kasten bei Aghion/Howitt (1998), S. 55.

$x$  stellt dabei den in der Zwischenproduktfertigung eingesetzten Teil der Arbeit dar,  $n$  den in der Forschung eingesetzten.

Im vorliegenden Grundmodell wird davon ausgegangen, dass unbeschränkte Arbeitsmobilität vorliegt und sich somit die Arbeitskräfte in der Volkswirtschaft frei zwischen den beiden Verwendungsarten entscheiden. Dies impliziert, dass im Gleichgewicht der Lohnsatz im Zwischenproduktsektor und der erwartete Lohnsatz im Forschungssektor identisch sein müssen, da andernfalls alle Arbeitskräfte in den Sektor mit der höheren Vergütung strömen. Die Folge wäre Null-Wachstum, da sowohl ohne Produktion von Zwischenprodukten als auch ohne Forschung kein Wachstum zustande kommt (vgl. Grossman/Helpman (1991), S. 92-93, Aghion/Howitt (1992), S. 329-330, (1998), S. 57). Dieser Argumentation entsprechend kann die folgende Arbitragegleichung aufgestellt werden, anhand derer die Aufteilung der Arbeit auf die zwei möglichen Beschäftigungsformen erfolgt:

$$(3.33) \quad w_{\tau} = \lambda V_{\tau+1}$$

Auf der linken Seite steht der Lohnsatz in der Zwischenproduktherstellung und auf der rechten Seite der erwartete Lohnsatz der Arbeit im Forschungssektor. Es soll an dieser Stelle nochmals angemerkt werden, dass  $\tau$  hier kein Zeitindex, sondern die Anzahl der aufgetretenen Innovationen ist. Die Arbitragegleichung ist im vorliegenden Modell von zentraler Bedeutung, da sie die Existenz eines Gleichgewichts sicherstellt und letztendlich über die wirtschaftliche Entwicklung der Volkswirtschaft entscheidet.

$V_{\tau+1}$  ist gegeben durch folgende Vermögenswertgleichung:

$$(3.34) \quad V_{\tau+1} = \frac{\pi_{\tau+1}}{r + \lambda n_{\tau+1}}$$

Der Term im Nenner gibt den um das mögliche Auftreten eines neuen Zwischenproduktes, also um eventuelle Veralterung, angepassten Diskontsatz an. Dieser zeigt den Effekt der „schöpferischen Zerstörung“. Nach Umformung der Gleichung 3.34 kann der „Business-stealing Effekt“ genau abgeschätzt werden.

$$(3.35) \quad V_{\tau+1} = \frac{\pi_{\tau+1}}{r} - \lambda n_{\tau+1} \frac{V_{\tau+1}}{r}$$

Gleichung 3.35 gibt an, dass das erwartete Einkommen, erzeugt durch das neu entwickelte Zwischenprodukt, gleich dem abdiskontierten Gewinnstrom des Zwischenproduktherstellers in Periode  $\tau + 1$  minus dem abdiskontierten Verlust der Gewinne nach dem Auftreten eines neuen Produktes ist. Dies geschieht, wie oben schon gezeigt, mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\lambda n_{\tau+1}$ .

Das Modell ist nun mit Einführung der Arbitragegleichung geschlossen. Durch Einsetzen der Gewinngleichung  $\pi_{\tau+1}$  (vgl. 3.31) in 3.34 und diese wiederum in 3.33 und anschließendes Teilen beider Seiten durch  $A_\tau$ <sup>31</sup>, kann der Effizienzlohn<sup>32</sup>  $\tilde{w}_\tau$  als Funktion des Effizienzlohnes  $\tilde{w}_{\tau+1}$  und der in der Forschung eingesetzten Arbeit  $n_{\tau+1}$  dargestellt werden.

$$(3.36) \quad \tilde{w}_\tau = \lambda \frac{\gamma \tilde{\pi}(\tilde{w}_{\tau+1})}{r + \lambda n_{\tau+1}}$$

Auch die oben schon angeführte Arbeitsmarktgleichung kann in Abhängigkeit des Effizienzlohnes angegeben werden und schließt damit das Modell.

$$(3.37) \quad L = n + \tilde{x}(\tilde{w}_\tau)$$

Dabei ist die Nachfrage nach Arbeit zur Herstellung des Zwischenproduktes  $x_\tau = \tilde{x}(\tilde{w}_\tau)$  eine fallende Funktion des Effizienzlohnes  $\tilde{w}_\tau$ . Die Entwicklung der Volkswirtschaft ist somit durch den *zukünftigen* Effizienzlohn und die *zukünftig* in der Forschung eingesetzte Arbeit gegeben.

Wie im Romer-Modell sollen die auftretenden Spillover-Effekte einer sich im Gleichgewicht befindlichen Volkswirtschaft analysiert werden. Ein stabiles Gleichgewicht im vorliegenden Modell ist dann gegeben, wenn für das aus den Gleichungen 3.36 und 3.37 bestehende Gleichungssystem eine stationäre Lösung gefunden werden kann. Sprich, wenn sich die Aufteilung der Arbeit zwischen der Herstellung der Zwischenprodukte und der Forschung nicht ändert ( $n_\tau = n_{\tau+1} = n$ ), was eine Konstanz des Effizienzlohnes voraussetzt ( $\tilde{w}_\tau = \tilde{w}_{\tau+1} = \tilde{w}$ ). Dies wiederum ist nur möglich, wenn Löhne, Gewinne und die Konsumgüterproduktion im gleichen Maße wachsen.

---

<sup>31</sup> Hinweis:  $A_{\tau+1} = \gamma A_\tau$ .

<sup>32</sup> Hinweis:  $\tilde{w}_\tau = \frac{w_\tau}{A_\tau}$ .

Dementsprechend vereinfachen sich die Gleichungen 3.36 und 3.37 folgendermaßen:

$$(3.38) \quad \tilde{w} = \lambda \frac{\gamma \tilde{\pi}(\tilde{w})}{r + \lambda n}$$

$$(3.39) \quad L = n + \tilde{x}(\tilde{w})$$

Wie schon zuvor angemerkt, kann aus Gleichung 3.38 die Gleichgewichtsmenge an Arbeit  $n^*$  abgeleitet werden. Einsetzen in Gleichung 3.39 ermöglicht die Ermittlung der gleichgewichtigen Menge an Arbeit  $x^*$ , die in der Zwischenproduktherstellung verwendet wird.  $n^*$  und  $x^*$  sind gegeben durch:<sup>33</sup>

$$(3.40) \quad n^* = \frac{\lambda \gamma^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} L - r}{\lambda + \lambda \gamma^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}}$$

$$(3.41) \quad x^* = \frac{r + \lambda L}{\lambda + \lambda \gamma^{\frac{1-\alpha}{\alpha}}}$$

Damit kann auch die Wachstumsrate des Konsumgüteroutputs ermittelt werden. Im Zeitintervall zwischen der  $\tau - ten$  und der  $\tau + 1 - ten$  Erfindung ist die Konsumgüterproduktion durch die Produktionsfunktion 3.24 gegeben. Da sich  $A_\tau$  entsprechend Gleichung 3.25 entwickelt, ist  $y_{\tau+1}$  gegeben durch:

$$(3.42) \quad y_{\tau+1} = \gamma y_\tau$$

Leider gibt Gleichung 3.42 nur die Entwicklung der Konsumgüterproduktion in Intervallen zwischen den einzelnen Erfindungen und nicht in Zeiteinheiten an. Letztere ergibt sich folgendermaßen: Der Konsumgüteroutput pro Zeiteinheit  $\ln y(t)$  erhöht sich um  $\ln \gamma$ , wenn eine Innovation auftritt. Aufgrund der vorangegangenen Ausführungen ist klar, dass das Zeitintervall zwischen zwei Innovationen eine Zufallsvariable ist. Somit ist auch  $\ln y(t)$  eine Funktion mit zufällig auftretenden Sprüngen in ihrem Verlauf, wobei diese die Größe  $\ln \gamma > 0$  aufweisen. Soll nun die Wachstumsrate

---

<sup>33</sup> Für die ausführliche Herleitung von  $n^*$  und  $x^*$  siehe mathematischer Anhang, Seite 124.

zwischen dem Intervall  $t$  und  $t+1$  ermittelt werden, kann folgende Funktion dafür verwendet werden:

$$(3.43) \quad \ln y_{t+1} = \ln y(t) + (\ln \gamma)\varepsilon(t)$$

Dabei ist  $\varepsilon(t)$  die Anzahl an Innovationen, die zwischen Zeitpunkt  $t$  und  $t+1$  aufgetreten sind. Aus der Beschreibung der Forschungsaktivitäten ist bekannt, dass  $\varepsilon(t)$  Poisson verteilt ist und damit den Wert  $\lambda n$  besitzt. Somit lässt sich Gleichung 3.43 folgendermaßen umschreiben:

$$(3.44) \quad E[\ln y(t+1) - \ln y(t)] = \lambda n \ln \gamma$$

Die linke Seite der Gleichung ist die durchschnittliche Wachstumsrate im Modell.

$$(3.45) \quad g = \lambda n \ln \gamma$$

Wird für  $n$  die gleichgewichtige Menge an Arbeit im Forschungssektor  $n^*$  eingesetzt, stellt Gleichung 3.45 die gleichgewichtige Wachstumsrate dar. Das Modell ist somit geschlossen, und alle endogenen Parameter sind determiniert.

### 3.2.2 Modellierung, Bedeutung und Implikationen der Spillover-Effekte im Modell

Wie die vorangegangenen Ausführungen gezeigt haben, unterscheidet sich die vorgestellte Gruppe von Wachstumsmodellen entscheidend vom im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Modell Romers. Die Modellierung des technischen Fortschritts in Form von Qualitätsverbesserungen hat weitreichende Folgen für die gesamte Modellstruktur und die auftretenden Spillover-Effekte. Die neu entwickelten Produkte sind in den Modellen zunehmender Produktqualität Substitute zu den alten und ersetzen diese deshalb auch. Im Gegensatz zu Romers Modell gibt es also nicht nur positive Externalitäten in Form von nicht vergütetem Produktivitätszuwachs, sondern auch negative. Diese treten auf der Seite des Besitzers des alten Produktes auf, welches durch die Einführung eines neuen Produktes verdrängt wird. Der vorherige Monopolist verliert somit sein Monopoleinkommen und wird dafür nicht vom neuen Monopolisten kompensiert. Diese, in der englischen Literatur als „Business-Stealing-Effekt“ bezeichnete Externalität, wirkt innovationsfördernd, da die Gewinne aus Innovationen höher ausfallen. Er wirkt somit den auftretenden Spillover-Effekten

entgegen. Ob die Spillover-Effekte im vorliegenden Modell ein sozial nicht optimales Marktgleichgewicht bewirken, ist deshalb nicht von vornherein so eindeutig wie im Romer-Modell.

Zunächst sollen nun aber die Bedeutung der Spillover-Effekte im vorliegenden Modell betrachtet werden, bevor mit der Determinierung derselben fortgefahren wird.

In Aghion/Howitts Grundmodell treten zwei Spillover-Effekte auf. Vom ersten Spillover-Effekt profitiert der ihn empfangende Erfinder  $\tau$  in Form eines erhöhten Preisniveaus<sup>34</sup> für sein Zwischenprodukt, ohne die vorangegangenen Erfinder zu kompensieren. Ihnen wird der Ertrag für ihre Erfindung sozusagen „gestohlen“. Der zweite Spillover-Effekt tritt mit Erfindung  $\tau + 1$  auf, in der Erfinder  $\tau$  nun selbst Opfer des Business-Stealing-Effektes wird, weil die Erträge seiner Erfindung unvergütet von Erfinder  $\tau + 1$  vereinnahmt werden. Wichtig ist hierbei der zeitliche Unterschied, mit dem die beiden Spillover-Effekte auftreten. Der Erfinder der höchsten Qualität empfängt während seiner Zeit als Monopolist Spillover-Effekte von allen vorangegangenen Erfindern. Eine Erfindung später, sobald er durch seinen Nachfolger vom Markt verdrängt wurde, empfängt er keinerlei Spillover-Effekte mehr, sondern sendet im Gegenteil Spillover-Effekte an seinen Nachfolger aus. Folgende Grafik verdeutlicht diesen Zusammenhang.

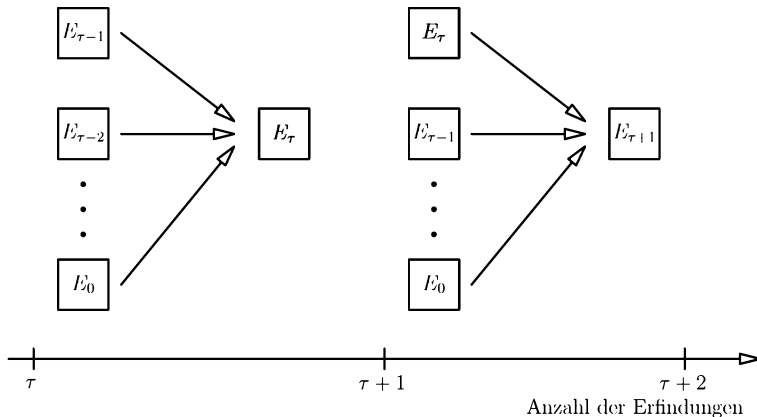


Abbildung 3.1: Auftretende Spillover-Effekte in verschiedenen Perioden

<sup>34</sup> Der Monopolist erzielt einen Preis für sein Zwischenprodukt in Höhe der Grenzproduktivität (vgl. Gleichung 3.26). Diese ist aber durch das gesamtwirtschaftliche Produktivitätsniveau  $A_t$  determiniert, welches das Produkt aller bisher realisierten Qualitätsverbesserungen ist (vgl. Gleichung 3.25). Der Erfinder erhält allerdings einen Preis für sein Produkt  $x$ , als hätte er alle bisherigen Qualitätsverbesserungen durchgeführt.

Die eingezeichneten Pfeile stellen die in der betrachteten Periode auftretenden Spillover-Effekte dar.<sup>35</sup> Anhand des Erfinders  $\tau$  zeigt sich, dass er in Periode  $\tau$  bis  $\tau + 1$  ausschließlich Spillover-Effekte empfängt und in Periode  $\tau + 1$  bis  $\tau + 2$  ausschließlich Spillover-Effekte aussendet. Obwohl das Auftreten der eingehenden und ausgesendeten Spillover-Effekte für einen Erfinder auf zwei Perioden verteilt ist, werden beide von den Erfindern in ihr Entscheidungskalkül mit einbezogen (vgl. Barro/Sala-i-Martin (1995), S. 262).

Der Wert des Spillover-Effektes kann mit Hilfe des Business-Stealing-Effektes abgeschätzt werden, da dieser den durch das Auftreten der neuen Qualität verlorenen Gewinn darstellt. Ex post kann der Wert des von Erfinder  $\tau$  empfangenen Spillover-Effektes exakt bestimmt werden. Erfinder  $\tau$  hat durch seine Erfindung die Produktivität und damit das Wirtschaftswachstum um  $\gamma$  erhöht. Das Produktivitätsniveau vor seiner Erfindung geht auf die von seinen Vorgängern beigetragenen Qualitätssteigerungen zurück. Der Wert dieser „Vorleistungen“ ergibt sich aus der Summe aller Gewinnerhöhungen der zurückliegenden Erfindungen.

$$(3.46) \quad (\gamma - 1) \sum_{i=0}^{\tau-2} \pi_i = \pi_{\tau-1}$$

Der Wert des ihm zugehenden Spillover-Effektes entspricht dem Gewinn  $\tau - 1$ .

Bleibt noch die Analyse der Wohlfahrtseffekte unter Berücksichtigung der auftretenden Spillover-Effekte. Hierfür muss in einem ersten Schritt das sozial optimale Wachstum ermittelt werden. Ziel des sozialen Planers ist die Maximierung des Nutzens der Individuen in der Volkswirtschaft. Da die Individuen in der Volkswirtschaft risikoneutral sind und physisches Kapital im Modell nicht berücksichtigt ist (d.h.  $Y_t = C_t$ ), maximiert der soziale Planer den Nutzen der Individuen, indem er  $n$  und  $x$  entsprechend wählt.

$$(3.47) \quad U = \int_0^{\infty} e^{-rt} E(Y_t | t_0 = 0) dt$$

Der Erwartungswert ist hierbei gegeben durch:

$$(3.48) \quad E(Y_t | t_0 = 0) = \sum_{\tau=0}^{\infty} \Pi(\tau, t) A_0 \gamma^{\tau} (L - n)^{\alpha}$$

---

<sup>35</sup> Zeitgleiche Spillover-Effekte kommen im Grundmodell von Aghion/Howitt nicht vor. Die forschenden Unternehmen beeinflussen sich also nicht gegenseitig. Vgl. Aghion/Howitt (1992), S. 329.

Dabei gibt  $\Pi(\tau, t)$  die Wahrscheinlichkeit an, dass genau  $\tau$  Erfindungen bis zum Zeitpunkt  $t$  auftreten. Da die Erfindungen entsprechend einer Poisson-Verteilung auftreten, ist die Wahrscheinlichkeit  $\Pi(\tau, t)$  gegeben durch (vgl. Fahrmeir et al. (1999), S. 260):

$$(3.49) \quad \Pi(\tau, t) = \frac{(\lambda n t)^\tau}{\tau!} e^{-\lambda n t}$$

Durch Einsetzen von Gleichung 3.49 in 3.48 und diese dann in 3.47 ergibt sich die zu maximierende Funktion  $U$ :

$$(3.50) \quad U = \int_0^\infty e^{-rt} \left( \sum_{\tau=0}^\infty \frac{(\lambda n t)^\tau}{\tau!} e^{-\lambda n t} A_0 \gamma^\tau (L - n)^\alpha \right) dt$$

Durch Umformung und Integration kann die Funktion umgeschrieben werden zu einer Funktion in Abhängigkeit von  $n$ :

$$(3.51) \quad U(n) = \frac{A_0 (L - n)^\alpha}{r - \lambda n (\gamma - 1)}$$

Durch Ableitung der Funktion nach  $n$  können der sozial optimale Arbeitseinsatz im Forschungssektor und damit die sozial optimale Wachstumsrate bestimmt werden. Mittels Ableiten und anschließend Auflösen nach  $n$  ergibt sich der gleichgewichtige, sozial optimale Arbeitseinsatz  $n^s$  im Forschungssektor:

$$(3.52) \quad n^s = \frac{\frac{1}{\alpha} L - \frac{r}{\lambda(\gamma-1)}}{1 + \frac{1}{\alpha}} = \frac{L}{\alpha + 1} - \frac{r}{(1 + \frac{1}{\alpha})\lambda(\gamma - 1)}$$

Ob die sozial optimale Wachstumsrate über, unter oder gleich der des Marktgleichgewichtes ist, hängt entsprechend Gleichung 3.45 davon ab, ob  $n^s$  größer, kleiner oder gleich  $n^*$  ist. Zum Vergleich wird an dieser Stelle nochmals Gleichung 3.40 wiederholt:

$$n^* = \frac{\gamma \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) L - \frac{r}{\lambda}}{\left( 1 + \gamma \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \right)} = \frac{L}{\frac{\alpha}{\gamma(1-\alpha)} + 1} - \frac{r}{\left( 1 + \gamma \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \right) \lambda}$$

Bei genauerer Betrachtung der beiden Gleichungen zeigt sich, dass je nach Konstellation von  $\alpha$  und  $\gamma$  (mit  $0 < \alpha < 1$  und  $\gamma > 1$ ) und den Ausprägungen von  $r$  und  $L$ , die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht kleiner, größer oder gleich der sozial optimalen Wachstumsrate sein kann. Der Grund, dass im Gegensatz zum Romer Modell alle drei Möglichkeiten existieren, liegt in den auftretenden gegenläufigen Spillover-Effekten. Um dies eingehender zu erläutern, wurden Gleichung 3.52 und 3.40 nochmals umgeformt, um einen besseren Vergleich zu ermöglichen.

$$(3.53) \quad 1 = \frac{\lambda(\gamma - 1)(\frac{1}{\alpha})(L - n^s)}{r - \lambda n^s(\gamma - 1)}$$

$$(3.54) \quad 1 = \frac{\lambda\gamma(\frac{1-\alpha}{\alpha})(L - n^*)}{r + \lambda n^*}$$

Die beiden Gleichungen weisen drei Unterschiede auf: Erstens schlägt sich der intertemporale ausgesendete Spillover-Effekt in einer unterschiedlichen Diskontrate nieder. Während die private Diskontrate größer als der Zinssatz ist ( $r + \lambda n^*$ ), ist die sozial optimale Diskontrate kleiner als der Zinssatz ( $r - \lambda n^s(\gamma - 1)$ ). Der Grund für diesen Unterschied liegt darin begründet, dass der soziale Planer berücksichtigt, dass eine Erfindung die Produktivität dauerhaft erhöht. Diese Erwägung spielt für den privaten Agenten aber keine Rolle, da er, nachdem er vom Markt verdrängt wurde, keine Kompensation mehr für seine Erfindung erhält. Dieser *ausgesendete* Spillover-Effekt führt also zu einer geringeren F&E-Tätigkeit als im sozialen Optimum. Der zweite Unterschied zeigt sich im Zähler der sozial optimalen Arbitrage-Gleichung 3.53, wo sich der zweite, *empfangene* Spillover-Effekt im Faktor  $(\gamma - 1)$  niederschlägt. Der Zähler der sozial optimalen Arbitrage-Gleichung 3.53 ist kleiner als der der marktgleichgewichtigen Arbitrage-Gleichung 3.54, da der soziale Planer berücksichtigt, dass der private Agent seine Vorgänger für deren Forschungsbeitrag nicht vergütet, also unentgeltlich deren Wissen nutzt und sich deren Gewinne aneignet. Dieser eingehende Spillover-Effekt führt tendenziell zur Durchführung von zu viel Forschung im Marktgleichgewicht (vgl. Aghion/Howitt (1998), S. 62-63). Bleibt noch der dritte und letzte Unterschied zu erwähnen. So taucht noch Faktor  $(1 - \alpha)$  bei der Marktgleichgewichtsgleichung 3.54 auf, der einen von Aghion und Howitt als Aneignungseffekt bezeichneten Effekt darstellt. Er spiegelt die Tatsache wider, dass sich der Monopolist nicht den gesamten Nutzen des Outputs aneignen kann, sondern nur den Anteil  $(1 - \alpha)$ . Dieser Effekt wirkt in die gleiche Richtung

wie der ausgesendete Spillover-Effekt und senkt damit ebenfalls tendenziell die Forschungsaktivität im Marktgleichgewicht unter die im sozialen Optimum.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der ausgestrahlte Spillover-Effekt und der Aneignungseffekt die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht unter die sozial optimale Wachstumsrate senken. Dem wirkt der eingehende Spillover-Effekt entgegen, der die Wachstumsrate des Marktgleichgewichts über die sozial optimale hebt. Da diese Effekte eine gegenläufige Richtungen aufweisen, kann die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht größer, kleiner oder gleich der sozial optimalen sein.

### 3.3 Zusammenfassung

Die Analyse der beiden Grundmodelle der heute in der wissenschaftlichen Diskussion weitverbreiteten F&E-basierten endogenen Wachstumsmodelle zeigt entscheidende Unterschiede in den gewählten Modellansätzen und den daraus folgenden wohlfahrtstheoretischen Schlussfolgerungen. In beiden Grundmodellen treten Spillover-Effekte auf und spielen eine entscheidende Rolle für das Wirtschaftswachstum. Der für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit entscheidende Unterschied in den beiden Grundmodellen liegt in der Berücksichtigung „eingehender“ Spillover-Effekte bei Aghion und Howitt und der Vernachlässigung derselben bei Romer. Die Berücksichtigung führt zum Auftreten von zwei Spillover-Effekten im Modell, die beide Eingang in das ökonomische Kalkül der forschenden Agenten finden. So verstärkt, wie gezeigt, der Business-Stealing-Effekt, der dem Wert des empfangenen Spillover-Effektes entspricht, den Anreiz zum Forschen, da er die private Ertragsrate einer Erfindung erhöht. Er wirkt folglich den von den Forschern ausgesendeten Spillover-Effekten entgegen, die zu einem Auseinanderfallen der privaten und der sozialen Ertragsraten führen und damit Forschung demotivieren. Letzten Endes entscheidet somit der „Netto-Effekt“, ob die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht größer, kleiner oder gleich der sozial optimalen ist.

Im Modell Romers hingegen findet nur der ausgesendete Spillover-Effekt Eingang in das ökonomische Kalkül der Agenten, der wie schon beschrieben, zu einer niedrigeren privaten als sozialen Ertragsrate führt und damit die Forscher „demotiviert“. Der eingehende Spillover-Effekt kommt im Romer Modell nicht zum Tragen. Eine Möglichkeit, diesen in das Romer Modell einzuführen, wäre, die Kosten pro Erfindung mit zunehmender Anzahl der Designs abnehmen zu lassen. Somit würde die private Ertragsrate mit zunehmendem Technologieniveau steigen. Das Verhältnis zwischen der Wachstumsrate im Marktgleichgewicht und der im sozialen

Optimum würde dann von der Größe des „Kostenspar-Effektes“ abhängen (vgl. Barro/Sala-i-Martin (1995), S. 216). Bei Berücksichtigung der Erträge „eingehender“ Spillover-Effekte kann abschließend festgehalten werden, dass auf der Basis der vorgestellten Wachstumsmodelle keine abschließende Beurteilung über die Notwendigkeit eines Staatseingriffs im Bereich der angewandten F&E vorgenommen werden kann. Die Beantwortung dieser Frage bleibt daher den empirischen Studien überlassen, die den Versuch unternehmen müssen, das Verhältnis zwischen „eingehenden“ und „ausgesendeten“ Spillover-Effekten abzuschätzen.

## 4 Der traditionelle Ansatz zur Messung von Spillover-Effekten

Wie das vorangegangene Kapitel gezeigt hat, ist die Frage nach dem Einfluss von Spillover-Effekten auf das gesamtwirtschaftliche Wachstum nur empirisch zu beantworten. Ein Blick in die Literatur zeigt, dass es eine enorme Anzahl von Studien gibt, die Spillover-Effekte messen. Es liegt daher nahe, diese Studien eingehender zu untersuchen um herauszufinden, ob sie einen Beitrag zur Beantwortung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Fragestellung leisten können.

Bei der Messung von Spillover-Effekten können grob zwei Ansätze unterschieden werden: Zum einen der erweiterte Produktionsfunktionsansatz, bei dem die partielle Produktions- und Produktivitätselastizität von interner und externer F&E geschätzt wird, und zum anderen der Kostenfunktionsansatz, bei dem die partielle Kostenelastizität der internen und externen F&E geschätzt wird. Die Mehrheit der empirischen Studien verwendet den Produktionsfunktionsansatz, dessen Tradition schon bis in die fünfziger und sechziger Jahre zurückreicht (vgl. Mohnen (1996), S. 41-42). Der Kostenfunktionsansatz hingegen wurde erst gegen Ende der achtziger Jahre durch Bernstein (1988) eingeführt. Die Verwendung dieses Ansatzes blieb auf eine kleine Gruppe von Forschern begrenzt, von denen die wichtigsten Bernstein, Nadiri und Mohnen sind (vgl. Bernstein (1988, 1989, 1996), Bernstein/Nadiri (1988, 1989, 1991), Bernstein/Mohnen (1998), Mohnen (1992a, 1992b), Mohnen/Lepine (1991)). Ein Grund für die geringe Verbreitung des Ansatzes liegt darin, dass für die Schätzungen verlässliche Inputpreise vorliegen müssen. Dies ist aber in der Regel nicht der Fall, da sie über Unternehmen, Länder und die Zeit erheblich schwanken. Weiterhin stellt sich bei F&E- sowie physischem Kapital die Problematik, überhaupt Einzelpreise zu ermitteln, was für den Produktionsfunktionsansatz nicht nötig ist (vgl. Griliches (1992), S. S40). Der geringen Bedeutung und den Datenproblemen Rechnung tragend beschäftigt sich die vorliegende Arbeit im Folgenden nur mit dem traditionellen Produktionsfunktionsansatz.

### 4.1 Theoretische Ableitung des traditionellen Ansatzes

Mit nur wenigen Ausnahmen basieren die zur Messung von Spillover-Effekten angewendeten Verfahren auf dem erweiterten Produktionsfunk-

tionsansatz<sup>1</sup>, dessen theoretischer Hintergrund die neoklassische Wachstumstheorie ist. Im Rahmen der traditionellen neoklassischen Wachstumstheorie wurde der technische Fortschritt nicht in den theoretischen Modellen modelliert und als exogen gegeben angenommen (vgl. Solow (1956) und Swan (1956)). Als Produktionsfunktion wurde in der Regel eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion<sup>2</sup> der folgenden Form unterstellt (vgl. Griliches (1973), S. 61-65):<sup>3</sup>

$$(4.1) \quad Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^\beta$$

Dabei stellt  $Y$  den Output,  $K$  den Kapitaleinsatz,  $L$  den Arbeitseinsatz und  $A$  das Produktivitäts- oder Technologieniveau dar. Letzteres wächst mit einer exogen gegebenen Rate  $g$ , so dass  $A$  zum Zeitpunkt  $t$  das Niveau  $A_t = A_0 e^{gt}$  besitzt. Kapital und Arbeit sind durch abnehmende Grenzerträge gekennzeichnet. Weiterhin wurden bei der CD-Produktionsfunktion i. d. R. konstante Skalenerträge unterstellt ( $\alpha + \beta = 1$ ). Im Rahmen einer Gleichgewichtsanalyse kann gezeigt werden, dass das Pro-Kopf-Einkommen einer Volkswirtschaft mit der exogen gegebenen Wachstumsrate des technischen Fortschritts wächst (vgl. Solow (1956) oder Barro/Sala-i-Martin (1995)). Wie es zu technischem Fortschritt kommt, ließ die neoklassische Wachstumstheorie allerdings offen. Empirische Arbeiten versuchten deshalb schon in den fünfziger und sechziger Jahren Determinanten des technischen Fortschritts zu identifizieren. Hierbei wurde entsprechend der neoklassischen Wachstumstheorie davon ausgegangen, dass sich die nicht durch eine Veränderung der Inputfaktoren Arbeit und Kapital ergebende Outputveränderung auf den technischen Fortschritt zurückführen lässt. Dementsprechend wurde der technische Fortschritt als Residuum des Wachstumsprozesses gemessen.

Theoretische Erklärungsansätze für das Zustandekommen von technischem Fortschritt lieferten in den sechziger Jahren – teilweise unter Bezug auf Schumpeter (1934) – beispielsweise, Machlup (1962), Schmookler

---

<sup>1</sup> Mohnen bezeichnet diesen Ansatz als „primal approach“. Vgl. Mohnen (1996), S. 41-42.

<sup>2</sup> Obwohl die folgende Ableitung des traditionellen Ansatzes auch in allgemeiner Form möglich ist, soll hier zugunsten der Übersichtlichkeit eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion verwendet werden.

<sup>3</sup> Die hier verwendete Produktionsfunktion unterstellt Hicks-neutralen technischen Fortschritt. Würde stattdessen von Solow-neutralem technischen Fortschritt ausgegangen, hätte die Produktionsfunktion die Form  $Y_t = (A_t K_t)^\alpha L_t^\beta$ . Eine weitere Möglichkeit stellt der Harrod-neutrale technische Fortschritt dar, bei dem die Produktionsfunktion die Form  $Y_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^\beta$  hätte. Vgl. Jones (1998), S. 20.

(1966) und Nordhaus (1969). Den Ansätzen gemein war die Unterstellung: Technischer Fortschritt ist das Ergebnis unternehmerischen Handelns und fällt somit *nicht* wie „Manna“ vom Himmel. Diesen theoretischen Überlegungen folgend unterstellen empirische Arbeiten, dass auch die Entwicklung von technischem Fortschritt mit Hilfe einer Produktionsfunktion modelliert werden kann. Die Ausgestaltung der Produktionsfunktion und die Auswahl der modellierten Inputfaktoren hängt hierbei von der unterstellten Innovationstheorie ab. Die Darstellung der einzelnen Innovationstheorien würde ein eigenes Buch füllen, wie beispielsweise das von Grupp (1997), der einen vorzüglichen Überblick über die verschiedenen Innovationstheorien gibt. Aus diesem Grunde beschränkt sich die vorliegende Arbeit auf die Analyse der unterstellten Innovationszusammenhänge im Rahmen der Operationalisierung des traditionellen Verfahrens.

Spillover-Effekte treten in dem hier beschriebenen Setup in der Form auf, dass auch externe, nicht vergütete Inputs den eigenen technischen Fortschritt beeinflussen können. Die unterstellte Produktionsfunktion des technischen Fortschritts lässt sich dann folgendermaßen schreiben:

$$(4.2) \quad A_t = f(I_t, E_t, Z_t)$$

Hierbei stellt  $I_t$  die eigenen oder zugekauften Innovationsanstregungen dar.  $E_t$  sind die von externen Akteuren erbrachten F&E-Leistungen, die unentgeltlich genutzt werden und den eigenen technischen Fortschritt beeinflussen.  $Z_t$  sind alle weiteren, den technischen Fortschritt beeinflussenden Faktoren.

Da der beschriebene theoretische Ansatz weder den Innovationsprozess noch die Art, in der Spillover-Effekte auftreten, determiniert, wird diese Festlegung bei den empirischen Studien implizit im Rahmen der Operationalisierung vorgenommen. Auf diese wird nun im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

## 4.2 Operationalisierung des traditionellen Ansatzes

Bei der Operationalisierung von Gleichung 4.2 wird unterstellt, dass der technische Fortschritt das Ergebnis von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ist. F&E baut auf vorhandenem Wissen auf und generiert neues Wissen. Somit kann bei der Ausgestaltung der in Gleichung 4.2 beschriebenen Produktionsfunktion nicht ein einfaches Input-Output-Verhältnis unterstellt werden, da generiertes Wissen die Produktion über mehrere Perioden hinweg beeinflusst. Aus diesem Grunde wird in empirischen Arbeiten

mit Wissenskapitalstöcken gearbeitet (vgl. Griliches (1979)). Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Produktivitäts- oder Technologieniveau von Wissenskapitalstöcken und weiteren Faktoren abhängt. Da das Ziel der Untersuchungen die Messung von Spillover-Effekten ist, wird zwischen einem internen und einem externen Wissenskapitalstock unterschieden. Als funktioneller Zusammenhang wird auch hier i. d. R. eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion unterstellt, die die folgende Form haben kann:

$$(4.3) \quad A_t = W_t^\gamma E_t^\theta Z_t$$

Dabei stellt  $W$  den eigenen Wissenskapitalstock,  $E$  den externen Wissenskapitalstock, von dem in Form von Spillover-Effekten profitiert wird, und  $Z$  andere produktivitätserhöhende Faktoren dar. Es muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass die partiellen Elastizitäten  $\gamma$  und  $\theta$  den Homogenitätsgrad der Produktionsfunktion  $Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^\beta$  erhöhen. Die partiellen Elastizitäten geben gleichzeitig den Einkommensanteil an, der den einzelnen Produktionsfaktoren entsprechend der neoklassischen Verteilungstheorie vom Gesamtproduktionswert zufallen würde. Ein Homogenitätsgrad größer als Eins würde somit steigende Skalenerträge anzeigen und gleichzeitig bedeuten, dass der Produktionswert nicht ausreichen würde, die Produktionsfaktoren gemäß ihrer Grenzproduktivität zu vergüten.

Aufgrund der Probleme bei der Messung von Wissen werden die Wissenskapitalstöcke bei der Operationalisierung üblicherweise mit Hilfe von F&E-Kapitalstöcken approximiert. In Griliches (1979) wird die Messung von F&E-Kapitalstöcken eingehend diskutiert. Die F&E-Ausgaben werden hierbei als Proxy für die Investitionen in den Wissenskapitalstock verwendet. Dementsprechend wird häufig auch von F&E-Kapitalstöcken gesprochen. Im Folgenden werden die Begriffe Wissens- und F&E-Kapitalstock synonym verwendet.

Die Konstruktion von Wissenskapitalstöcken wird bei den meisten empirischen Arbeiten<sup>4</sup> mit Hilfe der „perpetual inventory method“ (PIM) vorgenommen, welche normalerweise zur Berechnung von physischen Kapitalstöcken verwendet wird (vgl. Goto/Suzuki (1989), S. 556-557). Der Grundgedanke bei der PIM ist, dass die unterschiedlichen Jahrgänge des

---

<sup>4</sup> Bei Unterstellung sehr restriktiver und zum Teil realitätsferner Annahmen können auch die F&E-Ausgaben oder -Intensitäten als Approximation für den F&E-Kapitalstock herangezogen werden. Diese Ansätze gehen auf Terleckyj (1974), (1980) zurück, in denen er zeigte, dass unter Vernachlässigung der Abschreibungsrate die F&E-Intensitäten als F&E-Kapitalstockapproximation verwendet werden können.

Sach- oder Wissenskapitals in der heutigen Produktion eine unterschiedliche Produktivität besitzen. Dies muss bei der Berechnung der Kapitalstöcke berücksichtigt werden. Entsprechend der PIM wird ein Kapitalstock für die Periode  $t$  der folgenden Formel nach berechnet:<sup>5</sup>

$$(4.4) \quad W_t = \Phi_0 F_t + \Phi_1 F_{t-1} + \dots + \Phi_T F_{t-T}$$

Die verschiedenen  $\Phi$  geben das für den entsprechenden Jahrgang geltende Produktivitätsgewicht an. In der Regel wird hierbei  $\Phi_0 = 1$  gesetzt. Wie die älteren Jahrgänge in den Kapitalstock eingehen, hängt davon ab, welcher Verlauf bei der Effizienzveränderung (konstant, linear oder geometrisch abnehmend) unterstellt wird (vgl. Hulten (1991), S. 124-126). Hinweise auf die in der Realität vorliegenden Entwertungsverläufe können bei physischem Kapital anhand von Gebrauchtgüterpreisen ermittelt werden. Für die Konstruktion von Wissenskapitalstöcken hingegen existieren solche Indikatoren nicht. Deshalb wird eine Annahme über die Entwertung von Wissen getroffen. Üblicherweise wird hierbei eine geometrische Entwertung des Wissens unterstellt. Dies impliziert:

$$(4.5) \quad \Phi_0 = 1, \Phi_1 = (1 - \delta), \Phi_2 = (1 - \delta)^2, \dots, \Phi_T = (1 - \delta)^T$$

Somit kann Formel 4.4 mit Hilfe einer Koyck-Transformation vereinfacht werden:

$$(4.6) \quad W_t = F_t + (1 - \delta)W_{t-1} \quad \text{mit} \quad \delta = \frac{\Phi_{T-1} - \Phi_T}{\Phi_{T-1}}$$

Auch der externe Wissenskapitalstock  $E$  wird auf der Basis der PIM konstruiert. Er ergibt sich aus der Summe der Wissenskapitalstöcke der Spillover-Effekte aussendenden Unternehmen, Sektoren oder Länder. Allerdings werden die externen Wissenskapitalstöcke mit einer Technologie-Nähe-Matrix (TNM)<sup>6</sup> gewichtet. Hierbei wird unterstellt: je ähnlicher die verwendeten Technologien, desto größer die auftretenden Spillover-Effekte (vgl. Mohnen (1996), S. 4-5).

<sup>5</sup> Vgl. Hulten (1991) für eine ausführliche Darstellung und Diskussion der PIM.

<sup>6</sup> Das Prinzip der „Technologischen Nähe“ zwischen Sektoren, von der das Ausmaß der Spillover-Effekte abhängt, geht auf Jaffe (1986) zurück.

TNMs können prinzipiell aus jedem Kanal von Wissensdiffusion konstruiert werden.<sup>7</sup> Die in empirischen Studien verwendeten TNMs sind allerdings häufig von der Verfügbarkeit von Daten beeinflusst. So können die am häufigsten verwendeten TNMs grob in zwei Gruppen eingeteilt werden:

- Input-Output-Gewichte,
- Patentinformations-Gewichte.

Bei den Input-Output-Gewichten werden Informationen aus Produktionsbeziehungen verwendet, um Spillover-Effekte abzubilden. Der diesem Verfahren zugrunde liegende Gedanke ist, dass Spillover-Effekte hauptsächlich entlang von Güter- oder Dienstleistungsströmen auftreten, da Zulieferer und belieferte Unternehmen aufgrund ihrer Produktionsbeziehungen ähnliche Technologien verwenden und somit vom Wissen des jeweils anderen – auch in Form von Spillover-Effekten – profitieren. In die Kategorie der Input-Output-Gewichte gehören Handelsgewichte genauso wie die Verwendung von Input-Output-Tabellen.<sup>8</sup>

Die Kategorie der Patentinformations-Gewichte verwendet, wie schon der Name beschreibt, Informationen aus Patentstatistiken, um eine TNM zu entwickeln.<sup>9</sup> Ein Beispiel für solche Patentinformations-Gewichte sind Patentzitationsgewichte, die mit Hilfe der Auszählung von Patentzitationen die Nähe verschiedener Technologien zueinander abschätzen.<sup>10</sup>

Weitere selten verwendete TNMs basieren auf Investitionsinformationen (zum Beispiel Informationen über ausländische Direktinvestitionen) und Informationen über die Aufteilung der F&E-Ausgaben (zum Beispiel Aufteilung der F&E-Ausgaben eines Landes auf die einzelnen Sektoren, oder Aufteilung der F&E-Ausgaben von Sektoren oder Unternehmen auf verschiedene Forschungsbereiche) (vgl. Mohnen (1990)).

Der externe Wissenskapitalstock wird somit entsprechend folgender Formel berechnet:

$$(4.7) \quad E_{jt} = \sum_{i=1}^n \omega_{it} W_{it} \quad \text{für } i \neq j$$

<sup>7</sup> Vgl. Freeman (1994), S. 469-471 für eine Diskussion von Diffusionskanälen von Wissen oder Hippel (1988) für eine ausführliche Analyse von Innovationsquellen.

<sup>8</sup> Vgl. Los (1997), S. 14-16 und Mohnen (1990), S. 137-138, für eine ausführliche Diskussion verschiedener Input-Output-Gewichte.

<sup>9</sup> Vgl. Mohnen (1990) für einen Überblick und eine Diskussion verschiedener TNMs.

<sup>10</sup> Für weitere Beispiele von Patentinformations-Gewichten vgl. Los (1997), S. 16-20.

Dabei sind  $i$  die Spillover-Effekte aussendenden und  $j$  die Spillover-Effekte empfangenden Unternehmen, Sektoren oder Länder. Die TNM wird hierbei durch  $\omega$  abgebildet.

Bei der Verwendung der PIM für die Konstruktion von Wissenskapitalstöcken treten zwei Hauptprobleme auf. So muss erstens ein Wert für die Abschreibungsrate  $\delta$  festgelegt werden, und zweitens ist ein Anfangskapitalstock zu ermitteln, mit dessen Hilfe die in der Zeit nachfolgenden Kapitalstöcke berechnet werden können.

Das erste Problem, die Festlegung der Abschreibungsrate, wird in den meisten Studien mit Hilfe einer Ad-hoc-Annahme gelöst.<sup>11</sup> So legen die meisten Autoren die Abschreibungsrate  $\delta$  zwischen 10 und 20 Prozent fest.

Der Anfangskapitalstock wird mit Hilfe einer Grenzwertbetrachtung berechnet (vgl. Goto/Suzuki (1989), S. 556 oder Hall/Mairesse (1995), S. 270). Hierfür wird unterstellt, dass die F&E-Ausgaben vor der Periode  $t = 0$  mit einer konstanten Rate gewachsen sind. Daraus folgt:

$$(4.8) \quad F_t = (1 + g)F_{t-1} = (1 + g)^2 F_{t-2} = \dots = (1 + g)^\infty F_{t-\infty}$$

Wird weiterhin eine geometrische Entwertung des Wissens unterstellt, so ergibt sich aus Formel 4.4:

$$(4.9) \quad W_t = F_t + (1 - \delta)F_{t-1} + (1 - \delta)^2 F_{t-2} + \dots + (1 - \delta)^\infty F_{t-\infty}$$

Durch Nutzung der Zusammenhänge aus Formel 4.8 kann Gleichung 4.9 in die folgende Gleichung überführt werden, in der der F&E-Kapitalstock zum Zeitpunkt  $t$  ausschließlich von den F&E-Ausgaben in Periode  $t$  abhängt:

$$(4.10) \quad \begin{aligned} W_t &= F_t + \frac{(1 - \delta)}{(1 + g)} F_t + \left( \frac{(1 - \delta)}{(1 + g)} \right)^2 F_t + \dots + \left( \frac{(1 - \delta)}{(1 + g)} \right)^\infty F_t \\ &= F_t \sum_{\tau=0}^{\infty} \left( \frac{(1 - \delta)}{(1 + g)} \right)^\tau. \end{aligned}$$

---

<sup>11</sup> Dem Autor ist nur die Studie von Nadiri/Prucha (1996) bekannt, in der versucht wird, die Abschreibungsrate  $\delta$  zu schätzen. Nadiri/Prucha kommen für das Verarbeitende Gewerbe in den USA auf einen Wert von 0,12 für  $\delta$ .

Durch Umformung des letzten Ausdrucks von Formel 4.10 und einer anschließenden Grenzwertbetrachtung kann gezeigt werden, dass folgender Zusammenhang gilt:<sup>12</sup>

$$\begin{aligned}
 W_t &= F_t \sum_{\tau=0}^{\infty} \left( \frac{(1-\delta)}{(1+g)} \right)^{\tau} = F_t \frac{1}{1 - \frac{1-\delta}{1+g}} = \frac{F_{t+1}}{(1+g)} \frac{1}{\left(1 - \frac{1-\delta}{1+g}\right)} \\
 (4.11) \quad &= \frac{F_{t+1}}{g + \delta}
 \end{aligned}$$

Es ist somit möglich, den F&E-Ausgangskapitalstock in Periode  $t$  mit Hilfe der F&E-Ausgaben in Periode  $t + 1$  zu berechnen.

Als abhängige Variable in den ökonometrischen Schätzungen wird in den empirischen Arbeiten entsprechend der oben geschilderten theoretischen Ableitung die Produktivitätsentwicklung verwendet, da sie die nicht durch Inputveränderungen verursachten Veränderungen des Outputs angibt.

Bei der ökonometrischen Schätzung wird in der Regel eine logarithmische Transformation der Produktionsfunktion vorgenommen, die dann die folgende log-lineare Form hat:

$$(4.12) \quad \ln A_t = \gamma \ln W_t + \theta \ln E_t + \ln Z_t$$

Die weiteren produktivitätserhöhenden Faktoren  $Z$  gehen in der Regel nicht gesondert in die Schätzung ein und schlagen sich somit als Residuum in der Konstanten  $\alpha$  und dem Fehlerterm  $\mu$  nieder. Die entsprechende Schätzgleichung hat dann die folgende Form:

$$(4.13) \quad \ln A_t = \alpha + \beta_1 \ln W_t + \beta_2 \ln E_t + \mu_t$$

### 4.3 Ein Überblick über empirische Ergebnisse

Die Zahl der Studien zur Messung von Spillover-Effekten hat Ende der neunziger Jahre stark zugenommen. Die Studien unterscheiden sich nicht

---

<sup>12</sup> Vgl. mathematischer Anhang S. 124 für eine ausführliche Herleitung.

nur im verwendeten Ansatz, sondern auch im betrachteten Aggregationsniveau. So kann zwischen Studien unterschieden werden, die Spillover-Effekte zwischen Unternehmen, Sektoren oder Ländern messen. Untersuchungen auf der Unternehmensebene lassen aber keinen Schluss auf ein vorliegendes das Wirtschaftswachstum beeinflussendes Marktversagen zu, da sie in der Regel eine in Bezug auf die Sektorstruktur und die auftretenden Spillover-Effekte nicht repräsentative Stichprobe<sup>13</sup> von Unternehmen untersuchen und damit die Gesamtheit der in einer Volkswirtschaft oder einem Sektor auftretenden Spillover-Effekte nicht erfassen (vgl. Griliches (1979), S. 106). Weiterhin existieren Unternehmenspanel in der Regel nur für ein Land, was die Ermittlung internationaler Spillover-Effekte verhindert. Aus den genannten Gründen eignen sich Unternehmenspanel nur schlecht für die Messung von intra-sektoralen und internationalen Spillover-Effekten. Ein weiteres Problem ist der sehr kurze Zeithorizont, für den die meisten Unternehmenspanel vorliegen.<sup>14</sup> Dies erschwert die Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken, da die gesamte F&E-Kapitalstockzeitreihe stark vom berechneten Anfangsbestand abhängt. Weitere Probleme von Unternehmenspanel sind Non-response-Verhalten<sup>15</sup> und das Aus- und Eintreten von Unternehmen in das Panel (zum Beispiel durch Unternehmensaufgabe oder -neugründung). Aus diesen Gründen werden die empirischen Ergebnisse von Studien auf der Unternehmensebene im folgenden Literaturüberblick nicht weiter behandelt.<sup>16</sup>

Im Zentrum des Literaturüberblicks stehen Studien, die auf der Sektoren- und Länderebene Spillover-Effekte messen. Allen genannten Studien gemein ist die Verwendung des erweiterten Produktionsfunktionsansatzes. Trotzdem gibt es entscheidende Unterschiede zwischen den Studien. Diese finden sich hauptsächlich in den verwendeten Daten und der Operationalisierung. Die Tabellen 4.1 und 4.2 stellen deshalb die verwendeten

---

<sup>13</sup> Um Repräsentativität in sektoraler Hinsicht zu erreichen, müssten in einem Unternehmenspanel nicht nur eine repräsentative Aufteilung der im Panel erfassten Unternehmen zwischen den Sektoren, sondern auch eine repräsentative Größenstruktur der Unternehmen *innerhalb* der Sektoren gewährleistet sein. Noch schwieriger ist die Gewährleistung der Repräsentativität in Bezug auf das Auftreten von Spillover-Effekten, da hierfür sichergestellt werden müsste, dass die Spillover-Effekte aussendenden und die diese Spillover-Effekte auffangenden Unternehmen im Unternehmenspanel erfasst sind.

<sup>14</sup> Das Mannheimer Innovationspanel (MIP) wird beispielsweise erst seit 1993 erhoben.

<sup>15</sup> Non-Response-Verhalten umschreibt den Umstand, dass Unternehmen hin- und wieder auf den Fragebogen nicht antworten. Allerdings ist dieses Verhalten nicht zufällig, so antworten i. d. R. die Unternehmen nicht, die sich in einer schwierigen Phase befinden. Dadurch entsteht aber die Gefahr eines Biases des Panels hin zu erfolgreichen Unternehmen.

<sup>16</sup> Überblicke über Studien von Spillover-Effekten auf der Unternehmensebene finden sich bei Mohnen (1996), Nadiri (1993) und Hall (1995).

Daten, die abhängige Variable, die verwendete TNM sowie die Methode der F&E-Kapitalstockkonstruktion der wichtigsten Studien zur Messung von interindustriellen und internationalen Spillover-Effekten systematisch zusammen. Die Aufstellung erhebt nicht den Anspruch der Vollständigkeit, was bei der Größe und der Dynamik in diesem Forschungsfeld auch nur schwer möglich wäre. Mehrfachnennungen von Studien in der Tabelle kommen dann vor, wenn die Studie internationale *und* inländische interindustrielle Spillover-Effekte misst, wie das bei Verspagen (1997a), Bransonier/Sjöholm (1998) und Jacobs/Nahuis/Tang (1999) der Fall ist. Die später in dieser Arbeit vorgenommenen Schätzungen fallen auch in diese Kategorie.

*Tabelle 4.1*  
Überblick über Ansätze zur Messung von interindustriellen Spillover-Effekten

| Studie                    | Daten                                            | Abh. Variable |
|---------------------------|--------------------------------------------------|---------------|
| Terleckyj (1980)*         | 20 Sektoren des verarb. Gewerbes, USA            | TFP           |
| Mansfield (1980)*         | 20 Sektoren des verarb. Gewerbes, USA            | TFP           |
| Sveikauskas (1981)*       | 102 Industrien, USA                              | TFP           |
| Levin/Reiss (1988)        | 116 Produktionsketten, USA                       | Stückkosten   |
| Sterlacchini (1989)       | 15 Sektoren des verarb. Gewerbes, England        | TFP           |
| Goto/Suzuki (1989)*       | 50 Industrien, Japan                             | TFP           |
|                           | 45 Industrien, Japan                             | TFP           |
| Wolf/Nadiri (1993)        | 19 Sektoren des verarb. Gewerbes, USA            | TFP           |
| Vuori (1994)              | 16 Industrien, Finnland                          | TFP           |
| Wolf (1997)               | 48 Sektoren des verarb. Gewerbes, USA            | TFP           |
| Meijl (1997)              | 30 Sektoren, Frankreich                          | TFP           |
| Verspagen (1997a)         | 22 Sektoren des verarb. Gewerbes, 14 OECD-Länder | Output        |
| Verspagen (1997b)         | 22 Sektoren des verarb. Gewerbes, 9 OECD-Länder  | TFP, AP       |
| Braconier/Sjöholm (1998)  | 9 Sektoren des verarb. Gewerbes, 6 OECD-Länder   | TFP, AP       |
| Jacobs/Nahuis/Tang (1999) | 11 Sektoren, Niederlande                         | TFP           |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 4.1

| Studie                    | TNM-Matrix                                                   | F&E-Kapitalstockkonstruktion        |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Terleckyj (1980)*         | I/O-Tabellen                                                 | Summe der F&E-Ausgaben              |
| Mansfield (1980)*         | I/O-Tabellen                                                 | Summe der F&E-Ausgaben              |
| Sveikauskas (1981)*       | Investitionstabellen                                         | F&E-Intensitäten                    |
| Levin/Reiss (1988)        | Index abgeleitet aus Schutzmöglichkeiten eigener Erfindungen | Gewichtete Summe der F&E-Ausgaben   |
| Sterlacchini (1989)       | I/O-Tabellen / Innovationsverflechtung                       | F&E-Intensitäten                    |
| Goto/Suzuki (1989)*       | I/O- und Investitionen Tabellen                              | F&E-Ausgaben**                      |
|                           | Positionsvektor im F&E Raum                                  | F&E-Ausgaben der Elektroindustrie** |
| Wolf/Nadiri (1993)        | I/O-Tabellen                                                 | F&E-Intensitäten                    |
| Vuori (1994)              | Positionsvektor im F&E Raum                                  | F&E-Ausgaben**                      |
| Wolf (1997)               | I/O-Tabellen                                                 | F&E-Intensitäten                    |
| Meiji (1997)              | Patentinformationen                                          | F&E-Ausgaben**                      |
| Verspagen (1997a)         | Patentinformationen                                          | PIM                                 |
| Verspagen (1997b)         | Patentinformationen                                          | F&E-Intensitäten                    |
| Braconier/Sjöholm (1998)  | keine                                                        | PIM / F&E-Ausgaben**                |
| Jacobs/Nahuis/Tang (1999) | I/O-Tabellen                                                 | PIM                                 |

Bemerkungen: Verwendete Abkürzungen: TFP: Totale Faktorproduktivität, KP: Kapitalproduktivität, AP: Arbeitsproduktivität, PIM: perpetual inventory method. Die mit einem \* gekennzeichneten Studien messen den Einfluss externer F&E durch Investitionsgüterkäufe aus anderen Sektoren, die nach der in dieser Arbeit verwendeten Definition keine Spillover-Effekte darstellen. Die mit \*\* gekennzeichneten Studien arbeiten nicht mit einem Kapitalstock, sondern verwenden eine Flussgröße als erklärende Variable.

Tabelle 4.2  
Überblick über Ansätze zur Messung von internationalen Spillover-Effekten

| Studie                    | Daten                                            | Abh. Variable |
|---------------------------|--------------------------------------------------|---------------|
| Mohnen (1992b)            | Verarbeitendes Gewerbe, 5 OECD-Länder            | TFP           |
| Park (1995)               | 10 OECD-Länder                                   | AP            |
| Coe/Helpman (1995)        | 21 OECD-Länder + Israel                          | TFP           |
| Coe et al.(1997)          | 77 Entwicklungsländer                            | TFP           |
| Verspagen (1997a)         | 22 Sektoren des verarb. Gewerbes, 14 OECD-Länder | Output        |
| Evenson/Singh (1997)      | 11 Asiatische Länder                             | Output        |
| Keller (1998)             | 21 OECD-Länder + Israel                          | TFP           |
| Frantzen (1998)           | 21 OECD-Länder                                   | TFP           |
| Braconier/Sjöholm (1998)  | 9 Sektoren des verarb. Gewerbes, 6 OECD-Länder   | TFP           |
| Keller (1999)             | 6 Sektoren des verarb. Gewerbes, 8 OECD Länder   | TFP           |
| Kao/Chiang/Chen (1999)    | 21 OECD-Länder + Israel                          | TFP           |
| Jacobs/Nahuis/Tang (1999) | 7 Sektoren des verarb. Gewerbes, Niederlande     | TFP           |
| Edmond (2001)             | 21 OECD-Länder + Israel                          | TFP           |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 4.2

| Studie                    | TNM-Matrix                              | F&E-Kapitalstockkonstruktion |
|---------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|
| Mohnen (1992b)            | keine                                   | PIM                          |
| Park (1995)               | Sektorale Aufteilung der F&E-Ausgaben   | PIM                          |
| Coe/Helpman (1995)        | Importanteile                           | PIM                          |
| Coe et al.(1997)          | Importanteile                           | PIM                          |
| Verspagen (1997a)         | Importanteile                           | PIM                          |
| Evenson/Singh (1997)      | Importgewichtete                        | PIM                          |
| Keller (1998)             | Zufallsimporteile / keine               | PIM                          |
| Frantzen (1998)           | Importanteile                           | PIM                          |
| Braconier/Sjöholm (1998)  | keine                                   | PIM / F&E-Ausgaben*          |
| Keller (1999)             | Importanteile                           | PIM                          |
| Kao/Chiang/Chen (1999)    | Importanteile                           | PIM                          |
| Jacobs/Nahuis/Tang (1999) | Importanteile                           | PIM                          |
| Edmond (2001)             | Importanteile/ Zufallsimporteile/ keine | PIM                          |

Bemerkungen: Verwendete Abkürzungen: TFP: Totale Faktorproduktivität, KP: Kapitalproduktivität, AP: Arbeitsproduktivität, PIM: perpetual inventory method. Die mit einem \* gekennzeichneten Studien arbeiten nicht mit einem Kapitalstock, sondern verwenden eine Flussgröße als erklärende Variable.

Die Zusammenstellungen in den Tabellen 4.1 und 4.2 zeigen, dass die überwiegende Mehrheit der Studien die Gesamt-Faktorproduktivität (TFP) als abhängige Variable verwenden.<sup>17</sup> Ausnahmen sind hierbei die Studien von Levin/Reiss (1988), die Stückkosten, Verspagen (1997a) und Evenson/Singh (1997), die Output und Park (1995), der Arbeitsproduktivität als abhängige Variable verwendet. Die Studien von Verspagen (1997b) und Branconier/Sjöholm (1998) führen über die Schätzungen mit TFP als abhängiger Variable hinaus noch mit Arbeitsproduktivitäten, Meijl (1997) zusätzlich noch mit Kapitalproduktivität als abhängige Variable durch. Bis auf die Studien von Branconier/Sjöholm (1998), Mohnen (1992b) und Keller (1998) verwenden alle eine TNM zur Gewichtung der externen F&E-Aktivitäten. Bei den Studien, die die Messung von interindustriellen Spillover-Effekten zum Ziel haben, dominiert dabei die Verwendung von I/O-Tabellen als TNMs. Bei Studien zu internationalen Spillover-Effekten hingegen werden überwiegend Importanteile als TNMs herangezogen.

Die Mehrheit der Studien verwendet die PIM als Methode zur F&E-Kapitalstockkonstruktion. Es zeigt sich, dass insbesondere die neueren Studien die PIM verwenden. Die bereits genannte auf Terleckyj (1974) zurückgehende Methoden zur Verwendung von F&E-Ausgaben und -Intensitäten als F&E-Kapitalstockapproximation verlieren zunehmend an Bedeutung.

Tabelle 4.3 stellt die Schätzergebnisse der in den Tabellen 4.1 und 4.2 vorgestellten Studien zusammen. In die Tabelle wurden jeweils die Ergebnisse aufgenommen, die der in dieser Arbeit verwendeten Definition von Spillover-Effekten am nächsten kamen. Alle beschriebenen Studien haben log-lineare Schätzungen vorgenommen. Dementsprechend stellen die geschätzten Koeffizienten Elastizitäten der extern durchgeführten F&E dar. Unter der Annahme der vollständigen Konkurrenz geben die Elastizitäten gleichzeitig auch den nicht kompensierten Einkommensanteil des Produktionsfaktors „extern durchgeführte F&E“ am Gesamtproduktionswert an. Er ist der Wert, den die Unternehmen maximal bereit wären, für die extern durchgeführte F&E zu zahlen, wenn sie zu einer Vergütung gezwungen würden. Somit entspricht der Einkommensanteil des Produktionsfaktors „extern durchgeführte F&E“ auch dem Wert, den die externen Unternehmen – die das Wissen generiert haben – maximal internalisieren könnten.

---

<sup>17</sup> Die damit verbundenen Annahmen wurden schon im Abschnitt 4.1 diskutiert. Eine Kritik an der Verwendung der TFP findet sich im folgenden Abschnitt.

Tabelle 4.3  
Elastizitäten externer F&E

| Studie                                     | Bezugsvariable | Elastizitäten externer F&E                         |
|--------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------|
| <b>Interindustrielle Spillover-Effekte</b> |                |                                                    |
| Terleckyj (1980)                           | TFP            | 0,81 bis 1,83                                      |
| Mansfield (1980)                           | TFP            | 0,37 bis 0,74                                      |
| Sveikauskas (1981)                         | TFP            | 8,61                                               |
| Levin/Reiss (1988)                         | Stückkosten    | 0,77 Prozess-F&E<br>und 0,59 Produkt-F&E           |
| Sterlacchini (1989)                        | TFP            | 0,02 bis 0,30                                      |
| Goto/Suzuki (1989)                         | TFP            | 0,80                                               |
|                                            | TFP            | 0,043 auf die F&E-Ausgaben<br>der Elektroindustrie |
| Wolf/Nadiri (1993)                         | TFP            | 0 bis 0,17                                         |
| Vuori (1994)                               | TFP            | 0 bis 0,83                                         |
| Wolf (1997)                                | TFP            | 0,4 bis 0,42                                       |
| Meijl (1997)                               | TFP, KP, AP    | 0,16 bis 0,25                                      |
| Verspagen (1997a)                          | Output         | 0,029 bis 0,095                                    |
| Verspagen (1997b)                          | TFP, AP        | 0 bis 1,15, 0 bis 3,25                             |
| Braconier/Sjöholm (1998)                   | TFP, AP        | 0 / 0                                              |
| Jacobs/Nahuis/Tang (1999)                  | TFP            | 1,14                                               |
| <b>Internationale Spillover-Effekte</b>    |                |                                                    |
| Mohnen (1992b)                             | TFP            | 0,14 bis 0,76                                      |
| Park (1995)                                | TFP            | 0,81 bis 1,83                                      |
| Coe/Helpman (1995)                         | TFP            | 0,06 bis 0,29                                      |
| Coe et al. (1997)                          | TFP            | -1,87                                              |
| Verspagen (1997a)                          | Output         | 0,012 bis 0,13                                     |
| Evenson/Singh (1997)                       | Output         | 0,034 bis 0,28                                     |
| Keller (1998)                              | TFP            | 0,12 bis 0,33                                      |
| Braconier/Sjöholm (1998)                   | TFP            | 0 / 0,018                                          |
| Frantzen (1998)                            | TFP            | 0,38 bis 1,61                                      |
| Keller (1999)                              | TFP            | 0,15 bis 0,51                                      |
| Kao/Chiang/Chen (1999)                     | TFP            | 0                                                  |
| Jacobs/Nahuis/Tang (1999)                  | TFP            | 0,37                                               |
| Edmond (2001)                              | TFP            | 0                                                  |

*Bemerkung:* Verwendete Abkürzungen: TFP: Totale Faktorproduktivität, KP: Kapitalproduktivität, AP: Arbeitsproduktivität.

Die Ergebnisse der verschiedenen Studien weisen eine erhebliche Spannweite auf. Bei den interindustriellen Spillover-Effekten reichen die geschätzten Elastizitäten von Null, wie beispielsweise bei Braconier/Sjöholm (1998), bis zu 8,61 bei Sveikauskas (1981). Bei der Messung der internationalen Spillover-Effekte ist die Spannbreite nicht ganz so weit. Hier reichen die ermittelten Elastizitäten von Null bis 1,83. Noch erstaunlicher sind die Schwankungen der Schätzergebnisse innerhalb einzelner Studien. Diese werden in der Regel durch Variationen in den Schätzgleichungen und/oder der Operationalisierung verursacht. So findet Verspa-

gen (1997b) bei seinen Schätzungen zur Messung von interindustriellen Spillover-Effekten Elastizitäten zwischen Null und 3,25 in Bezug auf die Arbeitsproduktivität. Verursacht sind diese Unterschiede bei Verspagen durch die getrennte Schätzung für Niedrig-, Mittel- und Hochtechnologie-sektoren sowie die Verwendung unterschiedlicher TNMs (vgl. Verspagen (1997b), S. 60). Auch in anderen Studien sind die Schätzergebnisse sehr stark abhängig vom gewählten Schätzaufbau<sup>18</sup> und der gewählten Operationalisierung<sup>19</sup>. Die Ergebnisse sind bei Variation von Schätzaufbau und Operationalisierung in der Regel nicht robust.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zwar die überwiegende Mehrheit der Studien die Existenz von Spillover-Effekten bestätigt, aber sich über das Ausmaß und Wirkungskanäle der intersektoralen und internationalen Spillover-Effekte keine belastbare Aussage treffen lässt.

#### 4.4 Kritik am traditionellen Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten

Wie der vorangegangene Abschnitt gezeigt hat, wird die Messung von Spillover-Effekten i. d. R. mit Hilfe eines erweiterten Produktionsfunktionsansatzes vorgenommen. Hierbei wird meistens, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, die TFP-Entwicklung als abhängige Variable verwendet. Diese Festlegung beinhaltet aber starke Annahmen, die in mehrererlei Hinsicht problematisch sind. So führt die Herangehensweise nach der oben beschriebenen traditionellen Methode dazu, dass nur der Einfluss von F&E auf die Produktivitätsentwicklung abgeschätzt wird. Somit werden bei der Analyse ausschließlich Prozessinnovationen berücksichtigt, da eine Produktivitätserhöhung immer in einer Verbesserung der Produktionstechnologie begründet ist.<sup>20</sup> Hierzu muss aber angemerkt werden, dass ein erheblicher Anteil der F&E-Ausgaben in Produktinnovationen investiert werden.<sup>21</sup> Eine Produktinnovation kann aber in einer offenen Volkswirtschaft zu einer Erhöhung des Absatzes und damit der Produktion bei

<sup>18</sup> Vgl. hierzu Kao/Chiang/Chen (1999) und Edmond (2001), die die Ergebnisse von Coe/Helpman (1995) mit anderen ökonometrischen Methoden nachstellen.

<sup>19</sup> Vgl. Keller (1998), der die Robustheit der Ergebnisse von Coe/Helpman (1995) mit Hilfe von Variationen der verwendeten TNM überprüft.

<sup>20</sup> Auf der Wertschöpfungsstufe, auf der sich die Produktivitätserhöhung niederschlägt, wird diese *immer* durch eine Prozessinnovation realisiert. Hierbei spielt es keine Rolle, ob die Prozessinnovation durch eine Produktinnovation beim Zulieferer ermöglicht wurde. Vgl. OECD (1992), (1993).

<sup>21</sup> Vgl. Scherer (1982), S. 627. Scherer schätzt, dass in den USA 3/4 aller F&E-Ausgaben der Industrie zur Entwicklung neuer Produkte verwendet werden.

gleichbleibender Produktivität führen.<sup>22</sup> Die Folge ist eine höhere Auslastung der Produktionsfaktoren, was in Volkswirtschaften mit Arbeitslosigkeit zu mehr Beschäftigung und somit auch zu höherer Wohlfahrt führen kann. Die Beschränkung der Analyse auf die Auswirkungen von F&E auf die Produktivitätsentwicklung schließt somit einen wichtigen Teil des Einflusses von F&E aus.

Weiterhin wird bei einer Schätzung der Inputfaktorelastizitäten für den technischen Fortschritt der Form  $Y/(L^\alpha K^\beta) = TFP = A(W, E, Z)$  implizit unterstellt, dass sich die Elastizitäten von Arbeit und Kapital nicht durch den technischen Fortschritt verändern. Aussagen über die Skalenerträge der Produktion können mit dieser Methode nicht getroffen werden. Neben diesen mehr theoretischen Bedenken gegen die Verwendung der TFP als abhängige Variable kommt noch ein rein praktisches Problem hinzu. Allein die Ermittlung der TFP wirft eine ganze Reihe von Problemen auf. So lassen sich beispielsweise Produktivitätsveränderungen nur schwer von Preiseffekten trennen. Eine Verringerung von Inputpreisen kann durch eine Erhöhung der Produktivität, aber auch durch höheren Wettbewerb und damit sinkenden Gewinnen bei den Zulieferern begründet sein.

Ein weiterer Kritikpunkt an dem traditionellen Verfahren fällt in den Bereich der dort üblichen Operationalisierung. Wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert, wird als erklärende Variable für den Einfluss von F&E auf die Produktivitätsentwicklung ein Wissenskapitalstock mit Hilfe der PIM konstruiert. Da die PIM für die Ermittlung von physischen Kapitalstöcken entwickelt wurde, weist sie bei der Anwendung auf Wissen erhebliche Schwächen auf, die auch die Ergebnisse der Schätzungen beeinflussen. So wird bei der Konstruktion der F&E-Kapitalstöcke, wie bei der Konstruktion von physischen Kapitalstöcken, ein konstanter Abschreibungssatz unterstellt. Dies bedeutet aber, dass jedes Jahr ein gleichbleibender Anteil des Wissenskapitalstock veraltet. Da das Veralten von Wissen aber nicht einem mechanischen Verfahren wie der Abnutzung einer Maschine durch Gebrauch unterliegt, ist die Unterstellung einer konstanten Abschreibungsrate eine realitätsferne Annahme. Schon Schumpeter (1934, 1942) wies mit seinem Gedanken der schöpferischen Zerstörung darauf hin, dass Wissen erst durch das Entstehen neuen Wissens entwertet wird. Somit ist die Entwertung von Wissen an die vergangenen Investitionen in F&E gekoppelt, die zur Generierung neuen Wissens führen. Die Unterstellung einer konstanten Abschreibungsrate führt weiterhin zu der Begebenheit, dass bei einer Einstellung der F&E der Wissenskapitalstock gegen Null konvergieren würde. Extrem zugespitzt bedeutet dies: Wenn weltweit die F&E eingestellt würde, fiel die Menschheit wieder in die Steinzeit zurück.

---

<sup>22</sup> Beispielsweise durch die Einführung einer neuen Produktvariante.

Weiterhin problematisch ist die normalerweise angewendete Gewichtung des externen F&E-Kapitalstocks mit Hilfe einer Technologie-Nähe-Matrix. Dies führt zu einer „Vorabfestlegung“ des Einflusses der Spillover-Effekte, da die Ergebnisse der Punktschätzungen der entsprechenden Elastizitäten – wie schon in Abschnitt 4.3 ausgeführt – erheblich von der angewendeten Gewichtung abhängen (vgl. Verspagen (1997b) und Keller (1998)). Zusätzlich werden mit der gewählten Gewichtung die Größenordnung und Wirkungsrichtung der Spillover-Effekte implizit festgelegt (vgl. Harhoff (2000), S. 247). So wird beispielsweise bei der Anwendung einer Technologie-Nähe-Matrix auf der Basis von Außenhandelsströmen (vgl. zum Beispiel Coe/Helpman (1995)) oder Input-Output-Tabellen (vgl. zum Beispiel Jacobs/Nahuis/Tang (1999)) unterstellt, dass Spillover-Effekte entlang und mit gleicher Intensität von Güterströmen auftreten. Diesen Zusammenhang stellen neuere Studien zumindest in Frage.<sup>23</sup> Die Gewichtung des externen Kapitalstocks auf der Basis einer Technologie-Nähe-Matrix führt weiterhin zu einer Vernachlässigung der Spillover-Effekte, die nicht entsprechend dem durch die Technologie-Nähe-Matrix abgebildeten Zusammenhang auftreten.<sup>24</sup> Eine Einschränkung der Untersuchung auf den in einer TNM zugrundeliegenden Zusammenhang birgt die Gefahr, dass wesentliche Teile der auftretenden Spillover-Effekte nicht gemessen werden.

Ein wiederum mehr praktisches Problem bei der Verwendung von I/O-Tabellen als TNMs ist die Datenlage. I/O-Tabellen werden i. d. R. nur in großen Zeitabständen erstellt.<sup>25</sup> Die entsprechenden I/O-Tabellen werden dann für einen Zeitraum verwendet, in dem unterstellt wird, dass sich die Verflechtung im Zeitablauf nicht ändert. Weiterhin tritt mit der jeweils neuen I/O-Tabelle ein, wenn auch in der Regel nur kleiner, Strukturbruch auf.

Wird die in dieser Arbeit verwendeten Definition von Spillover-Effekten zugrunde gelegt, führt das traditionelle Verfahren zu einer Überschätzung der Spillover-Effekte. Dies liegt darin begründet, dass Produktivitätseffekte, die auf den Zukauf von verbesserten Maschinen oder Inputs zurückzuführen sind, – im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit – als Spillover-Effekte angesehen werden. Der durch Zulieferungen verursachte Produktivitätseffekt schlägt sich somit bei der ökonometrischen Schätzung von Spillover-Effekten anhand des in Formel 4.13 angegebenen Zusammen-

---

<sup>23</sup> Vgl. Keller (1998) und Edmond (2001) für Kritik an der Gewichtung mit Hilfe von Importanteilen.

<sup>24</sup> Ein Beispiel für derartige, nicht entlang von Güterströmen auftretende Spillover-Effekte sind solche, die durch Personalfluktuatun entstehen.

<sup>25</sup> In Deutschland beispielsweise alle 5 Jahre.

hangs im Einfluss der eigenen und der extern durchgeführten F&E nieder. Keine der im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Studien kontrolliert in den Schätzungen für diesen Einfluss. Die Studien ermitteln daher einen „Einfluss-Mix“ aus reinen Spillover-Effekten und Konsumentenrenten.

### 4.5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Kapitel wurde gezeigt, dass die in der Literatur vorhandenen Studien zur Messung von Spillover-Effekten aus verschiedenen Gründen zur Beantwortung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Fragestellung ungeeignet sind. Dies liegt zum einen an dem gewählten Fokus der Studien und zum anderen an methodischen Problemen. So versuchen die Studien, bis auf wenige Ausnahmen, den Einfluss von Spillover-Effekten auf die Produktivitätsentwicklung zu schätzen. Die Produktivitätsentwicklung bildet die Entwicklung einer Volkswirtschaft aber nur dann komplett ab, wenn von vollständiger Konkurrenz, einer geschlossenen Volkswirtschaft und einer Vollauslastung aller Produktionsfaktoren ausgegangen wird. Andernfalls bleiben mögliche Auswirkungen von Produktinnovationen auf Wirtschaftswachstum und Wohlstand unberücksichtigt. Weiterhin werden in den meisten Studien TNMs verwendet, die dazu führen, dass nur ein Teil der auftretenden Spillover-Effekte geschätzt wird. Darüberhinaus wird in den vorhandenen Studien eine Schätzung der ausgesendeten Spillover-Effekte nicht vorgenommen. Dies würde ermöglichen die Bedeutung einzelner externer F&E-Kapitalstöcke abzuschätzen (z. B. Bedeutung des deutschen F&E-Kapitalstocks für die Produktion der anderen OECD-Länder).

Neben diesen Problemen, die ihre Begründung in den unterschiedlichen Fragestellungen zwischen den untersuchten Studien und dieser Arbeit haben, zeigten sich auch methodische Probleme der „herkömmlichen“ Herangehensweise zur Messung von Spillover-Effekten. Ein zentraler Nachteil ist die zur Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken von der Mehrheit der Studien verwendete PIM. Da die PIM zur Bildung von physischen Kapitalstöcken entwickelt wurde, sind bei ihrer Anwendung auf Wissen die unterstellten Annahmen unplausibel. Ein weiteres methodisches Problem lag in der Vernachlässigung der Zulieferungen in den Schätzungen, was zu einer Überschätzung des Einflusses der Spillover-Effekte führt.

Es liegt auf der Hand, dass ein neues Verfahren entwickelt werden sollte, damit die empirischen Ergebnisse einen Aussagegehalt in Bezug auf die Auswirkungen von Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum haben.

## 5 Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Messung von Spillover-Effekten

Entsprechend der im vorangegangenen Kapitel vorgetragenen Kritik am herkömmlichen Verfahren wird in diesem Kapitel ein neues und der vorliegenden Fragestellung adäquates Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten entwickelt. Hierfür wird ein erweiterter Produktionsfunktionsansatz mit einer neuen Konstellation an Inputfaktoren verwendet, der eine exaktere Messung der auftretenden Spillover-Effekte ermöglicht. Zusätzlich wird ein neues Verfahren zur Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken entwickelt, welches die Besonderheiten von Wissen besser berücksichtigt. Weiterhin werden die externen F&E-Kapitalstöcke ohne Vorab-Restriktionen konstruiert. Die einzelnen Veränderungen gegenüber dem herkömmlichen Verfahren werden in den nächsten Abschnitten diskutiert.

### 5.1 Veränderte Schätzgleichung

Vom Prinzip des Produktionsfunktionsansatzes soll nicht abgewichen werden. Er bietet genügend Flexibilität, um der im vorangegangenen Kapitel geäußerten Kritik Rechnung zu tragen. Auch die bewährte Cobb-Douglas-Produktionsfunktion soll weiterhin verwendet werden, da sie nicht nur für die ökonometrischen Schätzungen erwünschte, sondern auch für den hier untersuchten Zusammenhang plausible Eigenschaften besitzt.

Ein erster Unterschied zur herkömmlichen Methode ist die Verwendung einer anderen abhängigen Variable. Denn wie im vorangegangenen Kapitel diskutiert, bildet die Produktivitätsentwicklung nur unter den Annahmen einer geschlossenen Volkswirtschaft, dem Vorliegen von vollständiger Konkurrenz und der Vollbeschäftigung der Produktionsfaktoren, die Wirtschaftsentwicklung vollständig ab. Eine Lösung für dieses Problem ist die Verwendung des Outputs als abhängige Variable, denn die Entwicklung des Outputs ergibt sich aus Veränderungen des Angebots *und* der Nachfrage. Dies ermöglicht nicht nur die Berücksichtigung eines durch die Produktivitätsentwicklung veränderten Angebots, sondern auch die durch Produktinnovationen ausgelösten Veränderungen der Nachfrage. Die Verwendung des Outputs als abhängige Variable stellt somit sicher, dass Wachstums- und Wohlfahrtseffekte aufgrund von Produktinnovationen in die Analyse einbezogen werden.

Wie der vorherige Abschnitt gezeigt hat, kommt den berücksichtigten Inputfaktoren und deren Modellierung eine besondere Rolle für die Genauigkeit der Messung von Spillover-Effekten zu. Auch an dieser Stelle wird ein anderer Weg als bei der herkömmlichen Methode eingeschlagen. Neben Arbeit und Kapital werden nun auch der eigene F&E-Kapitalstock, der inländische externe F&E-Kapitalstock, der ausländische externe F&E-Kapitalstock und die Zulieferungen als Inputfaktoren verwendet. Wichtig ist hierbei, dass die verschiedenen F&E-Kapitalstöcke als *direkte* Inputfaktoren in die Produktionsfunktion Eingang finden. Dies hat zwei Vorteile, so wird zum einen durch die *gleichzeitige* Schätzung der Elastizitäten aller Inputfaktoren gewährleistet, dass auch Einflüsse von F&E auf die Outputelastizitäten von Kapital, Arbeit und Zulieferungen berücksichtigt werden. Zum anderen kann überprüft werden, ob für die Gesamtproduktion steigende, sinkende oder konstante Skalenerträge vorliegen.

Die Einbeziehung von in- und ausländischen Spillover-Effekten stellt sicher, dass alle auf das Wirtschaftswachstum wirkenden Spillover-Effekte in die Schätzung eingehen. Die getrennte Schätzung von in- und ausländischen Spillover-Effekten ermöglicht in Kapitel 7 eine differenziertere Betrachtung, da in- und ausländischen Spillover-Effekte für eine nationale Wirtschaftspolitik unterschiedliche Implikationen nach sich ziehen.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Methode werden nun auch die Zulieferungen als getrennte Variable aufgenommen, um bei den Schätzungen den Einfluss von gekaufter F&E, beispielsweise in Form von neuen Maschinen oder besseren Zwischenprodukten, von den Spillover-Effekten zu trennen. Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, würde eine Vernachlässigung der Zulieferungen in den Schätzungen zu einer systematischen Überschätzung der Spillover-Effekte führen.

Die verwendete Cobb-Douglas-Produktionsfunktion ist somit gegeben durch:

$$(5.1) \quad Y = W^{\beta_1} (E^{in})^{\beta_2} (E^{au})^{\beta_3} L^{\beta_4} K^{\beta_5} Z^{\beta_6}$$

Dabei stellt  $Y$  den Output,  $W$  den eigenen F&E-Kapitalstock,  $E^{in}$  den inländischen externen F&E-Kapitalstock,  $E^{au}$  den ausländischen externen F&E-Kapitalstock,  $L$  den Arbeitseinsatz,  $K$  das Kapital und  $Z$  die Zulieferungen dar. Gleichung 5.1 impliziert: Ist ein Inputfaktor gleich Null, kommt keine Produktion zustande. Dies gilt auch für die externen F&E-Kapitalstöcke, für die somit unterstellt wird, dass das für die Produktion notwendige Wissen ohne externe Forschung nicht hätte erworben werden können. Dies scheint nicht unplausibel.

Mit Hilfe einer logarithmischen Transformation kann die Produktionsfunktion in eine lineare Beziehung überführt werden, die eine OLS-Schätzung ermöglicht:

$$(5.2) \quad \ln Y_{it} = \beta_1 \ln W_{it} + \beta_2 \ln E_{it}^{in} + \beta_3 \ln E_{it}^{au} \\ + \beta_4 \ln K_{it} + \beta_5 \ln L_{it} + \beta_6 \ln Z_{it}$$

## 5.2 Eine neue Methode zur Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken

Wegen der oben geäußerten Bedenken zur Verwendung der PIM bei der Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken wird im Folgenden eine neue Methode zur Konstruktion von F&E-Kapitalstockdaten entwickelt, welche den besonderen Eigenschaften von Wissen besser Rechnung trägt. Der Wissenskapitalstock wird in Gleichung 5.1 als ein Produktionsfaktor angesehen. Dies impliziert, dass es sich beim Wissenskapitalstock *nicht* um die Summe der Erlöse des verwendeten Wissens handelt,<sup>1</sup> sondern um die Summe der Investitionen zur Herstellung des Wissens, welches für die Produktion des Outputs  $Y$  benötigt wurde. An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass die Produktion hierbei im Sinne der Gesamtgeschäftstätigkeit zu sehen ist. Sie umfasst auch die firmeninterne Produktion von Wissen. Wie schon in Kapitel 2 ausgeführt, befasst sich die Arbeit mit produktionsrelevantem technischen Wissen. Somit sollte Wissen, welches in der Produktion eines Unternehmens keine Rolle mehr spielt, im Wissenskapitalstock nicht weiter berücksichtigt werden. Im hier entwickelten Ansatz wird Wissen dementsprechend dann abgeschrieben, wenn es nicht mehr in der Produktion verwendet wird. So ist beispielsweise das Wissen, wie ein Mercedes Benz der fünfziger Jahre gebaut wurde, bei DaimlerChrysler wahrscheinlich noch heute vorhanden, es ist aber für die heutige Produktion nicht mehr relevant. Deshalb sollte dieses Wissen auch keinen Eingang in die Produktionsfunktion finden. Vorhandenes, aber nicht mehr genutztes Wissen kann natürlich im Zeitablauf „wiederentdeckt“ werden. In der Regel kann es jedoch nur durch eine neue Investition in F&E „revitalisiert“ werden, da es an heutige Bedingungen angepasst werden muss. Ein Beispiel hierfür ist die „Wiederentdeckung“ des Zeppelins als Transportmittel. Allerdings hat ein heutiger Zeppelin mit einem Modell aus den dreißiger Jahren, außer der grundlegenden Strömungstechnik, nicht mehr viel gemein. So unterscheiden sich die eingesetzten Materialien, die verwendeten

---

<sup>1</sup> Die Ertragsrate des Wissens ergibt sich über die Produktionsfunktion und wird im Rahmen der ökonometrischen Schätzungen im nächsten Kapitel ermittelt.

Motoren, die Navigationsinstrumente usw. grundlegend. Es kann deshalb von der Annahme ausgegangen werden, dass die „Revitalisierungskosten“ den Gesamtaufwand für dieses „wiederentdeckte“ Wissen darstellen.

Der Idee Schumpeters folgend kann die Entwicklung eines F&E-Kapitalstock als Prozess von „Schaffung“ und „Zerstörung“<sup>2</sup> von Wissen modelliert werden. Beide Prozesse finden allerdings nicht simultan statt. So führt F&E in derselben Periode zu einer Erhöhung des F&E-Kapitalstocks, da jede F&E-Aktivität Wissen generiert. Hierbei spielt es keine Rolle, ob ein F&E-Projekt schlussendlich erfolgreich ist oder nicht. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass Wissen über die Laufzeit eines F&E-Projektes verteilt entsteht und nicht erst mit Abschluss der F&E-Projektes anfällt. Dementsprechend erhöhen F&E-Investitionen den F&E-Kapitalstock bereits in der Periode, in dem Investitionen getätigt werden, und nicht erst in der Periode, in der das gesamte F&E-Projekt zum Abschluss kommt.

Das neu generierte Wissen erweitert die Wissensbasis, auf der heutige und zukünftige Unternehmensentscheidungen getroffen werden. Damit wird die Unternehmenstätigkeit direkt und unverzüglich beeinflusst und schlägt sich somit auch *sofort* in der Produktion nieder. So kann beispielsweise die Entwicklung eines neuen Prototyps zur Einstellung der Weiterentwicklung des heute verkauften Produktes führen, was eine Senkung der Unternehmenskosten und somit eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens nach sich ziehen könnte. Weiterhin können kleinere Produkt- oder Prozessinnovationen sofort implementiert und folglich ohne größere Zeitverzögerung produktionswirksam werden. Die heutigen Investitionen in F&E führen also unmittelbar zur Schaffung neuen Wissens.<sup>3</sup>

Die Entwertung von Wissen folgt allerdings anderen Regeln, denn erst mit dem Einsatz des neuen Wissens in der Produktion oder dem Erscheinen des neuen Produktes wird altes Wissen nicht mehr verwendet und somit obsolet. So wird beispielsweise die Nutzung des alten technologischen Wissens in der Produktion erst dann eingestellt, wenn das neue Wissen implementiert wurde. Bei einer Prozessinnovation bedeutet dies, dass in der Produktion die neue Technologie weitestgehend eingesetzt wird und bei Modernisierungen nur noch das neue Wissen zum Einsatz kommt. Die zeitliche Verzögerung kann hierbei von einigen Tagen (beispielsweise beim Einsatz eines neuen Materialinputs) bis zu mehreren Jahren (bei

---

<sup>2</sup> Im heutigen Sprachgebrauch wird weniger martialisch von „Entwertung“ des Wissens gesprochen. Hierbei soll aber nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der Entwertung um die Entwertung der Investitionen in Wissen bzw. der Herstellungskosten handelt.

<sup>3</sup> Schumpeter beschreibt diesen Vorgang als Schöpfung/Schaffung.

Einführung eines neuen Produktionsverfahrens) reichen. Bei Produktinnovationen wird das Wissen dann entwertet, wenn die Produktion des alten Produktes eingestellt wird. Auch hier kann die Entwertung schnell oder langsam vonstatten gehen. So wird in der Automobilbranche mit dem Erscheinen der neuen Modellreihe die Produktion des alten Modells sofort eingestellt, wohingegen bei der Produktion von Computerprozessoren alte und neue Prozessoren noch eine Zeit lang parallel hergestellt werden. Es muss weiterhin berücksichtigt werden, dass nur ein bestimmter Teil des neu geschaffenen Wissens substitutiven Charakter besitzt und damit bestehendes Wissen verdrängt und auf diese Weise entwertet. Ein Beispiel hierfür ist die neue Generation von Digital-Versatile-Disks-Aufzeichnungsgeräten (DVD). Bei ihnen kommt eine verbesserte Lesetechnik zum Einsatz, die die alte Technik entwertet. Die zusätzliche Funktion, DVDs beschreiben zu können, ist neu. Das entsprechende Wissen verdrängt deshalb auch kein anderes Wissen. Der Anteil an substitutivem Wissen hängt auch vom „Reifegrad“ der betrachteten Industrie ab. So ist anzunehmen, dass die Anzahl der bahnbrechenden Erfindungen in der Biochemie größer sein wird als die im Schiffbau. Der Anteil an substitutivem Wissen kann sich über die Zeit verändern, was bei der Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken berücksichtigt werden sollte.

Wie können die eben beschriebenen Zusammenhänge nun formal ausgedrückt werden, damit sie zur Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken verwendet werden können? Zum einen gibt es den Schaffungsprozess, der durch Investitionen in Wissen angestoßen wird. Er umfasst alle, jemals von einem Unternehmen, Sektor bzw. Land unternommene F&E. Der F&E-Kapitalstock wächst daher mit neuen Investitionen in Wissen, also entsprechend dem Schaffungsprozess:  $[\sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i}]$ . Hierbei stellt  $F$  die Investitionen in Wissen dar. Auf der anderen Seite stehen die durch das neue Wissen entwerteten früheren Investitionen in Wissen. Diese Entwertung von Wissen tritt, wie oben beschrieben, zeitlich verzögert auf und betrifft auch nur substitutives Wissen. Die Summe der entwerteten Investitionen entwickelt sich entsprechend der folgenden Formel:  $[\sum_{i=k}^{\infty} \theta_{t-i} F_{t-i}]$ . Hierbei gibt  $k$  den Lag an, mit dem Wissen entwertet wird.  $\theta$  bezeichnet den substitutiven Anteil des neuen Wissens. Der Parameter  $\theta$  liegt hierbei zwischen Null und eins und kann über die Zeit variieren. Werden der Schaffungs- und der Entwertungsprozess zusammengenommen, entwickelt sich der F&E-Kapitalstock entsprechend der folgenden Formel:

$$(5.3) \quad W_t = \sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i} - \sum_{i=k}^{\infty} \theta_{t-i} F_{t-i} \quad \text{mit} \quad k > 0; \quad 0 \leq \theta < 1$$

Die erste Summe  $[\sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i}]$  beschreibt den Schaffungsprozess neuen Wissens, der zweite Teil  $[-\sum_{i=k}^{\infty} \theta_{t-i} F_{t-i}]$  den Entwertungsprozess von Wissen.

Die vorgestellte Methode zur Berechnung von F&E-Kapitalstockdaten weist neben plausibleren Annahmen auch realistischere Funktionseigenschaften als die PIM auf. So konvergiert der F&E-Kapitalstock bei Einstellung der Forschungsaktivitäten gegen eine positive Konstante. Der F&E-Kapitalstock ist somit stets positiv, was sich auf den ersten Blick nicht sofort erschließt. Die folgende Umformung zeigt diese beiden Umstände auf.

$$(5.4) \quad W_t = \sum_{i=0}^k F_{t-i} + \sum_{i=k}^{\infty} (1 - \theta_{t-i}) F_{t-i} \quad \text{mit} \quad k > 0; \quad 0 \leq \theta < 1$$

Da der Klammerterm  $(1 - \theta_{t-i})$  aufgrund der Eigenschaften von  $\theta$  stets positiv ist, ist auch der F&E-Kapitalstock zu jedem Zeitpunkt positiv. Weiterhin gibt der zweite Term auf der rechten Seite  $(\sum_{i=k}^{\infty} (1 - \theta_{t-i}) F_{t-i})$  die positive Konstante an, gegen die der F&E-Kapitalstock konvergiert, wenn die Forschung eingestellt wird.

Der vorgestellte Ansatz lässt sich noch um einen interessanten Aspekt erweitern. Neben der „erwartungsgemäß“ auftretenden Entwertung von Wissen kann eine solche aber auch durch *exogene Schocks* verursacht werden. Beispiele für derartige exogene Schocks sind die Ölpreiskrise, die Transformation in Osteuropa oder ordnungspolitische Maßnahmen. In den ersten beiden Fällen wurden über Nacht große Teile der vorhandenen F&E-Kapitalstöcke entwertet. Bei der Ölpreiskrise betraf dies Wissen über energieintensive Technologien, die nicht mehr profitabel eingesetzt werden konnten. Auch Forschungsprojekte, die energieintensive Technologien neu- oder weiterentwickelten, wurden durch diesen exogenen Schock entwertet und deshalb eingestellt (vgl. Sterlacchini (1989), S. 1550-1551). In der Transformation wurde Wissen hingegen durch die Einführung von marktwirtschaftlichen Preisen, was eine radikale Veränderung der Input/Output-Struktur zur Folge hatte, entwertet. Auch die schnelle Diffusion von westlichem Wissen in die vormals abgeschotteten Länder führte zu einer raschen und tiefgreifenden Entwertung der F&E-Kapitalstöcke in den osteuropäischen Ländern (vgl. Bitzer (2000)). Das dritte oben genannte Beispiel für einen exogenen Schock, der sich auf den F&E-Kapitalstock auswirkt, sind ordnungspolitische Maßnahmen, die beispielsweise die Verwendung einer speziellen Technologie untersagen oder ein spezielles Produkt verbieten. Ein Beispiel für die erste Form der ordnungspolitischen Maßnahmen ist das Verbot der Verwendung von FCKW in Kühlschränken.

Ein Beispiel für die zweite Form von ordnungspolitischen Maßnahmen ist das Verbot von Asbest-Dämmplatten. Beide Formen von ordnungspolitischen Maßnahmen haben Teile des F&E-Kapitalstocks der entsprechenden Hersteller entwertet. Diese exogenen Schocks können einfach als weiterer, den F&E-Kapitalstock reduzierender Faktor  $[-\sum_{i=0}^{\infty} S_{t-i}]$  berücksichtigt werden. Da die Summe der entwertenden Terme nicht größer als der Schaffungsprozess sein kann, gilt für die Summe der exogenen Schocks die Bedingung:  $\sum_{i=0}^{\infty} S_{t-i} \leq \sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i} - \sum_{i=k}^{\infty} \theta_{t-i} F_{t-i}$ . Die F&E-Kapitalstockfunktion lautet dann:

$$(5.5) \quad W_t = \sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i} - \sum_{i=k}^{\infty} \theta_{t-i} F_{t-i} - \sum_{i=0}^{\infty} S_{t-i}$$

mit  $k > 0, \quad 0 \leq \theta < 1, \quad \sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i} - \sum_{i=k}^{\infty} \theta_{t-i} F_{t-i} \geq \sum_{i=0}^{\infty} S_{t-i}$

Die Bezeichnungen entsprechen denen in Gleichung 5.3. Hinzugekommen ist der Term  $[-\sum_{i=0}^{\infty} S_{t-i}]$  für die Summe der möglicherweise aufgetretenen exogenen Schocks, die den F&E-Kapitalstock entwertet haben und über die Zeit variieren. Es ist theoretisch zwar möglich, dass ein exogener Schock das gesamte Wissen entwertet, doch nimmt die Wahrscheinlichkeit mit zunehmendem Aggregationsniveau immer weiter ab. So ist die komplette Entwertung bei einem Unternehmen noch vorstellbar, bei einem Land scheint dies nur noch durch Krieg oder Naturkatastrophen möglich zu sein. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Fall  $W_t = 0$  i. d. R. auf der Sektor- und Landesebene nicht auftritt.

### 5.3 Direkte Schätzung von Spillover-Effekten

Wie im Abschnitt 5.1 beschrieben, sollen die in- und ausländischen Spillover-Effekte getrennt in die Schätzungen aufgenommen werden. Dementsprechend werden zwei externe F&E-Kapitalstöcke konstruiert. Bei der Konstruktion der beiden externen wird das im vorangegangenen Abschnitt entwickelte neue Verfahren verwendet.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Methode wird zwischen den verschiedenen Sektoren und Ländern die *gleiche* technologische Nähe unterstellt, das heißt, es werden keine TNMs verwendet. Eine Vorabfestlegung der Spillover-Effekte wird dadurch vermieden.<sup>4</sup> Die technologische Nähe bzw. die Bedeutung der externen F&E-Kapitalstöcke wird somit im Rahmen

<sup>4</sup> Vgl. hierzu die Kritik am herkömmlichen Verfahren in Abschnitt 4.3.

der Schätzungen ermittelt. Weiterhin werden durch dieses Vorgehen *alle* auftretenden Spillover-Effekte erfasst, und das Modell wird damit nicht schon im Vorhinein Restriktionen unterworfen.

Inländische Spillover-Effekte können nicht auf gesamtwirtschaftlichem Aggregationsniveau ermittelt werden. Dementsprechend wird als Aggregationsniveau die Sektorebene gewählt. Für einen Sektor  $j$  bestehen die inländischen externen F&E-Kapitalstöcke aus den F&E-Kapitalstöcken der anderen inländischen Sektoren. Die Summe des F&E-Kapitalstocks von Sektor  $j$  plus den inländischen externen F&E-Kapitalstöcken ergibt den gesamtwirtschaftlichen F&E-Kapitalstock. Die Konstruktion des *inländischen* externen F&E-Kapitalstocks wird somit nach folgender Formel vorgenommen:

$$(5.6) \quad E_{ljt}^{in} = \sum_{i=1}^n W_{lit} \quad \text{für } i \neq j$$

Dabei stellt  $W_{lit}$  die F&E-Kapitalstöcke der einzelnen Sektoren dar. Hierbei bezeichnet  $i$  die Spillover-Effekte aussendenden und  $j$  die Spillover-Effekte empfangenden Sektoren. Der Index  $l$  bezeichnet das betrachtete Land. Bei der Konstruktion der externen ausländischen F&E-Kapitalstöcke wird nach dem gleichen Prinzip vorgegangen, es kommt allerdings eine weitere Dimension hinzu. So ist der externe F&E-Kapitalstock für Land  $h$  gleich der Summe aller sektoralen F&E-Kapitalstöcke der restlichen Länder. Formal ausgedrückt ergibt sich der *ausländische* externe F&E-Kapitalstock entsprechend folgender Formel:

$$(5.7) \quad E_{ht}^{au} = \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^n W_{lit} \quad \text{mit } l \neq h$$

Dabei stellt  $W_{lit}$  wiederum den F&E-Kapitalstock dar.  $l$  bezeichnet die Spillover-Effekte aussendenden und  $h$  die Spillover-Effekte empfangenden Länder.

## 5.4 Zusammenfassung

Das im vorliegenden Kapitel neu entwickelte Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten ermöglicht eine genauere Messung der Bedeutung von in- und ausländischen Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum. Durch die Verwendung des Outputs als abhängige Variable und die

Aufnahme der eigenen und externen F&E-Kapitalstöcke in die Produktionsfunktion wurde sichergestellt, dass auch Produktinnovationen in den Schätzungen berücksichtigt werden. Zusätzlich wird dadurch die gleichzeitige Schätzung aller Outputelastizitäten ermöglicht. Die Einflüsse der einzelnen Inputfaktoren aufeinander können dadurch mit erfasst werden. Weiterhin wurde bei der Auswahl der zu berücksichtigenden Inputfaktoren besonderer Wert darauf gelegt, dass nicht fälschlicherweise die Einflüsse bezahlter, wachstumsbeeinflussender Vorleistungen als Spillover-Effekte gemessen werden. Deshalb wurden die Zulieferungen als Inputfaktor in die Produktionsfunktion aufgenommen.

Eine weitere wichtige Neuerung des Ansatzes stellt das neue Verfahren zur Konstruktion von F&E-Kapitalstöcken dar. Hierbei wurde der Idee Schumpeters folgend die Entwicklung des F&E-Kapitalstocks durch ein Verfahren schöpferischer Zerstörung modelliert. Der F&E-Kapitalstock entwickelt sich dabei mit über die Zeit variierenden Abschreibungsraten, was zwei konterintuitive Eigenschaften der PIM vermeidet. So ist die i. d. R. bei der PIM unterstellte Annahme einer konstanten Abschreibungsrate für Wissen nicht plausibel. Weiterhin konvergiert der neu konstruierte F&E-Kapitalstock bei Einstellung der F&E nicht gegen Null, sondern gegen eine positive Konstante. Dies ist im Vergleich zur PIM, die bei Einstellung der F&E gegen Null konvergiert, eine plausiblere Entwicklung.

Bei der Konstruktion der externen F&E-Kapitalstöcke wurde zum einen zwischen in- und ausländischen externen F&E-Kapitalstöcken unterschieden. Zum anderen wurde keine TNM verwendet, da dies zu einer Vorabfestlegung der Spillover-Effekte führen würde. Weiterhin hat die Verwendung einer TNM zur Folge, dass Spillover-Effekte, die nicht durch die TNM abgebildet werden, bei der Messung nicht berücksichtigt sind. Stattdessen soll die Bedeutung und damit die Technologische Nähe mit Hilfe der ökonometrischen Schätzungen ermittelt werden.

Die Ausgestaltung bzw. Operationalisierung und die Anwendung des neuen Verfahrens bleiben dem nächsten Abschnitt vorbehalten.

## 6 Anwendung des neuen Verfahrens

Im vorliegenden Kapitel wird das im letzten Kapitel neu entwickelte Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten angewendet. Im ersten Abschnitt dieses Kapitels wird das Verfahren operationalisiert. Im zweiten Abschnitt wird die verwendete Schätzmethodik diskutiert. In Abschnitt drei werden die Schätzergebnisse vorgestellt.

### 6.1 Daten und Operationalisierung

Für die Schätzungen wurden Daten bestehend aus 9 Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes der 12 OECD-Länder Kanada, Dänemark, West-Deutschland, England, Finnland, Frankreich, Italien, Japan, Niederlande, Norwegen, Schweden, USA, gepoolt.<sup>1</sup> Die Daten lagen in der Abgrenzung gemäß der Klassifizierung ISIC<sup>2</sup> in der Revision 2 vor. Bei den 9 Sektoren handelt es sich um 31 (Ernährungsgewerbe, Getränkeherstellung und Tabakverarbeitung), 32 (Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerbe), 33 (Holzgewerbe (einschließlich Herstellung von Möbeln)), 34 (Papier-, Verlags- und Druckgewerbe), 35 (Chemische Industrie, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, (einschließlich Chemische-, Petroleum-, Kohleprodukte)), 36 (Herstellung von Nichtmetallurgischen Mineralprodukten (ohne Herstellung von Petroleum und Kohleprodukten)), 37 (Metallerzeugung und -bearbeitung), 38 (Herstellung von Metallerzeugnissen) und 39 (Andere Gewerbe).

---

<sup>1</sup> Für die restlichen OECD-Länder lagen nur unvollständige oder, wie im Falle der erst kürzlich eingetretenen osteuropäischen Staaten, sehr kurze Datenreihen vor. Aus diesen Gründen wurden sie nicht für die Schätzungen verwendet. Die Daten sind dennoch in hohem Maße repräsentativ, da in den 12 berücksichtigten OECD-Ländern 1997 88,62 % der F&E-Ausgaben aller OECD-Länder anfielen. Vgl. hierzu OECD (2001), S. 14. Gleiches gilt für die Wahl der Daten des Verarbeitenden Gewerbes bei der Untersuchung, da im Durchschnitt über die untersuchten 12 OECD-Länder 79 % der F&E-Ausgaben der Unternehmen auf das Verarbeitende Gewerbe entfielen. Vgl. OECD (2001), S. 32-35.

<sup>2</sup> International Standard Industrial Classification (ISIC), vgl. [<http://esa.un.org/unsd/cr/family2.asp?Cl=8>] für nähere Informationen zur Klassifizierung und ihrer Entwicklung. Für einen Gesamtüberblick und ein Vergleich der verschiedenen Klassifizierungen siehe [<http://esa.un.org/unsd/cr/registry/regtr.asp>].

Da zwei Sektoren<sup>3</sup> mangels Daten aus der Betrachtung entfielen, bestand der Panel-Datensatz aus 106 Gruppen.

Als Datenquellen dienten die OECD Datenbanken ANBERD<sup>4</sup> und STAN<sup>5,6</sup>. Der Untersuchungszeitraum umfasst die Jahre 1975-1997, wobei nicht für alle Länder über den gesamten Zeitraum und für alle Sektoren Daten vorlagen. Beispielsweise reicht die Zeitreihe für Deutschland nur bis ins Jahr 1994. Es handelt sich somit um ein unausgeglichenes Panel.<sup>7</sup>

Die Daten wurden mit Hilfe des von der OECD verwendeten Wertschöpfungsdeflators deflationiert, weil er für jeden einzelnen Sektor über den gesamten Zeitraum zur Verfügung stand. Die Zeitreihen liegen somit zu konstanten Preisen von 1990 vor. Da bei der Konstruktion der ausländischen externen F&E-Kapitalstöcke F&E-Ausgaben der verschiedenen Länder zusammengeführt werden müssen, wurden alle Daten mit den entsprechenden Wechselkursen von 1990 in US-Dollar umgerechnet. Der Wechselkurs wurde bei der Umrechnung den Kaufkraftparitäten (PPP) vorgezogen, da diese mit Hilfe eines Güterkorbes konstruiert werden, der stark konsumgüterorientiert ist (vgl. Strack/Helmschrott/Schönherr (1997)).

Bei der Operationalisierung des in Abschnitt 5.1 entwickelten neuen Verfahrens zur Konstruktion des F&E-Kapitalstocks werden die Investitionen in Wissen durch F&E-Ausgaben approximiert. Der F&E-Kapitalstock stellt somit die Summe der Beschaffungskosten dar, die notwendig waren, um die Wissensbasis aufzubauen, und ist entsprechend zu interpretieren. Weiterhin wurde auf die Modellierung exogener Schocks verzichtet. Somit entfällt  $\sum_{i=0}^{\infty} S_{t-i}$  in Formel 5.5.

Bei der Festlegung der Lagstruktur wurde auf Ergebnisse verschiedener empirischer Arbeiten zurückgegriffen. In der Literatur wird zwischen einem „gestation lag“, der die Zeit von F&E-Projektbeginn bis zum Projektende umfasst, und einem „application lag“, der die Zeit von der Beendigung des F&E-Projektes bis zur Anwendung wiedergibt, unterschieden. Die Gesamtverzögerung umfasst somit die Zeit von der Ausgabe einer F&E-DM bis zum Beginn des Einnahmenstroms. Der Beginn des Einnahmestroms wird

---

<sup>3</sup> Für Frankreich lagen für den Sektor 39 keine Daten für das physische Kapital vor. Bei den Niederlanden lagen die F&E-Ausgaben für den Sektor 39 nur für die Jahre 1994-1996 vor. Der F&E-Kapitalstock konnte deshalb nur für eine Periode ermittelt werden, was eine Prais-Winsten-Transformation verhinderte.

<sup>4</sup> Analytical Business Enterprise Intramural Expenditure on Research and Development (ANBERD).

<sup>5</sup> Structural Analysis Industrial Database (STAN).

<sup>6</sup> Quelle: OECD (2001), Online Datenbanken unter [www.sourceoecd.org].

<sup>7</sup> Die Start- und Endwerte der Rohdatenreihen finden sich im Datenanhang.

als Implementierungsabschluss und damit als Zeitpunkt der Entwertung alten Wissens angenommen. Empirische Studien ermittelten für diese Gesamtverzögerung eine durchschnittliche Dauer von ungefähr 2 Jahren (vgl. Pakes/Schankerman (1984), S. 82-84 und Ravenscraft/Scherer (1982)). Für die Konstruktion des Wissenskapitalstocks bedeutet dies, dass die Entwertung alten Wissens mit einer zeitlichen Verzögerung von zirka 2 Jahren auftritt und deshalb  $k$  in Formel 5.3 den Wert 2 annimmt.

Bleibt noch die Bestimmung des Parameters  $\theta$ . Um  $\theta$  mit Hilfe einer Schätzung bestimmen zu können, wird vereinfachend unterstellt, dass sich das  $\theta$  im Zeitablauf nicht ändert. Den Überlegungen folgend wird der F&E-Kapitalstock entsprechend der folgenden Formel konstruiert, die aus Gleichung 5.3 abgeleitet worden ist:

$$(6.1) \quad W_t = \sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i} - \theta \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i} = F_t + F_{t-1} + (1 - \theta) \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i}$$

Dabei stellt  $F$  die F&E-Ausgaben einer Periode dar.  $\theta$  wurde auf der Basis der Gleichung 6.1 mit Hilfe einer nicht-linearen Schätzung der folgenden Produktionsfunktion ermittelt:  $Y = [F_t + F_{t-1} + (1 - \theta) \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i}]^{\beta_1} (K_{it})^{\beta_4} (L_{it})^{\beta_5} (Z_{it})^{\beta_6}$ . Die Schätzung ergab einen Wert von 0,938733 für  $\theta$ .<sup>8</sup> Da die F&E-Ausgaben nicht bis zum Zeitpunkt  $t - \infty$  vorliegen, muss für die Berechnung der einzelnen F&E-Kapitalstöcke jeweils ein Anfangskapitalstock ermittelt werden, auf der Basis dessen die zeitlich folgenden F&E-Kapitalstöcke berechnet werden können. Eine Berechnung dieser Anfangskapitalstöcke kann aus der Gleichung 6.1 abgeleitet werden und basiert entsprechend auf der folgenden Formel:<sup>9</sup>

$$(6.2) \quad W_t \approx \left( \frac{1}{(1+g)} + \frac{1}{(1+g)^2} + \frac{(1-\theta)}{g(1+g)^2} \right) F_{t+1}$$

Für die gleichmäßige Wachstumsrate  $g$  der F&E-Ausgaben vor der Periode  $t$  wurde ein Wert von 2,5 % angenommen. Dieser ist die durchschnittliche Wachstumsrate des BIP pro Kopf der untersuchten 12 OECD-Länder im Zeitraum 1960-1990.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> Weiterhin wurde Vergleichsschätzungen mit Werten von 0,95, 0,90 und 0,80 für  $\theta$  vorgenommen um die Robustheit der im folgenden Abschnitt vorgenommenen Schätzungen zu testen. Die Signifikanz der Koeffizienten für den eigenen F&E-Kapitalstock nahm mit sinkendem  $\theta$  ab.

<sup>9</sup> Vgl. Mathematischer Anhang, S. 125 für eine ausführliche Herleitung.

<sup>10</sup> Vgl. Jones (1998), S. 100-101 für die entsprechenden Daten für die einzelnen Länder.

Tabelle 6.1 stellt die bei der Schätzung verwendeten Daten systematisch zusammen und gibt die Quellen an, aus denen die Daten stammen. Die drei F&E-Kapitalstöcke  $W$ ,  $E^{in}$ ,  $E^{au}$  wurden entsprechend der oben beschriebenen Methode konstruiert. Der physische Kapitalstock wurde mit Hilfe der PIM gebildet. Als Arbeitsinput wurde die Anzahl der Erwerbstätigen anstatt der Lohn- und Gehaltssumme verwendet. Der Grund hierfür lag in der Multikollinearität zwischen den F&E-Ausgaben, und damit der F&E-Kapitalstöcke, und der Entwicklung der Lohn- und Gehaltssumme. Verursacht ist diese Kollinearität dadurch, dass die Personalkosten einen beachtlichen Anteil der F&E-Ausgaben ausmachen und somit eine ähnliche Entwicklung der beiden Variablen „Lohn- und Gehaltssumme“ und „F&E-Ausgaben“ gegeben ist. Damit lässt sich in den Schätzungen der Einfluss der F&E-Kapitalstöcke nur schwer von dem der Löhne und Gehälter separieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Löhne und Gehälter des F&E-Personals an der Lohn- und Gehaltssumme eines Sektors größer ist als der Anteil der Anzahl des F&E-Personals an den gesamten Beschäftigten eines Sektors. Aus diesem Grunde kann durch eine Verwendung der Anzahl der Erwerbstätigen die Kollinearität zwischen den eigenen F&E-Kapitalstöcken und dem Arbeitsinput reduziert werden und somit eine getrennte Schätzung der Einflüsse gelingen.

*Tabelle 6.1*  
**Beschreibung der verwendeten Daten und deren Herkunft**

| Variable | Beschreibung                            | Quelle      | Anmerkungen                                                                                               |
|----------|-----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Y$      | Bruttoproduktion                        | STAN        | Herkunft: nationale VGR-Statistik                                                                         |
| $W$      | interner F&E-Kapitalstock               | konstruiert | Verwendete Daten: F&E-Ausgaben des Unternehmenssektors, Quelle: ANBERD                                    |
| $E^{in}$ | externer inländischer F&E-Kapitalstock  | konstruiert | Verwendete Daten: F&E-Ausgaben des Unternehmenssektors, Quelle: ANBERD                                    |
| $E^{au}$ | externer ausländischer F&E-Kapitalstock | konstruiert | Verwendete Daten: F&E-Ausgaben des Unternehmenssektors, Quelle: ANBERD                                    |
| $K$      | physischer Kapitalstock                 | konstruiert | Verwendete Daten: Gross fixed Capital Formation, Konstruktionsmethode: PIM, Quelle: STAN                  |
| $L$      | Erwerbstätige                           | STAN        | Beinhaltet: Angestellte, Arbeiter, Selbstständige, Inhaber und unbezahlt mitarbeitende Familienangehörige |
| $Z$      | Zulieferungen                           | konstruiert | Differenz zwischen Bruttoproduktion und Wertschöpfung                                                     |

## 6.2 Ökonometrische Schätzung

Auf der Basis der oben beschriebenen gepoolten Daten wurde eine FGLS-Panel-Schätzung<sup>11</sup> mit fixen Effekten, einer Korrektur für Autokorrelation der Form AR(2)<sup>12</sup> und einem Zeittrend durchgeführt. Die entsprechende Schätzgleichung hatte die folgende Form:

$$(6.3) \quad \ln Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln W_{it} + \beta_2 \ln E_{it}^{in} + \beta_3 \ln E_{it}^{au} + \beta_4 \ln K_{it} \\ + \beta_5 \ln L_{it} + \beta_6 \ln Z_{it} + t + \mu_{it}$$

mit  $\mu_{it} = \rho_1 \mu_{i,t-1} + \rho_2 \mu_{i,t-2} + \varepsilon_{it}$  mit  $\varepsilon_{it} \sim UN(0, \sigma^2)$

Dabei ist  $i$  der Laufindex für die 106 untersuchten Sektoren und  $t$  der Laufindex für die untersuchten Jahre. Für die Verwendung eines Modells mit fixen Effekten sprechen mehrere Argumente. Da es sich bei den einzelnen Gruppen innerhalb des Panels um die einzelnen Sektoren der verschiedenen Länder handelt, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den geschätzten  $\alpha_i$ s nicht um gruppenspezifische Zufallsvariablen handelt, sondern um systematische Unterschiede zwischen den einzelnen Sektoren (vgl. Greene (2000), S. 560 und Verbeek (2000), S. 318).

Ein weiteres Argument für die Verwendung eines Fixed-Effects-Modell ist die dem Random-Effects-Modell zugrunde liegende Annahme, dass die erklärenden Variablen und die individuellen Effekte  $\alpha_i$  nicht korreliert sind. Diese Annahme leitet sich aus dem Umstand ab, dass bei einem Random-Effects-Modell eine Schätzgleichung der folgenden Form zum Einsatz kommt:  $y_{it} = \beta_0 + \sum_{v=1}^n \beta_v x_{vit} + w_{it}$ ,  $w_{it} \sim UN(0, \sigma^2)$  mit  $w_{it} = \alpha_i + \mu_{it}$ ,  $\alpha_i \sim UN(0, \sigma^2)$ ;  $\mu_{it} \sim UN(0, \sigma^2)$ . Sind diese Annahmen nicht erfüllt, so führt der Random-Effects-Ansatz zu inkonsistenten Schätzungen. Hausman hat einen Test entwickelt, der die Nullhypothese überprüft, dass die individuellen Effekte und die einzelnen erklärenden Variablen unkorreliert sind (vgl. Greene (2000), S. 576 und Verbeek (2000), S. 319). In allen durchgeführten Schätzungen wurde diese Nullhypothese deutlich abgelehnt. Dementsprechend wurden die verschiedenen Schätzungen mit fixen Effekten durchgeführt.

Ein weiteres, für Zeitreihendaten typisches Problem ist, dass die Daten i. d. R. einen Trend besitzen und daher nicht stationär sind. Dies kann

<sup>11</sup> Die Schätzungen wurden bis auf wenige Ausnahmen mit der Ökonometriesoftware STATA 7.0 durchgeführt. An den Stellen an denen andere Software verwendet wurde, wird im Text darauf hingewiesen.

<sup>12</sup> Autoregressiver Prozess zweiter Ordnung AR(2).

zu einer „spurious regression“ führen. Dabei gibt der den Daten innewohnende Trend einen Zusammenhang zwischen Datenreihen vor, obwohl in Wirklichkeit kein Zusammenhang zwischen den Reihen besteht (vgl. Granger/Newbold (1974) oder Greene (2000), S. 778 ff.). Eine Sichtprüfung bestätigt den Verdacht, dass auch die hier verwendeten Datenreihen einen Trend beinhalten. Die zu wählende Methode, um die Datenreihen um einen vorhandenen Trend zu bereinigen, hängt allerdings davon ab, ob die Daten einen deterministischen<sup>13</sup> oder einen stochastischen Trend beinhalten. So kann beispielsweise die gängige Methode, die Zeitvariable als zusätzlichen Regressor in die Schätzung aufzunehmen, nur dann angewendet werden, wenn ein deterministischer Trend vorliegt (vgl. Gujarati (1995), S.722-723). Mit Hilfe eines Unit-Root-Tests ist es möglich, die Art des vorliegenden Trends zu identifizieren. Auch wenn der Unit-Root-Test in der Zeitreihenanalyse schon längst zum Standardrepertoire (vgl. Hamilton (1994)) gehört, so ist seine Anwendung auf Paneldaten erst in den letzten Jahren entwickelt worden.<sup>14</sup> Bei der Auswahl des Unit-Root-Tests muss berücksichtigt werden, dass die meisten der vorliegenden Unit-Root-Tests nur für ausgeglichene Panel angewendet werden können. Da es sich bei den hier vorliegenden Daten aber um ein unausgeglichenes Panel handelt, scheiden diese von vornherein aus. Madalla/Kim (1998) schlagen deshalb die Verwendung eines auf Fisher (1932) zurückgehenden Tests, manchmal auch als  $P_\lambda$ -Test bezeichnet, vor. Fisher (1932) erarbeitete eine Methode, mit Hilfe derer die Ergebnisse verschiedener unabhängiger Tests kombiniert werden können und danach einer konkreten  $\chi^2$ -Verteilung folgen. Wird diese Methode auf die Ergebnisse der Unit-Root-Tests für die  $N$  Gruppen des Panels angewendet, kann gezeigt werden, dass, wenn  $P_i$  die p-Werte der einzelnen Unit-Root-Tests sind, der Term  $[-2 \sum \log P_i]$  einer  $\chi^2$ -Verteilung mit  $2N$  Freiheitsgraden folgt (vgl. Madalla/Kim (1998), S. 137 und Baltagi (2001), S. 240-241).

Als Unit-Root-Test für die Zeitreihen der verwendeten Variablen wurde der Augmented Dickey-Fuller Test verwendet, da er die gleichzeitige Berücksichtigung eines Zeittrends und eines Autokorrelationsprozesses der Form AR(2) ermöglicht (vgl. Ramanathan (1998) S. 525). In Tabelle 6.2 sind die Ergebnisse der Unit-Root-Tests zusammengestellt. Wie die Ergebnisse des Fisher-Tests zeigen, kann für alle verwendeten Variablen die

<sup>13</sup> Deterministische Trends werden häufig auch als trend-stationäre Prozesse bezeichnet, da mit Hilfe einer Trendbereinigung eine stationäre Zeitreihe abgeleitet werden kann.

<sup>14</sup> Erste Arbeiten wurden von Breitung/Meyer (1994) durchgeführt. Eine kurze Diskussion der Probleme bei der Übertragung eines Unit-Root-Tests auf Paneldaten ist bei Verbeek (2000), S. 333-334 zu finden. Einen guten Überblick über vorhandene Unit-Root-Tests für Paneldaten geben Maddala/Kim (1998), S. 134-137 und Baltagi (2001), S. 235-243.

Nullhypothese einer Unit-Root abgelehnt werden.<sup>15</sup> Somit ist der Weg frei für die Verwendung einer Trendvariablen als zusätzlichem Regressor, um die Zeitreihen in stationäre Zeitreihen umzuwandeln.

*Tabelle 6.2*  
**Ergebnisse der Unit-Root-Tests**  
**für die verwendeten Variablen**

| Variable | $P_{\lambda}$ -Wert | p-Wert |
|----------|---------------------|--------|
| Y        | -353,246            | 0,0000 |
| W        | -512,01             | 0,0000 |
| K        | -412,501            | 0,0000 |
| L        | -291,146            | 0,0002 |
| Z        | -359,781            | 0,0000 |

Neben dem Auftreten eines Trends in den einzelnen Variablen kann bei Zeitreihen auch das Problem von Autokorrelation in den Störtermen auftreten. Die Punktschätzer bleiben bei Vorliegen von Autokorrelation zwar unverzerrt, büßen aber ihre Effizienz ein. Weiterhin führt das Vorhandensein von Autokorrelation zu verzerrten Intervallschätzern und damit zu nutzlosen Hypothesentests (vgl. Auer (1999), S. 283-291). Eine erste Analyse der Daten mit Hilfe eines Lagrange-Multiplier-Tests (LM-Test) konnte das Vorliegen von Autokorrelation bestätigen. Weiterhin wurde mit Hilfe eines mehrstufigen Verfahrens festgestellt, dass die Störterme einem autoregressiven Prozess zweiter Ordnung folgen.<sup>16</sup>

Um die Autokorrelation in den Daten zu berücksichtigen, wurden diese mit Hilfe des Prais-Winsten-Verfahrens transformiert (vgl. Baltagi (2001), S. 84-85, Judge et al. (1985), S. 294). Hierbei werden die einzelnen Variablen den folgenden Formeln entsprechend transformiert.

$$(6.4) \quad z_{*1} = \left[ \frac{(1 + \rho_2)[(1 - \rho_2)^2 - \rho_1^2]}{(1 - \rho_2)} \right]^{\frac{1}{2}} z_1$$

$$(6.5) \quad z_{*2} = (1 - \rho_2^2)^{\frac{1}{2}} z_2 - \frac{\rho_1(1 - \rho_2^2)^{\frac{1}{2}}}{(1 - \rho_2)} z_1$$

$$(6.6) \quad z_{*t} = z_t - \rho_1 z_{t-1} - \rho_2 z_{t-2}, t > 2$$

<sup>15</sup> Die Variablen  $E^{in}$  und  $E^{au}$  sind durch einfache Summenbildung aus dem F&E-Kaptialstocks  $W$  entstanden. Sie stellen somit eine Linear-Kombination des F&E-Kaptialstocks  $W$  dar. Deshalb kann auch für sie die Hypothese einer Unit-Root abgelehnt werden.

<sup>16</sup> Zum Prinzip des Lagrange-Multiplier-Tests vgl. Godfrey (1988) oder Maddala (2001), S. 248-249.

Die benötigten  $\rho$ s wurden mit Hilfe eines zweistufigen Verfahrens ermittelt. In einem ersten Schritt wurden auf das betrachtete, untransformierte Grundmodell eine einfache OLS-Schätzung durchgeführt. Mit den daraus resultierenden Residuen wurde das folgende Modell geschätzt, welches die Ermittlung der benötigten  $\rho$ s ermöglicht (vgl. Ramanathan (1998) S. 452-455):

$$(6.7) \quad \mu_{it} = \rho_1 \mu_{i(t-1)} + \rho_2 \mu_{i(t-2)} + \beta_1 \ln W_{it} + \beta_2 \ln E_{it}^{in} + \beta_3 \ln E_{it}^{au} \\ + \beta_4 \ln K_{it} + \beta_5 \ln L_{it} + \beta_6 \ln Z_{it} + t + \epsilon_{it}$$

Die bei den im nächsten Abschnitt vorgelegten Regressionen verwendeten  $\rho$ s sind jeweils angegeben.

Ein häufig bei Panel-Daten auftretendes Problem ist Panel-Heteroskedastizität, bei der die Varianz der Störterme zwischen den Gruppen variiert. Auch bei den hier verwendeten Daten ist das Vorhandensein von Panel-Heteroskedastizität wahrscheinlich, da sie sich aus unterschiedlichen Sektoren sowie unterschiedlichen Ländern zusammensetzen. Wird die unterschiedliche Varianz in den Störtermen ignoriert, so ist die Folge, dass die erhaltenen Punktschätzer zwar unverzerrt sind, diese allerdings ihre Effizienz einbüßen. Wie im Falle der Autokorrelation führt das Vorliegen von Heteroskedastizität zu verzerrten Intervallschätzern und damit zu unbrauchbaren Hypothesentests (vgl. Ramanathan (1998), S. 381-383). Alle drei durchgeführten Tests: Breusch-Pagan-, Glesjer- und Harvey-Godfrey-Test bestätigten für alle Modellvarianten den Verdacht, dass Panel-Heteroskedastizität vorliegt.<sup>17</sup> Dementsprechend wurden alle Schätzungen mit einer Korrektur für zwischen den Gruppen auftretender Panel-Heteroskedastizität mit Hilfe der Feasible Generalised Least Squares (FGLS) Methode vorgenommen.

### 6.3 Schätzergebnisse

Bevor die Ergebnisse der verschiedenen Schätzungen im Einzelnen vorgestellt werden, sollen vorab die zu erwartenden Ergebnisse kurz diskutiert und interpretiert werden. Da im Folgenden der Zusammenhang zwischen Inputfaktoren und Output im Rahmen einer Produktionsfunktion geschätzt wird, ist zu erwarten, dass die intern in den Unternehmen determinierten Produktionsfaktoren – eigener F&E-Kapitalstock, Kapital, Arbeit, und Zulieferungen – einen signifikant positiven Einfluss auf die Produktion haben. Bei den externen Produktionsfaktoren – inländische und ausländische externe F&E-Kapitalstöcke – ist die Situation anders.

<sup>17</sup> Vgl. Ramanathan (1998), S. 384-386, für eine Beschreibung der Tests.

Hier kann vorab keine Aussage über die zu erwartende Signifikanz und die zu erwartenden Vorzeichen der geschätzten Koeffizienten getroffen werden. Das liegt daran, dass die externen F&E-Kapitalstöcke *positive* – in Form von Spillover-Effekten –, *negative* – über die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit anderer Unternehmen – oder *gar keine* Auswirkungen auf die Produktion haben können. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass Spillover-Effekte nur dann vorliegen, wenn die Produktion positiv und signifikant von den externen F&E-Kapitalstöcken beeinflusst wird. Bei einem nicht signifikanten oder negativen Einfluss der externen F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion sind dementsprechend *keine* Spillover-Effekte vorhanden.

Im Rahmen der Schätzungen wurden verschiedene Kombinationen von Lagstrukturen getestet. Wurde der eigene F&E-Kapitalstock ohne oder mit einem Lag von zwei Jahren in das Modell aufgenommen, so konnte kein signifikanter Einfluss auf die Produktion festgestellt werden. Wird der eigene F&E-Kapitalstock allerdings mit einem Lag von einem Jahr in die Schätzungen aufgenommen, so zeigt sich ein signifikanter und robuster Einfluss auf die Produktion. Dementsprechend werden an dieser Stelle nur die Ergebnisse der Schätzungen, in denen der eigene F&E-Kapitalstock um ein Jahr verzögert in das Modell eingeht, vorgestellt.

Begonnen wurden die Schätzungen mit einem reduzierten Modell, in dem die externen F&E-Kapitalstöcke nicht berücksichtigt wurden (Variante 1). Alle Variablen sind hoch signifikant. In Variante 2 wurden die inländischen externen F&E-Kapitalstöcke, wie die eigenen F&E-Kapitalstöcke mit einem Lag von einem Jahr, in das Modell aufgenommen und somit Spillover-Effekte eingeführt. Es zeigt sich, dass die Bedeutung des eigenen F&E-Kapitalstocks dadurch sinkt. In Variante 3 wurden zusätzlich die mit einem Jahr verzögerten ausländischen externen F&E-Kapitalstöcke in das Modell aufgenommen. Der Koeffizient für die ausländischen Spillover-Effekte ist jedoch nicht signifikant von Null verschieden. Da im verwendeten Datensatz auch Länder, die geographisch weit auseinander liegen, eine unterschiedliche Landessprache haben, eine unterschiedliche Kultur besitzen, etc. vorkommen, spricht viel dafür, dass die Diffusion von Wissen zwischen Ländern wahrscheinlichlicherweise länger dauert als innerhalb eines Landes. Dementsprechend wurde in Variante 4 der ausländische externe F&E-Kapitalstock um ein weiteres Jahr verzögert. Es zeigt sich, dass er nun auf einem 5 % Niveau signifikant ist. Auch die Ergebnisse des LM-Tests sprechen für die Lag-Struktur der Variante 4, denn obwohl in allen Varianten die Null-Hypothese, dass  $\rho$  gleich Null ist, angenommen wird, weist Variante 4 die beste Teststatistik auf.

*Tabelle 6.3*  
Schätzergebnisse zur Messung von in- und ausländischen Spillover-Effekten

| ln Y                  | Lag     | Variante 1           | Variante 2           | Variante 3           | Variante 4           | Grenzprod. |
|-----------------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|
| ln W                  | 1 Jahr  | 0,0058***<br>(0,001) | 0,0033***<br>(0,042) | 0,0034***<br>(0,041) | 0,0062***<br>(0,011) | ≈ 0,3703   |
| ln E <sup>in</sup>    | 1 Jahr  |                      | 0,0409***<br>(0,000) | 0,0408***<br>(0,000) | 0,0440***<br>(0,000) | ≈ 0,0703   |
| ln E <sup>au</sup>    | 1 Jahr  |                      |                      | -0,0010<br>(0,895)   |                      |            |
|                       | 2 Jahre |                      |                      |                      | 0,0156***<br>(0,027) | ≈ 0,0009   |
| ln K                  | -       | 0,0442***<br>(0,000) | 0,0414***<br>(0,000) | 0,0415***<br>(0,000) | 0,0439***<br>(0,000) | ≈ 0,1063   |
| ln L                  | -       | 0,1362***<br>(0,000) | 0,1385***<br>(0,000) | 0,1387***<br>(0,000) | 0,1316***<br>(0,000) |            |
| ln Z                  | -       | 0,7794***<br>(0,000) | 0,7799***<br>(0,000) | 0,7798***<br>(0,000) | 0,7813***<br>(0,000) |            |
| Jahr                  | -       | 0,0034***<br>(0,000) | 0,0017***<br>(0,000) | 0,0017***<br>(0,000) | 0,0006***<br>(0,000) |            |
| ρ <sub>1</sub>        |         | 0,9014               | 0,8997               | 0,8997               | 0,8943               |            |
| ρ <sub>2</sub>        |         | -0,1524              | -0,1564              | -0,1561              | -0,1765              |            |
| LM-Test‡              |         | 3,80                 | 3,17                 | 3,17                 | 2,20                 |            |
| adj. R <sup>2</sup> † |         | 0,9976               | 0,9959               | 0,9959               | 0,9963               |            |
| Obs.                  |         | 2114                 | 2114                 | 2114                 | 2008                 |            |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten α, werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an. † R<sup>2</sup>-Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der R<sup>2</sup>-Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467. ‡Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) bei 5 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit 3,84, bei 1 %iger 6,63.

Bei der Interpretation der geschätzten Koeffizienten muss berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um Elastizitäten handelt. Koeffizienten gleicher Größe stellen deshalb keinen gleich starken Einfluss dar. Vielmehr sagen die Koeffizienten für die externen F&E-Kapitalstöcke bei Variante 4 Folgendes aus: Wenn der inländische bzw. der ausländische F&E-Kapitalstock um 1 % wächst, dann steigt der Output um 0,0440 % bzw. 0,0156 %. Wird nun diese Aussage in absoluten Werten ausgedrückt, so zeigen sich immense Unterschiede. In Deutschland betrug 1990 beispielsweise der Output des Sektors 31 (Ernährungsgewerbe, Getränkeherstellung und Tabakverarbeitung) 152,88 Mrd. USD. Der inländische externe F&E-Kapitalstock für den Sektor 31 betrug im selben Jahr 95,89 Mrd. USD, ein Prozent davon waren immerhin noch 958,93 Mio. USD. Eine Erhöhung des inländischen externen F&E-Kapitalstocks um 958,93 Mio. USD würde entsprechend den Ergebnissen der Schätzung einen Outputanstieg in Höhe von 67,26 Mio. USD nach sich ziehen. Beim externen ausländischen F&E-Kapitalstock führt ein Anstieg um 6,26 Mrd. USD (1 % des externen ausländischen F&E-Kapitalstocks) zu einer Outputerhöhung von 23,84 Mio. USD. Ein Ansteigen des eigenen F&E-Kapitalstocks um 7,67 Mio. USD (1 % des eigenen F&E-Kapitalstocks) führt zu einer Erhöhung des Outputs um 9,47 Mio. USD.

Um den unterschiedlich starken Einfluss der verschiedenen F&E-Kapitalstöcke besser in absoluten Werten vergleichen zu können, stellt Tabelle 6.4 zusammen, um wie viel die einzelnen F&E-Kapitalstöcke entsprechend den Ergebnissen der Schätzungen steigen müssten, damit der Output um einen USD steigt.

*Tabelle 6.4*  
**F&E-Kapitalstockerhöhung zur Erzielung  
einer Outputerhöhung um 1 USD**

| Erzielte<br>Outputerhöhung | Erhöhung der F&E-Kapitalstöcke |                          |                           |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                            | eigener                        | inländischer<br>externer | ausländischer<br>externer |
| 1 USD                      | 0,80 USD                       | 14 USD                   | 262 USD                   |

Tabelle 6.4 verdeutlicht, dass der Einfluss des eigenen F&E-Kapitalstocks auf den Output am stärksten ist. Für die Erzielung einer Outputerhöhung von einem USD muss er nur um 0,80 USD steigen. Beim inländischen externen F&E-Kapitalstock sind es schon 14 USD, beim ausländischen externen F&E-Kapitalstock sogar 262 USD.

Dieser unterschiedliche Einfluss auf die Produktion lässt sich auch mit Hilfe der Grenzproduktivität in einer Zahl darstellen. Sie ergibt sich aus

den partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion<sup>18</sup> nach den einzelnen Produktionsfaktoren. Beispielhaft ist dies in der folgenden Formel für den eigenen F&E-Kapitalstock durchgeführt worden:

$$(6.8) \quad \frac{\partial Y}{\partial W} = \beta_1 W^{\beta_1-1} (E^{in})^{\beta_2} (E^{au})^{\beta_3} K^{\beta_4} L^{\beta_5} Z^{\beta_6} = \beta_1 \cdot \frac{Y}{W}$$

Die entsprechenden Grenzproduktivitäten für Variante 4, 8, 10 und 11 sind jeweils in den entsprechenden Tabellen angegeben. Erwartungsgemäß weist die eigene F&E die höchste Grenzproduktivität auf. Bei den empfangenen Spillover-Effekten zeigt sich weiterhin, dass die inländischen Spillover-Effekte eine höhere Grenzproduktivität als die ausländischen Spillover-Effekte besitzen.

Bei den vorliegenden Daten werden Länder und Sektoren mit sehr unterschiedlicher Größe betrachtet. Dies birgt die Gefahr, dass Größeneffekte die Schätzungen verzerren. Um zu überprüfen, ob die Ergebnisse in Bezug auf diese Größeneffekte robust sind, wurde die vorangegangene Schätzung nochmals in Einheiten pro Erwerbstätigen vorgenommen:<sup>19</sup>

$$(6.9) \quad \begin{aligned} \ln Y_{it} - \ln L_{it} = & \alpha_i + \beta_1 (\ln W_{it} - \ln L_{it}) + \beta_2 (\ln E_{it}^{in} - \ln L_{it}) \\ & + \beta_3 (\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it}) + \beta_4 (\ln K_{it} - \ln L_{it}) \\ & + \beta'_5 \ln L_{it} + \beta_6 (\ln Z_{it} - \ln L_{it}) + t + \mu_{it} \end{aligned}$$

Weiterhin kann mit dieser Art der Schätzung die Annahme getestet werden, ob für die geschätzte Cobb-Douglas-Produktionsfunktion konstante Skalenerträge vorliegen (vgl. Verspagen (1997a), S. 232). Dies wird dadurch möglich, dass der geschätzte Parameter  $\beta'_5$  der Summe aller Elastizitäten minus 1 entspricht.<sup>20</sup>

$$(6.10) \quad \beta'_5 = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_6 - 1)$$

Ein negativer (positiver) signifikanter Wert für  $\beta'_5$  würde somit für abnehmende (zunehmende) Skalenerträge in den Produktionsfaktoren sprechen. Ein nicht signifikant von Null verschiedener Wert für  $\beta'_5$  hingegen würde konstante Skalenerträge signalisieren.

<sup>18</sup> Die Produktionsfunktion hatte hierbei die folgende Form:  
 $Y = W^{\beta_1} (E^{in})^{\beta_2} (E^{au})^{\beta_3} K^{\beta_4} L^{\beta_5} Z^{\beta_6}$ .

<sup>19</sup> Die exakte Herleitung der Schätzgleichung befindet sich im mathematischen Anhang, S. 127.

<sup>20</sup> Vgl. Herleitung im mathematischen Anhang S. 127.

*Tabelle 6.5*  
Schätzergebnisse zur Messung von in- und ausländischen Spillover-Effekten  
in Einheiten pro Erwerbstätigen

|                      | Lag     | Variante 5            | Variante 6           | Variante 7           | Variante 8           | Grenzprod.       |
|----------------------|---------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| $\ln Y - \ln L$      |         |                       |                      |                      |                      |                  |
| $\ln W - \ln L$      | 1 Jahr  | 0,0083***<br>(0,000)  | 0,0033**<br>(0,038)  | 0,0033**<br>(0,036)  | 0,0061***<br>(0,006) | $\approx 0,3643$ |
| $\ln E^{in} - \ln L$ | 1 Jahr  |                       | 0,0460***<br>(0,000) | 0,0446***<br>(0,000) | 0,0409***<br>(0,000) | $\approx 0,0653$ |
| $\ln E^{au} - \ln L$ | 1 Jahr  |                       |                      | 0,0033<br>(0,615)    |                      |                  |
|                      | 2 Jahre |                       |                      |                      | 0,0154**<br>(0,013)  | $\approx 0,0009$ |
| $\ln K - \ln L$      | -       | 0,04498***<br>(0,000) | 0,0504***<br>(0,000) | 0,0505***<br>(0,000) | 0,0549***<br>(0,000) | $\approx 0,1329$ |
| $\ln L$              | -       | -0,0348***<br>(0,000) | -0,0024<br>(0,764)   | -0,0009<br>(0,916)   | 0,0062<br>(0,479)    |                  |
| $\ln Z - \ln L$      | -       | 0,7788***<br>(0,000)  | 0,7757***<br>(0,000) | 0,7757***<br>(0,000) | 0,7759***<br>(0,000) |                  |
| Jahr                 | -       | 0,0032***<br>(0,000)  | 0,0011***<br>(0,001) | 0,0010***<br>(0,004) | 0,0005<br>(0,181)    |                  |
| $\rho_1$             |         | 0,8947                | 0,8737               | 0,8703               | 0,8664               |                  |
| $\rho_2$             |         | -0,1447               | -0,1269              | -0,1233              | -0,1478              |                  |
| LM-Test†             |         | 4,22                  | 4,65                 | 5,28                 | 3,81                 |                  |
| adj. $R^2$ †         |         | 0,9659                | 0,9417               | 0,9436               | 0,9478               |                  |
| Obs.                 |         | 2114                  | 2114                 | 2114                 | 2008                 |                  |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten  $\alpha_i$  werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an. † $R^2$ -Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der  $R^2$ -Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467. †Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) ist 3,84 bei 5 %iger und 6,63 bei 1 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit.

Auch bei einer Schätzung in Einheiten pro Erwerbstätigen (Tabelle 6.5) ist die Variante 8, die eine der Variante 4 entsprechende Lagstruktur aufweist, aufgrund der Signifikanz *aller* F&E-Kapitalstockvariablen und der besten LM-Teststatistik den Varianten 5 bis 7 vorzuziehen. Die Lagstruktur bleibt durch die Schätzung in Einheiten pro Erwerbstätigen unberührt. Ein Vergleich der Variante 4 der vorangegangenen Schätzung und der Variante 8 zeigt, dass die Koeffizienten für den Einfluss des eigenen, des externen inländischen und des externen ausländischen F&E-Kapitalstocks nahezu gleich geblieben sind. Demgegenüber steht ein größerer Koeffizient beim Einfluss des physischen Kapitals auf die Produktion. Der Koeffizient für die Zulieferungen hat sich nur minimal verkleinert. Gleiches gilt für die mit Hilfe der Koeffizienten errechneten Grenzproduktivitäten. Die Kontrollvariable zur Überprüfung der in der Produktionsfunktion vorliegenden Skalenerträge ist nicht signifikant und signalisiert, wie oben bereits beschrieben, das Vorliegen von konstanten Skalenerträgen. Die Signifikanz aller Variablen bleibt erhalten und zeigt damit eine Robustheit gegenüber Variationen in der Spezifikation.

Die bisherigen Schätzungen haben Hinweise auf die Existenz und die Größenordnung von in- und ausländischen Spillover-Effekten geben können. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Zusammenhänge auf hochaggregiertem Niveau nachgewiesen wurden und deshalb auch nur eine begrenzte Aussagefähigkeit in Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit haben. So zeigen die Ergebnisse der Schätzungen, dass in- und ausländische externe F&E-Kapitalstöcke *im Durchschnitt* einen positiven Einfluss auf die Produktion der 12 untersuchten OECD-Länder haben und somit Spillover-Effekte vorliegen. Eine Aussage darüber, ob und in welchem Maße einzelne Länder oder gar Sektoren in den einzelnen Ländern durch Spillover-Effekte von in- und ausländischen externen F&E-Kapitalstöcken profitieren, kann mit diesen Schätzungen nicht getroffen werden.

In den Schätzungen der Varianten 4 und 8 konnte nachgewiesen werden, dass im Durchschnitt über die 12 untersuchten OECD-Länder inländische Spillover-Effekte auftreten, die sich in Form eines positiven Einflusses der inländischen externen F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion zeigen. Allerdings kann sich dieses Ergebnis bei der Betrachtung einzelner Länder anders darstellen. Dementsprechend soll das Modell der Variante 8 erweitert werden, um nun den Einfluss der inländischen externen F&E-Kapitalstöcke nach Ländern getrennt zu erfassen. Technisch bedeutet dies, dass der Parameter  $\beta_2$  aus Gleichung 6.9 nun über die Länder variieren darf. Der Ausdruck  $\beta_2(\ln E_{it}^{in} - \ln L_{it})$  in Gleichung 6.9 wird durch die folgenden 12 Summanden ersetzt:<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Vereinfacht bedeutet dies die Einführung von 12 neuen Variablen, wobei jede Variable jeweils nur für ein bestimmtes Land Werte enthält und sonst 0 ist.

$$(6.11) \quad \sum_{k=1}^{12} \beta_k (D_k (\ln E_{it}^{in} - \ln L_{it}))$$

Die Schätzungen enthüllen nun ein wesentlich differenzierteres Bild (Tabelle 6.6). So ist selbst auf einem Signifikanzniveau von 10 % bei vier Ländern kein bedeutender Einfluss der inländischen externen F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion festzustellen. Bei Dänemark, England, Finnland, Italien, Japan, Schweden und den USA ist ein positiver und signifikanter Einfluss der inländischen externen F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion und damit die Existenz von Spillover-Effekten nachweisbar. Nur bei Kanada zeigt sich ein signifikanter negativer Einfluss des inländischen externen F&E-Kapitalstocks auf die Produktion. Dies stellt ein kleines Rätsel dar. Eine mögliche Erklärung ist ein stattfindender Strukturwandel, bei dem die negativen Wirkungen der Produktionsreduktion in F&E-armen Sektoren die Produktionserhöhung in F&E-intensiven Sektoren übertrifft.

Eine kleine Überraschung stellt das Ergebnis dar, dass in fünf der 12 untersuchten OECD-Länder keine inländischen Spillover-Effekte nachgewiesen werden können. Bei genauerem Hinsehen ist dies aber weitaus weniger verwunderlich, denn in der vorgenommenen Schätzung wurden nur intersektorale Spillover-Effekte gemessen. Diese treten dann auf, wenn Wissen, welches in *anderen* Sektoren entwickelt wurde, unentgeltlich genutzt wird. Da allerdings davon ausgegangen werden kann, dass ein Großteil der relevanten Forschung im eigenen Sektor durchgeführt wird, ist die Abwesenheit von intersektoralen Spillover-Effekten in einigen Ländern plausibel.

Eine gesonderte Erfassung von ein- und ausgehenden inländischen Spillover-Effekten ist nicht nötig, da sich diese über eine Zeitperiode auf volkswirtschaftlicher Ebene ausgleichen.<sup>22</sup> Dies ist aus Sicht von Nationalstaaten bei internationalen Spillover-Effekten anders, denn hier können empfangene und ausgesendete Spillover-Effekte eine unterschiedliche Größe haben. Die Frage nach ein- und ausgehenden Spillover-Effekten muss somit notwendigerweise auf der Länderebene analysiert werden. Die Schätzung von ein- und ausgehenden Spillover-Effekten auf der Länderebene hat weiterhin den Vorteil, dass nun auch intra-sektorale Spillover-Effekte zwischen den einzelnen Ländern Berücksichtigung finden.

---

<sup>22</sup> Vgl. hierzu die Diskussion in Abschnitt 7.

Tabelle 6.6  
Einfluss inländischer Spillover-Effekte nach Ländern

| $\ln Y - \ln L$               | Lag     | Variante 9            |
|-------------------------------|---------|-----------------------|
| $\ln W - \ln L$               | 1 Jahr  | 0,0066***<br>(0,003)  |
| $D_{de}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | -0,0060<br>(0,128)    |
| $D_{ca}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | -0,0239***<br>(0,002) |
| $D_{dk}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0348***<br>(0,006)  |
| $D_{uk}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0492***<br>(0,000)  |
| $D_{fin}(\ln E^{in} - \ln L)$ | 1 Jahr  | 0,0525***<br>(0,000)  |
| $D_{fr}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0045<br>(0,605)     |
| $D_{it}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0288***<br>(0,000)  |
| $D_{jp}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0515***<br>(0,000)  |
| $D_{nl}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0108<br>(0,347)     |
| $D_{nor}(\ln E^{in} - \ln L)$ | 1 Jahr  | -0,0028<br>(0,741)    |
| $D_{sw}(\ln E^{in} - \ln L)$  | 1 Jahr  | 0,0355***<br>(0,000)  |
| $D_{usa}(\ln E^{in} - \ln L)$ | 1 Jahr  | 0,0517***<br>(0,000)  |
| $\ln E^{au} - \ln L$          | 2 Jahre | 0,0177***<br>(0,004)  |
| $\ln K - \ln L$               | –       | 0,0455***<br>(0,000)  |
| $\ln L$                       | –       | -0,0051<br>(0,559)    |
| $\ln Z - \ln L$               | –       | 0,7777***<br>(0,000)  |
| Jahr                          | –       | 0,0014***<br>(0,000)  |
| $\rho_1$                      |         | 0,8558                |
| $\rho_2$                      |         | -0,1542               |
| LM-Test‡                      |         | 3,61                  |
| adj. $R^2$ †                  |         | 0,6437                |
| Obs.                          |         | 2008                  |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten  $\alpha_i$  werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an. † $R^2$ -Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der  $R^2$ -Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467. ‡Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) ist 3,84 bei 5 %iger und 6,63 bei 1 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit.

Um ein- und ausgehende Spillover-Effekte der einzelnen Länder schätzen zu können, muss das Modell der Variante 8 erweitert werden. In einem ersten Schritt sollen daher die eingehenden ausländischen Spillover-Effekte nach Ländern getrennt erfasst werden. Technisch bedeutet dies, dass diesmal der Parameter  $\beta_3$  aus Gleichung 6.9 über die Länder variieren darf. Hierzu wird für jedes Land eine Dummyvariable eingeführt. Der Ausdruck  $\beta_3(\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it})$  in Gleichung 6.9 wird durch die folgenden 12 Summanden ersetzt:<sup>23</sup>

$$(6.12) \quad \sum_{k=1}^{12} \beta_k (D_k (\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it}))$$

Dabei stellen  $D_k$  die Länderdummies und  $\beta_k$  die über die Länder variierenden Koeffizienten dar.

Die Schätzungen zeigen nun ein differenzierteres Bild der auftretenden internationalen Spillover-Effekte. Bei fünf Ländern lassen sich keine internationalen Spillover-Effekte mehr messen. Bei den drei Ländern Frankreich, Niederlande und Norwegen ist der Einfluss der ausländischen externen F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion nicht signifikant. Bei West-Deutschland und Kanada ist der Einfluss sogar negativ. Ein negativer Zusammenhang zwischen dem ausländischen externen F&E-Kapitalstock und der Produktion kann beispielsweise durch eine im Ausland erfolgreich durchgeführte Innovation verursacht werden, die zu einer Verringerung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit und damit auch zu einer Reduktion der eigenen Produktion führt. Bei den restlichen sieben Ländern lassen sich signifikante internationale Spillover-Effekte messen. Das Ausmaß, in welchem die verschiedenen Länder in Form von Spillover-Effekten vom externen ausländischen F&E-Kapitalstock profitieren, unterscheidet sich stark. Während Japan und die USA in starkem Maße von einer Erhöhung des externen ausländischen F&E-Kapitalstocks profitieren, liegt die Grenzproduktivität bei den anderen Ländern um mindestens eine Potenz niedriger. Weiterhin zeigt sich, dass kleinere Länder eine geringere Grenzproduktivität in Bezug auf die extern im Ausland durchgeführte F&E besitzen als die großen Länder. Ein Grund hierfür könnte in unterschiedlichen Absorptionskapazitäten zwischen kleinen und großen Ländern liegen. So besitzen die USA auf dem hier untersuchten Aggregationsniveau in allen Sektoren eine größere F&E-Kapazität als Dänemark und werden deshalb auch mehr Spillover-Effekte auffangen können als Dänemark.

---

<sup>23</sup> Vereinfacht bedeutet dies die Einführung von 12 neuen Variablen, wobei jede Variable jeweils nur für ein bestimmtes Land Werte enthält und sonst 0 ist.

*Tabelle 6.7*  
**Geschätzte eingehende internationale Spillover-Effekte  
nach Ländern**

| $\ln Y - \ln L$               | <b>Lag</b> | <b>Variante 10</b>    | <b>Grenzprod.</b> |
|-------------------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| $\ln W - \ln L$               | 1 Jahr     | 0,0075***<br>(0,001)  | $\approx 0,4460$  |
| $\ln E^{in} - \ln L$          | 1 Jahr     | 0,0153**<br>(0,049)   | $\approx 0,0232$  |
| $D_{de}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | -0,0063**<br>(0,025)  | $\approx -0,0006$ |
| $D_{ca}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | -0,0300***<br>(0,000) | $\approx -0,0039$ |
| $D_{dk}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0323**<br>(0,013)   | $\approx 0,0001$  |
| $D_{uk}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0453***<br>(0,000)  | $\approx 0,0027$  |
| $D_{fin}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | 0,0681***<br>(0,000)  | $\approx 0,0006$  |
| $D_{fr}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0031<br>(0,668)     |                   |
| $D_{it}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0344***<br>(0,000)  | $\approx 0,0023$  |
| $D_{jp}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0985***<br>(0,000)  | $\approx 0,0271$  |
| $D_{nl}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0105<br>(0,186)     |                   |
| $D_{nor}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | 0,0001<br>(0,987)     |                   |
| $D_{sw}(\ln E^{au} - \ln L)$  | 2 Jahre    | 0,0389***<br>(0,000)  | $\approx 0,0006$  |
| $D_{usa}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | 0,0435***<br>(0,000)  | $\approx 0,0195$  |
| $\ln K - \ln L$               | –          | 0,0491***<br>(0,000)  | $\approx 0,1181$  |
| $\ln L$                       | –          | -0,0035<br>(0,700)    |                   |
| $\ln Z - \ln L$               | –          | 0,7780***<br>(0,000)  |                   |
| Jahr                          | –          | 0,0014***<br>(0,000)  |                   |
| $\rho_1$                      |            | 0,8621                |                   |
| $\rho_2$                      |            | -0,1621               |                   |
| LM-Test‡                      |            | 3,21                  |                   |
| adj. $R^2$ †                  |            | 0,5203                |                   |
| Obs.                          |            | 2008                  |                   |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten  $\alpha_i$  werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an. † $R^2$ -Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der  $R^2$ -Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467. ‡Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) ist 3,84 bei 5 %iger und 6,63 bei 1 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit.

Nachdem die Schätzungen die intuitiven Erwartungen, dass große Länder mit großen F&E-Kapazitäten externes ausländisches Wissen stärker nutzen als kleine Länder, bestätigen, ist noch die Frage nach den ausgesendeten Spillover-Effekten offen. Denn dieselbe Intuition würde nun zu der Schlussfolgerung führen, dass im Zuge größerer F&E-Aktivitäten im Durchschnitt auch mehr Spillover-Effekte ausgesendet werden als bei einem kleinen F&E-Aktivitätsniveau. Untersuchungen von ausgesendeten Spillover-Effekten sind dem Autor nur aus einer Arbeit von Bönte (1996) bekannt. Wie der Literaturüberblick in Kapitel 4.3 gezeigt hat, wird diese Frage in der englischsprachigen Literatur nicht behandelt.

Um die ins Ausland gesendeten Spillover-Effekte der einzelnen Länder messen zu können, muss der externe ausländische F&E-Kapitalstock in seine nach Ländern getrennten Komponenten aufgeteilt werden. Hierfür wurden 12 neue Variablen konstruiert, die jeweils aus dem gesamten F&E-Kapitalstock des Verarbeitenden Gewerbes eines Landes bestehen. Die Variablen wurden gemäß folgender Formel berechnet:

$$(6.13) \quad E_{it}^k = (1 - D_k) \sum_{s=1}^9 W_{st}^k$$

Hierbei sind  $i, k, s, t$  Indizes für die Gruppen, Länder, Sektoren und die Zeit. In der Schätzgleichung 6.9 wird der Ausdruck  $\beta_3(\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it})$  durch die folgenden 12 Summanden ersetzt:

$$(6.14) \quad \sum_{k=1}^{12} \beta_k (\ln E_{it}^k - \ln L_{it})$$

Dabei stellt  $E^k$  den gesamten F&E-Kapitalstock des Verarbeitenden Gewerbes des Landes  $k$  dar und  $\beta_k$  hier wiederum der über die Länder variierende Koeffizient ist. Die neue Schätzung erlaubt nun eine Aussage darüber, wie der F&E-Kapitalstock eines einzelnen Landes im Durchschnitt auf die Bruttonproduktion der restlichen 11 untersuchten OECD-Länder wirkt.

Auch aus dieser Schätzung (Tabelle 6.8) ergibt sich ein differenziertes Bild der gesendeten Spillover-Effekte. Bei vier Ländern (Dänemark, Japan, Niederlande, Schweden) ist der Einfluss des eigenen F&E-Kapitalstocks auf die Produktion der restlichen 11 untersuchten OECD-Länder nicht signifikant. Es zeigt sich aber auch, dass sowohl positive als auch negative Einflüsse auf die Produktion der anderen OECD-Länder feststellbar sind.

*Tabelle 6.8*  
**Geschätzte ausgesendete internationale Spillover-Effekte  
nach Ländern**

| $\ln Y - \ln L$       | Lag     | Variante 11           | Grenzprod.        |
|-----------------------|---------|-----------------------|-------------------|
| $\ln W - \ln L$       | 1 Jahr  | 0,0092***<br>(0,000)  | $\approx 0,5471$  |
| $\ln E^{in} - \ln L$  | 1 Jahr  | 0,0388***<br>(0,000)  | $\approx 0,0588$  |
| $\ln E^{de} - \ln L$  | 2 Jahre | 0,0183***<br>(0,007)  | $\approx 0,0060$  |
| $\ln E^{ca} - \ln L$  | 2 Jahre | 0,0412***<br>(0,000)  | $\approx 0,1196$  |
| $\ln E^{dk} - \ln L$  | 2 Jahre | -0,0042<br>(0,669)    |                   |
| $\ln E^{uk} - \ln L$  | 2 Jahre | -0,0380***<br>(0,000) | $\approx -0,0298$ |
| $\ln E^{fin} - \ln L$ | 2 Jahre | -0,0179***<br>(0,000) | $\approx -0,2211$ |
| $\ln E^{fr} - \ln L$  | 2 Jahre | 0,0305***<br>(0,000)  | $\approx 0,0189$  |
| $\ln E^{it} - \ln L$  | 2 Jahre | 0,0088*<br>(0,082)    | $\approx 0,0145$  |
| $\ln E^{jp} - \ln L$  | 2 Jahre | -0,0074<br>(0,329)    |                   |
| $\ln E^{nl} - \ln L$  | 2 Jahre | 0,0010<br>(0,897)     |                   |
| $\ln E^{nor} - \ln L$ | 2 Jahre | 0,0307***<br>(0,000)  | $\approx 0,4742$  |
| $\ln E^{sw} - \ln L$  | 2 Jahre | -0,0008<br>(0,891)    |                   |
| $\ln E^{usa} - \ln L$ | 2 Jahre | -0,0370***<br>(0,000) | $\approx -0,0030$ |
| $\ln K - \ln L$       | –       | 0,0569***<br>(0,000)  | $\approx 0,1369$  |
| $\ln L$               | –       | 0,0136<br>(0,155)     |                   |
| $\ln Z - \ln L$       | –       | 0,7736***<br>(0,000)  |                   |
| Jahr                  | –       | 0,0002<br>(0,751)     |                   |
| $\rho_1$              |         | 0,8480                |                   |
| $\rho_2$              |         | -0,1570               |                   |
| LM-Test‡              |         | 4,67                  |                   |
| adj. $R^2$ †          |         | 0,5367                |                   |
| Obs.                  |         | 1947                  |                   |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten  $\alpha_i$  werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an. †  $R^2$ -Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der  $R^2$ -Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467. ‡Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) ist 3,84 bei 5 %iger und 6,63 bei 1 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit.

So lässt sich bei den USA, England und Finnland ein signifikanter negativer Einfluss ihrer F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion der jeweils restlichen 11 OECD-Länder identifizieren. Da in den vorangegangenen Schätzungen nachgewiesen wurde, dass der eigene F&E-Kapitalstock zu einer Erhöhung der eigenen Produktion führt, kann das negative Vorzeichen der geschätzten Koeffizienten nur als eine Ausdehnung der eigenen Produktion zu Lasten der jeweils restlichen 11 OECD-Länder interpretiert werden. Somit scheint bei den oben genannten drei Ländern eine Erhöhung des eigenen F&E-Kapitalstocks zu einer Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit zu führen. Die USA, England und Finnland senden somit im Durchschnitt der betrachteten Sektoren keine internationalen Spillover-Effekte aus. Schlussendlich gehen damit von insgesamt sieben der 12 untersuchten OECD-Länder keine Spillover-Effekte aus.

Auf der anderen Seite stehen die Länder West-Deutschland, Kanada, Frankreich, Italien und Norwegen, bei denen eine Vergrößerung ihres F&E-Kapitalstocks zu einer Erhöhung der Produktion der restlichen 11 OECD-Länder führt. Sie senden somit internationale Spillover-Effekte in signifikantem Maße aus.

Ein weiterer interessanter Aspekt der Schätzung ist, dass im Gegensatz zur vorangegangenen Schätzung die Grenzproduktivität der F&E-Kapitalstöcke der kleinen Länder in der Regel erheblich über denen der großen Länder liegt. Einzige Ausnahme ist hierbei Kanada. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen ist, dass in großen Ländern die Mehrheit der Unternehmen hauptsächlich mit inländischen Wettbewerbern konkurrieren und somit die Verbesserung der Wettbewerbsposition eines Unternehmens auf Kosten der inländischen Konkurrenz geht, womit nur eine inländische Produktionsverschiebung verbunden ist. F&E-intensive Unternehmen in kleinen Ländern hingegen stehen in der Regel mit internationalen Wettbewerbern in Konkurrenz. Somit führt eine Verbesserung ihrer Wettbewerbsposition zu einer Verringerung der Produktion im Ausland.

## 6.4 Exkurs: Internationale Spillover-Effekte einzelner Sektoren

Im Mittelpunkt der bisherigen Untersuchung stand der Einfluss von Spillover-Effekten zwischen und innerhalb einzelner Länder. In diesem Exkurs soll die Diskussion nun noch um eine funktionale Dimension erweitert werden. Denn während die bisherige Untersuchung mehr von nationalem Interesse war, stellt sich auf der anderen Seite die Frage, ob beispielsweise einzelne Sektoren in besonderem Maße Spillover-Effekte aussenden oder empfangen.

Die Vorgehensweise entspricht hierbei der bei den Varianten 10 und 11. In einem ersten Schritt werden auch hier die empfangenen Spillover-Effekte geschätzt. Hierzu wird wiederum eine Dummyvariable, diesmal aber für die neun Sektoren eingeführt, die es erlaubt, den Einfluss des ausländischen externen F&E-Kapitalstocks auf die neun untersuchten Sektoren getrennt zu erfassen (Variante 12). Auch an dieser Stelle wird Gleichung 6.9 modifiziert und dabei der Ausdruck  $\beta_3(\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it})$  in Gleichung 6.9 durch folgende 9 Summanden ersetzt:<sup>24</sup>

$$(6.15) \quad \sum_{s=1}^9 \beta_s (D_s (\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it}))$$

$D_s$  sind die Sektordummies und  $\beta_s$  die entsprechenden Koeffizienten. Die Schätzungen zeigen, dass bei sechs der neun Sektoren (31 (Ernährungsgewerbe, Getränkeherstellung und Tabakverarbeitung), 32 (Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerbe), 33 (Holzgewerbe (einschließlich Herstellung von Möbeln)), 34 (Papier-, Verlags- und Druckgewerbe), 35 (Chemische Industrie, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, (einschließlich Chemische-, Petroleum-, Kohleprodukte)) und 37 (Metallerzeugung und -bearbeitung)) ein signifikanter Einfluss der externen ausländischen F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion der betrachteten Sektoren festzustellen ist. Nur drei davon, 34 (Papier-, Verlags- und Druckgewerbe), 35 (Chemische Industrie, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, (einschließlich Chemische-, Petroleum-, Kohleprodukte)) und 37 (Metallerzeugung und -bearbeitung), profitieren vom internationalen F&E-Kapitalstock, sprich, haben ein positives Vorzeichen bei den geschätzten Koeffizienten. Die Sektoren 31 (Ernährungsgewerbe, Getränkeherstellung und Tabakverarbeitung), 32 (Textil-, Bekleidungs- und Ledergewerbe) und 33 (Holzgewerbe (einschließlich Herstellung von Möbeln)) weisen ein negatives Vorzeichen bei den geschätzten Koeffizienten auf, d. h. sie reagieren mit einer Senkung ihrer Produktion, wenn sich der internationale F&E-Kapitalstock erhöht. Bei den restlichen Sektoren lässt sich kein signifikanter Einfluss des internationalen F&E-Kapitalstocks auf die Produktion feststellen. Die Interpretation der Koeffizienten ist an dieser Stelle allerdings nicht so einfach wie im „Länderfall“, da sich in den Schätzungen auch der Strukturwandel niederschlägt. So geht ein Strukturwandel in Richtung F&E-intensiver Sektoren in der Regel mit dem Niedergang F&E-armen und arbeitsintensiver Sektoren einher. Dies würde die negativen Vorzeichen der

---

<sup>24</sup> Vereinfacht bedeutet dies die Einführung von 9 neuen Variablen, wobei jede Variable jeweils nur für einen bestimmten Sektor Werte enthält und sonst 0 ist.

Sektoren 31, 32 und 33 erklären. Es bleibt festzuhalten, dass nur drei der neun Sektoren internationale Spillover-Effekte empfangen.

Auch bei der Ermittlung der gesendeten Spillover-Effekte wird wie schon oben bei Variante 11 verfahren. So wird der externe ausländische F&E-Kapitalstock den Beiträgen der einzelnen Sektoren nach aufgespalten, so dass für jeden Sektor ein F&E-Kapitalstock über alle untersuchten OECD-Länder konstruiert wird (Variante 13).<sup>25</sup> Es wird somit untersucht, welchen durchschnittlichen Einfluss die F&E in einem Sektor auf die Produktion der anderen 8 Sektoren in den untersuchten OECD-Ländern hat. Auch hier wird wieder der Ausdruck  $\beta_3(\ln E_{it}^{au} - \ln L_{it})$  in Gleichung 6.9 durch 9 Summanden ersetzt:

$$(6.16) \quad \sum_{s=1}^9 \beta_s (\ln E_{it}^s - \ln L_{it})$$

Die Schätzungen zeigen, dass für sechs Sektoren, 31 (Ernährungsgewerbe, Getränkeherstellung und Tabakverarbeitung), 32 (Textil-, Bekleidungs- und Ledergerwerbe), 34 (Papier-, Verlags- und Druckgewerbe), 36 (Herstellung von Nichtmetallurgischen Mineralprodukten (ohne Herstellung von Petroleum und Kohleprodukten)), 37 (Metallerzeugung und -bearbeitung) und 39 (Andere Gewerbe), ein signifikanter Einfluss des sektoralen externen ausländischen F&E-Kapitalstocks auf die Produktion nachgewiesen werden kann. Von diesen sechs Sektoren sind die Koeffizienten der Sektoren 31 und 39 negativ. Eine plausible Erklärung dieser negativen Koeffizienten ist in Anbetracht, dass es sich bei den Sektoren 31 und 39 um F&E-arme Sektoren handelt, offen. Für die restlichen drei Sektoren ist der Einfluss des sektorspezifischen F&E-Kapitalstocks auf die Produktion der untersuchten OECD-Länder nicht signifikant. Somit senden vier der neun Sektoren signifikante internationale Spillover-Effekte aus.

---

<sup>25</sup> Die entsprechende Formel wäre hierbei:  $E_{it}^s = \sum_{k=1}^{12} W_{kt}^s$  mit  $k \neq l$ .

*Tabelle 6.9*  
**Einfluss empfangener internationaler Spillover-Effekte  
nach Sektoren**

| $\ln Y - \ln L$              | <b>Lag</b> | <b>Variante 12</b>   |
|------------------------------|------------|----------------------|
| $\ln W - \ln L$              | 1 Jahr     | 0,0069***<br>(0,001) |
| $\ln E^{in} - \ln L$         | 1 Jahr     | 0,0497***<br>(0,000) |
| $D_{31}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | -0,0090*<br>(0,055)  |
| $D_{32}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | -0,0103*<br>(0,054)  |
| $D_{33}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | -0,0098*<br>(0,055)  |
| $D_{34}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | 0,0216**<br>(0,013)  |
| $D_{35}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | 0,0965***<br>(0,000) |
| $D_{36}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | -0,0037<br>(0,629)   |
| $D_{37}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | 0,0621***<br>(0,000) |
| $D_{38}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | -0,0049<br>(0,162)   |
| $D_{39}(\ln E^{au} - \ln L)$ | 2 Jahre    | -0,0037<br>(0,253)   |
| $\ln K - \ln L$              | –          | 0,0557***<br>(0,000) |
| $\ln L$                      | –          | 0,0042<br>(0,628)    |
| $\ln Z - \ln L$              | –          | 0,7729***<br>(0,000) |
| Jahr                         | –          | 0,0003<br>(0,372)    |
| $\rho_1$                     |            | 0,8529               |
| $\rho_2$                     |            | -0,1737              |
| LM-Test‡                     |            | 2,20                 |
| adj. $R^2$ †                 |            | 0,6997               |
| Obs.                         |            | 2008                 |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten  $\alpha_i$  werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an. †  $R^2$ -Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der  $R^2$ -Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467. ‡Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) ist 3,84 bei 5 %iger und 6,63 bei 1 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit.

Tabelle 6.10  
Einfluss gesendeter internationaler Spillover-Effekte  
nach Sektoren

| $\ln Y - \ln L$      | Lag     | Variante 13           |
|----------------------|---------|-----------------------|
| $\ln W - \ln L$      | 1 Jahr  | 0,0058**<br>(0,012)   |
| $\ln E^{in} - \ln L$ | 1 Jahr  | 0,0441***<br>(0,000)  |
| $\ln E^{31} - \ln L$ | 2 Jahre | -0,1111***<br>(0,000) |
| $\ln E^{32} - \ln L$ | 2 Jahre | 0,0542***<br>(0,001)  |
| $\ln E^{33} - \ln L$ | 2 Jahre | 0,0072<br>(0,536)     |
| $\ln E^{34} - \ln L$ | 2 Jahre | 0,0373***<br>(0,009)  |
| $\ln E^{35} - \ln L$ | 2 Jahre | -0,0068<br>(0,665)    |
| $\ln E^{36} - \ln L$ | 2 Jahre | 0,0297**<br>(0,024)   |
| $\ln E^{37} - \ln L$ | 2 Jahre | 0,0383***<br>(0,005)  |
| $\ln E^{38} - \ln L$ | 2 Jahre | -0,0163<br>(0,236)    |
| $\ln E^{39} - \ln L$ | 2 Jahre | -0,0311*<br>(0,067)   |
| $\ln K - \ln L$      | –       | 0,0583***<br>(0,000)  |
| $\ln L$              | –       | 0,0085<br>(0,337)     |
| $\ln Z - \ln L$      | –       | 0,7770***<br>(0,000)  |
| Jahr                 | –       | 0,0011***<br>(0,002)  |
| $\rho_1$             |         | 0,8416                |
| $\rho_2$             |         | -0,1183               |
| LM-Test              |         | 5,02                  |
| $R^2 \uparrow$       |         | 0,9431                |
| Obs.                 |         | 2008                  |

*Bemerkung:* Die p-Werte in Klammern. Die gruppenspezifischen Konstanten  $\alpha_i$  werden nicht ausgewiesen. \*\*\*, \*\*, \* zeigen Signifikanz auf 1 %, 5 % und 10 % Niveau an.  $\uparrow R^2$ -Werte für das untransformierte Modell, da der Aussagegehalt der  $R^2$ -Werte der transformierten Modelle gering ist. Vgl. Greene (2000), S. 467.  $\uparrow$ Kritischer Wert für das Auftreten eines Typ-I-Fehlers (unberechtigte Ablehnung) ist 3,84 bei 5 %iger und 6,63 bei 1 %iger Fehlerwahrscheinlichkeit.

## 6.5 Zusammenfassung

Die auf der Basis des neuen Verfahrens durchgeführten Schätzungen führen zu robusten und plausiblen Ergebnissen. Die hoch aggregierten Schätzungen (Varianten 1-8) weisen intuitiv erwartete Ergebnisse auf, die auch in der Größenordnung plausibel sind. So zeigte sich bei den ermittelten Grenzproduktivitäten, dass die Effizienz von eigener F&E über inländische Spillover-Effekte hin zu ausländischen Spillover-Effekten abnahm. Die Ertragsrate der eigenen F&E lag erwartungsgemäß erheblich über denen der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital.

Erste Besonderheiten zeigten sich bei den Schätzungen, die den Einfluss von Spillover-Effekten nach Ländern getrennt ermitteln. Entgegen herkömmlichen Studien konnte festgestellt werden, dass nicht nur Größenunterschiede, sondern auch unterschiedliche Wirkungsrichtungen der Einflüsse von in- und ausländischen externen F&E-Kapitalstöcken auf die Produktion der 12 untersuchten OECD-Länder vorliegen. Außerdem konnten bei fünf der untersuchten Länder keine inländischen Spillover-Effekte nachgewiesen werden.

Bei den internationalen Spillover-Effekten ergaben die Schätzungen, dass sieben der 12 untersuchten OECD-Länder von internationalen Spillover-Effekten profitieren (Variante 10). Weiterhin zeigte die getrennte Schätzung der ausgesendeten Spillover-Effekte, dass nur fünf der 12 untersuchten OECD-Länder signifikante internationale Spillover-Effekte aussenden (Variante 11). Die aussendenden Staaten sind – bis auf einen Fall (Italien) – aber nicht identisch mit den Staaten, die die internationalen Spillover-Effekte empfangen. Werden die Ergebnisse der Schätzungen der empfangenen in- und ausländischen Spillover-Effekte verglichen (Variante 9 und 10), so zeigt sich, dass Länder, in denen inländische Spillover-Effekte auftreten, auch internationale Spillover-Effekte auffangen. Die Länder, bei denen keine Spillover-Effekte im Inland nachgewiesen werden konnten, empfangen auch keine internationalen Spillover-Effekte. Über die Gründe kann an dieser Stelle nur spekuliert werden. Mögliche Erklärungen können in unterschiedlichen Innovationssystemen oder unterschiedlichen Patentgesetzen liegen.

Ein weiteres interessantes Ergebnis des Vergleichs von empfangenen und ausgesendeten internationalen Spillover-Effekten ist der Umstand, dass sich die Grenzproduktivität zwischen großen und kleinen Ländern unterscheidet. Kleinere Länder profitieren weniger von internationalen F&E-Kapitalstock, ihre F&E-Kapitalstöcke haben aber eine große Bedeutung für die restlichen OECD-Länder. Weiterhin bringt ein Vergleich der empfangenen und ausgesendeten internationalen Spillover-Effekte Interessan-

tes in Bezug auf die technologische Bedeutung einzelner Länder für die restlichen OECD-Länder hervor. Überraschend ist beispielsweise, dass die USA zwar vom externen ausländischen F&E-Kapitalstock in Form von Spillover-Effekten profitieren, die restlichen 11 OECD-Länder aber nicht in der Lage sind, in gleicher Weise den F&E-Kapitalstock der Amerikaner zu nutzen. Derselbe Umstand trifft für England und Finnland zu.

Welche wirtschaftspolitischen Implikationen aus den Ergebnissen gezogen werden können (und welche nicht), diskutiert das folgende Kapitel.

## **7 Spillover-Effekte als Begründung von Staatseingriffen?**

Auf der Basis der theoretischen Überlegungen in Kapitel 2 und 3 und der empirischen Messung von Spillover-Effekten in Kapitel 6 soll nun diskutiert werden, ob für die untersuchten Staaten die Notwendigkeit eines durch Spillover-Effekte verursachten Staatseingriffes abgeleitet werden kann. Eine Analyse verschiedener wirtschaftspolitischer Instrumente wird nicht vorgenommen, da deren Diskussion den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.<sup>1</sup> Das vorliegende Kapitel wird sich daher ausschließlich der Frage widmen, ob aus der vorgenommenen empirischen Analyse die Frage nach einem Marktversagen beantwortet werden kann.

### **7.1 Zielsetzung wirtschaftspolitischer Maßnahmen bei Vorliegen von Spillover-Effekten**

Das Ziel staatlicher Intervention bei Vorliegen eines durch Spillover-Effekte verursachten Marktversagens ist die Erhöhung der Wohlfahrt einer Volkswirtschaft.<sup>2</sup> Die Behebung eines Marktversagens an sich hat ohne den Wohlfahrtsaspekt keine ökonomische Bedeutung. Somit ist aber auch klar, dass sich mehrere in Bezug auf die Wohlfahrt ausgleichende Marktversagen keine Staatsintervention nach sich ziehen sollten. Die vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, dass auch nicht von vornherein klar ist, ob überhaupt ein Marktversagen vorliegt, und wenn ja, um welche Form es sich handelt. Denn im Gegensatz zu den Aussagen der Wachstumsmodelle zunehmender Produktvielfalt kann es in den Modellen zunehmender Produktqualität auch zu „exzessivem“ Wachstum kommen. Auch in diesem Falle müsste der Staat eingreifen, allerdings mit einer F&E-senkenden Intervention. Dieser Fall wird in der wirtschaftspolitischen Diskussion allerdings i. d. R. nicht berücksichtigt.

Die Diskussion in Kapitel 3 hat weiterhin verdeutlicht, dass für eine solide ökonomische Begründung von Staatseingriffen aufgrund von Spillover-

---

<sup>1</sup> Vgl. für eine Diskussion verschiedener wirtschaftspolitischer Instrumente Aghion/Howitt (1998), Kapitel 14.

<sup>2</sup> Einen historischen Überblick über Trends der staatlichen Förderung von F&E seit dem 2. Weltkrieg geben Freeman/Soete (1997), Kapitel 16.

Effekten im Bereich der angewandten F&E zuerst ein Vorliegen von Marktversagen *empirisch* nachgewiesen werden muss.

Für den empirischen Nachweis ist es notwendig, eine exakte Abgrenzung des Bereiches, der auf ein Marktversagen hin untersucht werden soll, vorzunehmen. Spillover-Effekte entfalten multidimensionale Wirkungen, die bei einer empirischen Analyse in räumlicher, zeitlicher, sektoraler und funktionaler Dimension eingegrenzt werden müssen. So ist in der *räumlichen Dimension* festzulegen, ob die Auswirkungen von Spillover-Effekten beispielsweise auf die Unternehmen im Großraum Frankfurt, in Brandenburg oder in Deutschland betrachtet werden sollen.

Bei der Festlegung der *zeitlichen Dimension* ist die Frage zu beantworten, über welchen Zeithorizont die aufgetretenen Spillover-Effekte berücksichtigt werden sollen. Bei intertemporalen Spillover-Effekten können Marktversagen in einzelnen Perioden vorliegen. Wird hingegen ein längerer Zeitraum betrachtet, so können sich diese möglicherweise ausgleichen. Ein Beispiel für einen solchen Prozess sind ausländische Direktinvestitionen, bei denen i. d. R. zuerst das investierende Unternehmen mehr Spillover-Effekte ausstrahlt, als es empfängt. Im Zuge des Aufbaus lokaler Produktions- und Innovationsnetzwerke kann sich aber der bilanzierte Strom von Spillover-Effekten umkehren. Ein konkretes Beispiel stellen die IT-Branchen der asiatischen Tigerstaaten dar. Diese profitierten anfänglich von den Spillover-Effekten japanischer und amerikanischer Direktinvestitionen, haben sich aber heute in einigen Bereichen zu Technologieführern entwickelt und senden heute ihrerseits Spillover-Effekte an die japanischen und amerikanischen IT-Sektoren.

Bei der *sektoralen Dimension* muss festgelegt werden, für welche Gruppe von Unternehmen ein möglicherweise vorliegendes Marktversagen untersucht werden soll. Dies umfasst auch die Festlegung des Aggregationsniveaus. So können beispielsweise Marktversagen auf der Unternehmensebene vorliegen, diese können sich aber auf der Sektorebene ausgleichen. Eine letzte Möglichkeit Marktversagen zu untersuchen, ist eine *funktionale Einteilung*. Hierbei wäre die Untersuchungsdimension beispielsweise entlang der Wertschöpfungskette denkbar. Die Fragestellung könnte hierbei lauten: Gibt es ein Marktversagen bei Zulieferern? Die im vorangegangenen Kapitel diskutierten TNMs sind ein Beispiel für eine solche funktionale Festlegung. Die verwendete TNM legt implizit fest, welches Marktversagen gemessen wird (vgl. Mohnen (1996), S. 4-5). Bei der Verwendung von Importgewichten beispielsweise das Marktversagen bei Im- und Exporteuren. Alle genannten Dimensionen treten kombiniert auf und werden letzten Endes durch die wirtschaftspolitische Fragestellung festgelegt. An dieser Stelle wird aber nochmals klar, dass die Frage nach einer Staats-

intervention nicht allein auf der Basis von theoretischen Überlegungen zu beantworten ist.

## 7.2 Empirische Evidenz für das Vorliegen von Marktversagen durch Spillover-Effekte

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht die Analyse der Auswirkungen von Spillover-Effekten auf das gesamtwirtschaftliche Wirtschaftswachstum. Die Schätzungen in Kapitel 6 konzentrierten sich deshalb auf die auf dem gesamtwirtschaftlichen Niveau auftretenden Spillover-Effekte.

Wie die Ausführungen im vorangegangenen Abschnitt gezeigt haben, ist die Aussagekraft der durchgeführten Schätzungen auf diesen Sachverhalt begrenzt. Die Schätzungen können deshalb keine Auskunft darüber geben, ob auf der Unternehmensebene oder auf sektoraler Ebene ein Marktversagen vorliegt. Im Zuge der Operationalisierung wurde durch die Wahl der Daten implizit eine Festlegung der sektoralen und räumlichen Dimension vorgenommen. So wurden in den Schätzungen ausschließlich Daten des Verarbeitenden Gewerbes in 12 OECD-Ländern verwendet. Aus diesem Grunde können nur Aussagen über ein Marktversagen im Verarbeitenden Gewerbe in den untersuchten OECD-Ländern gemacht werden. Auch die zeitliche Dimension wurde im Rahmen der Operationalisierung festgelegt. Da bei den Schätzungen Jahresdaten verwendet wurden, beziehen sich die Ergebnisse auf die durchschnittlich in einem Jahr auftretenden Spillover-Effekte. Sie geben keine Auskunft darüber, ob sich die Spillover-Effekte über mehrere Jahre hinweg ausgleichen.

Welche Aussagen lassen sich nun auf der Basis der in Kapitel 6 durchgeführten Schätzungen treffen? Werden die inländischen Spillover-Effekte betrachtet, so zeigt sich im Durchschnitt über alle untersuchten Länder, dass Spillover-Effekte existieren und einen positiven Einfluss auf die Produktion haben. Dieses Bild wandelt sich aber, wenn die inländischen Spillover-Effekte nicht mehr im Durchschnitt über alle untersuchten Länder, sondern für jedes Land getrennt betrachtet werden. Tabelle 7.1 stellt die Ergebnisse der Schätzung nochmals systematisch zusammen.

Bei fünf der zwölf untersuchten OECD-Länder konnten keine signifikanten inländischen Spillover-Effekte gemessen werden (West-Deutschland, Kanada, Frankreich, Niederlande, Norwegen). Für die restlichen sieben Länder wurden signifikante Spillover-Effekte festgestellt. Welche vorläufigen Schlussfolgerungen können nun aus diesen Ergebnissen abgeleitet werden? Zuerst kann festgehalten werden, dass für die fünf Länder, bei denen keine Spillover-Effekte vorliegen, davon ausgegangen werden kann, dass das

gesamtwirtschaftliche Wirtschaftswachstum nicht durch Spillover-Effekte vom sozial optimalen abweicht.

Tabelle 7.1  
Wirkungsanalyse der geschätzten inländischen Spillover-Effekte

| Länder           | Vorzeichen der Koeffizienten<br>in Variante 9 |
|------------------|-----------------------------------------------|
| West-Deutschland | n. s. (0)                                     |
| Kanada           | neg.                                          |
| Dänemark         | pos.                                          |
| England          | pos.                                          |
| Finnland         | pos.                                          |
| Frankreich       | n. s. (0)                                     |
| Italien          | pos.                                          |
| Japan            | pos.                                          |
| Niederlande      | n. s. (0)                                     |
| Norwegen         | n. s. (0)                                     |
| Schweden         | pos.                                          |
| USA              | pos.                                          |

Bemerkung: n. s. steht für „nicht signifikant“ auf 10 % Signifikanzniveau.

Auch für die Gruppe von Ländern, bei denen Spillover-Effekte festgestellt wurden, lässt sich eine vorläufige Aussage in Bezug auf den Einfluss der inländischen Spillover-Effekte auf die sozial optimale Wachstumsrate treffen. Allerdings ist hier die Argumentation etwas komplizierter. Im Rahmen des bei den Schätzungen angewendeten erweiterten Produktionsfunktionsansatzes wurden die Produktionselastizitäten der einzelnen Inputfaktoren ermittelt. Als Produktionsfunktion wurde eine homogene Cobb-Douglas-Produktionsfunktion verwendet. Unter den Annahmen der neoklassischen Verteilungstheorie besitzt diese die Eigenschaft, dass bei konstanten Skalenerträgen die Produktionselastizität des Inputs  $i$  gleich dessen theoretischem Einkommensanteil am Gesamtproduktionswert ist (vgl. Tietze (1996), S. 7-38). Die Schätzungen belegten für alle Varianten, dass konstante Skalenerträge vorliegen.<sup>3</sup> Dementsprechend geben die ermittelten Elastizitäten auch den theoretisch zu zahlenden Einkommensanteil der im Inland empfangenen Spillover-Effekte an. Wichtig ist hierbei, dass es sich bei diesen Spillover-Effekten nur um von inländischen Unternehmen empfangene handelt, die von inländischen Unternehmen ausgesendet wurden. Der theoretische Einkommensanteil entspricht somit dem Wert, den das aussendende Unternehmen im Inland hätte internalisieren können. Folglich gibt der Einkommensanteil den Wert der empfangenen und damit auch den der ausgesendeten Spillover-Effekte wieder.

Im Ergebnis ist die Summe der Werte der von inländischen Unternehmen zum Zeitpunkt  $t$  empfangenen Spillover-Effekte inländischer Unter-

<sup>3</sup> Vgl. hierzu die Ausführungen auf Seite 94.

nehmen gleich der Summe der Werte der von inländischen Unternehmen an inländische Unternehmen ausgesendeten Spillover-Effekten zum Zeitpunkt  $t$ .

Für den hier gemessenen Umstand ist damit auf dem gesamtwirtschaftlichen Aggregationsniveau von keinen wohlfahrtsverzerrenden Wirkungen auszugehen. Aus den inländischen Spillover-Effekten können allerdings eine Reihe anderer Schlussfolgerungen gezogen werden. Das Vorliegen von Spillover-Effekten spricht dafür, dass auf einem niedrigeren Aggregationsniveau, beispielsweise auf der sektoralen Ebene, ein Marktversagen vorliegen kann. Weiterhin haben die Spillover-Effekte damit auch die Allokation von Ressourcen und somit die Wirtschaftsstruktur beeinflusst und verändert.

Die bisher durchgeführte Analyse von zwischen inländischen Unternehmen auftretenden Spillover-Effekten ist allerdings nicht ausreichend, um zu einer abschließenden Aussage über eine notwendige Intervention des Staates im Bereich der angewandten Forschung zu kommen. Wissensdiffusion findet nicht nur innerhalb, sondern auch zwischen Ländern statt. Aus diesem Grunde kann auch ein Marktversagen durch internationale Spillover-Effekte verursacht sein. In Kapitel 6 wurden deshalb auch die internationalen Spillover-Effekte geschätzt. Hierbei ist zu beachten, dass aus Sicht der Nationalstaaten die empfangenen und die gesendeten Spillover-Effekte auseinander fallen und somit einen Einfluss auf das Wirtschaftswachstum haben können. Dementsprechend wurden im Rahmen der Schätzvariante 10 die aus dem Ausland empfangenen Spillover-Effekte und in Schätzvariante 11 die ins Ausland gesendeten Spillover-Effekte ermittelt.

Leider lassen sich die Ergebnisse nicht im Sinne einer Bilanzierung miteinander verbinden, da bei Schätzung der Variante 10 der Einfluss externer ausländischer F&E-Kapitalstöcke auf die Produktion eines einzelnen Landes ermittelt wurde, wohingegen bei der Schätzung der Variante 11 der Einfluss der eigenen F&E-Ausgaben auf die Produktion der restlichen 11 untersuchten OECD-Länder geschätzt wurde. Allerdings kann eine Analyse der Richtung der Wirkungszusammenhänge durchgeführt werden. Hierbei wird auf den Umstand zurückgegriffen, dass empfangene Spillover-Effekte die private Ertragsrate erhöhen, wohingegen ausgesendete Spillover-Effekte zu einem Auseinanderfallen von privater und sozialer Ertragsrate führen. Obwohl diese beiden Spillover-Effekte, wie schon bei den inländischen Spillover-Effekten, die zwei Seiten der gleichen Medaille sind, gibt es auf der internationalen Ebene einen entscheidenden Unterschied. Aus nationaler Sicht sind eingehende Spillover-Effekte wachstumssteigernde Faktoren, deren negative Folgen sich in anderen Ländern niederschlagen, also zu keiner Fehlallokation im eigenen Land führen. Dies impliziert, dass ei-

ne Intervention des Staates nicht notwendig ist. Anders sieht die Sache allerdings dann aus, wenn Spillover-Effekte von Unternehmen im eigenen Land ins Ausland gesendet werden. Während von ausgesendeten *inländischen* Spillover-Effekten *inländische* Unternehmen profitieren, profitieren bei internationalen Spillover-Effekten Unternehmen anderer Länder. Dies senkt nicht nur die Innovationsfreudigkeit der inländischen Unternehmen, sondern erhöht zusätzlich noch die Wettbewerbsfähigkeit der ausländischen Konkurrenten. Doch auch an dieser Stelle sollte sich die Wirtschaftspolitik daran orientieren, wie das Verhältnis von empfangenen und ausgesendeten Spillover-Effekten ist. Aus diesen Überlegungen lassen sich vier mögliche Szenarien ableiten. Tabelle 7.2 stellt diese systematisch zusammen.<sup>4</sup> Die Tabelle gibt an, welches Niveau die Innovationsaktivität im Verhältnis zum Referenzszenario „keinerlei internationale Spillover-Effekte“ hat. Empfangene bzw. gesendete Spillover-Effekte ergeben sich bei positiven Koeffizienten in Variante 10 bzw. 11. Bei negativen oder insignifikanten Koeffizienten liegen keine Spillover-Effekte vor.

Tabelle 7.2  
Wirkungszusammenhänge internationaler Spillover-Effekte  
auf die Innovationsaktivität

| Spillover-Effekte<br>eines Landes |            | gesendete Spillover-Effekte |                |
|-----------------------------------|------------|-----------------------------|----------------|
|                                   |            | ja                          | nein           |
| empfangene<br>Spillover-Effekte   | ja<br>nein | k. A. m. (1)<br>↓ (3)       | ↑ (2)<br>0 (4) |

Bemerkung: „k. A. m.“ für „keine Aussage möglich“. In Klammern Nummerierung der Szenarios.

In drei der vier Fälle kann, ohne die exakte Höhe der Spillover-Effekte zu kennen, eine Aussage darüber getroffen werden, ob eine Intervention des Staates zur Behebung eines durch Spillover-Effekte verursachten Marktversagens das Wachstum erhöhen könnte. Wird weiterhin davon ausgegangen, dass in den Fällen, in denen die privaten Ertragsraten aufgrund eingehender internationaler Spillover-Effekte steigen, der Staat nicht eingreifen sollte (Fall 2), so bleibt nur ein Fall übrig, in denen der Staat die F&E Aktivität der inländischen Unternehmen unterstützen sollte (Fall 3). Auf diesen Fall hin werden nun die Ergebnisse der ökonometrischen Schätzungen zu den internationalen Spillover-Effekten des letzten Abschnitts untersucht.

Tabelle 7.3 stellt die einzelnen Einflüsse zusammen. Es sei nochmal daran erinnert, dass Variante 10 den Einfluss *eingehender* Spillover-Effekte auf die Produktion der genannten Länder und Variante 11 den Einfluss

<sup>4</sup> Zur Erinnerung sei an dieser Stelle nochmal angemerkt: Negative und nicht signifikante Koeffizienten in den Schätzungen der Varianten 10 und 11 bedeuten, dass keine Spillover-Effekte vorliegen. Vgl. hierzu die Diskussion in Kapitel 6.

der von den genannten Ländern *ausgesendeten* Spillover-Effekte auf die Produktion der jeweils anderen 11 betrachteten OECD-Länder misst. Ein positiver signifikanter Koeffizient in Variante 10 gibt somit an, dass das betreffende Land im Durchschnitt über alle Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes vom internationalen ausländischen externen F&E-Kapitalstock in Form von Spillover-Effekten profitiert. Dies gilt für Dänemark, England, Finnland, Italien, Japan, Schweden und die USA. Ein negativer oder insignifikanter Koeffizient hingegen gibt an, dass die eigene Produktion von im Ausland durchgeführter F&E nicht profitiert. Dies ist bei West-Deutschland, Kanada, Frankreich, den Niederlanden und Norwegen der Fall. Anders ausgedrückt: Diese Länder empfangen keine internationalen Spillover-Effekte.

Tabelle 7.3

**Wirkungsanalyse der geschätzten internationalen Spillover-Effekte**

| Länder           | Internationale empfangen<br>(Variante 10) | Spillover-Effekte gesendet<br>(Variante 11) | Förderung von F&E |
|------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|
| West-Deutschland | nein                                      | ja                                          | ja (3)            |
| Kanada           | nein                                      | ja                                          | ja (3)            |
| Dänemark         | ja                                        | nein                                        | nein (2)          |
| England          | ja                                        | nein                                        | nein (2)          |
| Finnland         | ja                                        | nein                                        | nein (2)          |
| Frankreich       | nein                                      | ja                                          | ja (3)            |
| Italien          | ja                                        | ja                                          | k. A. m. (1)      |
| Japan            | ja                                        | nein                                        | nein (2)          |
| Niederlande      | nein                                      | nein                                        | nein (4)          |
| Norwegen         | nein                                      | ja                                          | ja (3)            |
| Schweden         | ja                                        | nein                                        | nein (2)          |
| USA              | ja                                        | nein                                        | nein (2)          |

Bemerkung: „k. A. m.“ für „keine Aussage möglich“, in Klammern in der dritten Spalte die entsprechende Fallnummer aus Tabelle 7.2.

Ausgesendet (positiver Koeffizient in Variante 11) werden Spillover-Effekte von West-Deutschland, Kanada, Frankreich, Italien und Norwegen. Die restlichen Länder senden keine Spillover-Effekte aus. Wobei eine Veränderung des F&E-Kapitalstocks der vier Länder, Dänemark, Japan, Niederlande und Schweden keinen Einfluss auf die Produktion der restlichen 11 OECD-Länder hat. Bei England, Finnland und den USA hat eine Erhöhung ihres F&E-Kapitalstocks eine negative Wirkung auf die Produktion der jeweils restlichen 11 OECD-Länder.

Eine Auswertung dieser Ergebnisse entsprechend der oben beschriebenen Methodik führt zu überraschenden Ergebnissen. So ist nur für vier der zwölf Länder eine F&E-Förderung aufgrund internationaler Spillover-Effekte wünschenswert. Für Italien ist keine Aussage möglich, da die empfangenen und ausgesendeten Spillover-Effekte, wie oben schon erwähnt,

nicht bilanzierbar sind. Bei den restlichen sieben Ländern haben die internationalen Spillover-Effekte keinen oder einen positiven Einfluss auf die F&E-Aktivitäten innerhalb der Länder. Hierbei tritt Fall 4 einmal und Fall 2 sechsmal auf. Für diese sieben Länder ist eine Staatsintervention im F&E-Bereich mit der Begründung internationaler Spillover-Effekte nicht haltbar.

### 7.3 Zusammenfassung

Eine Analyse der empirischen Evidenz kommt zu dem überraschenden Ergebnis, dass nur bei 4 der 12 untersuchten OECD-Länder eine staatliche Intervention aufgrund von Spillover-Effekten eindeutig, und bei einem weiteren Land möglicherweise gerechtfertigt ist. Auf der Basis dieser Ergebnisse überrascht, mit welcher Sicherheit in der wirtschaftspolitischen Diskussion häufig von einem Marktversagen aufgrund von Spillover-Effekten ausgegangen wird.<sup>5</sup> Dabei wurden hier nur die notwendigen Bedingungen für eine ökonomisch gerechtfertigte staatliche Intervention aufgrund durch Spillover-Effekte ausgelösten Marktversagens untersucht. Wie gezeigt, ist diese bei der Mehrheit der Länder schon nicht gegeben. Wird bedacht, dass wirtschaftspolitische Instrumente in ihren Auswirkungen auf die Wohlfahrt schwer abzuschätzen sind, und diese häufig offensichtlich ohne das Vorliegen der notwendigen Voraussetzung eingesetzt werden, so sind die Folgen der wirtschaftspolitischen Intervention im Bereich der angewandten F&E nicht unbedingt positiv.

---

<sup>5</sup> Vgl. beispielsweise bmb+f (2000), S. 10 oder Belitz/Fleischer (2000), S. 273 für Deutschland.

## 8 Fazit und Ausblick

„We have not succeeded in answering all our problems. The answers we have found only serve to raise a whole set of new questions. In some ways we feel we are as confused as ever, but we believe we are confused on a higher level and about more important things.“ (Øksendal (1995), S. IV).

Welche Fragen konnten nun von der vorliegenden Arbeit beantwortet werden, und welche hat sie neu aufgeworfen? Die theoretischen und empirischen Analysen konnten belegen, dass die häufig verwendete und in der Einleitung beschriebene Argumentationskette – Spillover-Effekte führten zu einem Wirtschaftswachstum unterhalb des sozial optimalen – so nicht haltbar ist. Somit ist aber auch die notwendige Bedingung für eine staatliche Intervention bei Vorliegen von Spillover-Effekten nicht von vornherein gegeben.

Die analysierten F&E-basierten endogenen Wachstumsmodelle kommen bei Berücksichtigung von empfangenen *und* ausgesendeten Spillover-Effekten zu keiner eindeutigen Aussage, ob die Wachstumsrate im Marktgleichgewicht über, unter oder gleich der sozial optimalen Wachstumsrate ist. Ohne eine empirische Analyse kann somit keine Aussage über die Notwendigkeit eines Staatseingriffes im Bereich der angewandten Forschung getroffen werden. Es zeigte sich weiterhin, dass die bereits vorliegenden Studien zur Messung von Spillover-Effekten nicht geeignet sind, einen empirischen Beleg für eine Notwendigkeit einer staatlichen Intervention im Bereich der angewandten F&E zu geben. Die Gründe hierfür lagen zum einen an den untersuchten Fragestellungen der Studien, zum anderen an der verwendeten Methode.

Im Zentrum der meisten vorliegenden Studien zur Messung von Spillover-Effekten steht der Einfluss auf die Produktivitätsentwicklung, die folglich auch als abhängige Variable verwendet wird. Allerdings geben diese Schätzungen nur unter den Annahmen vollständiger Konkurrenz, einer geschlossenen Volkswirtschaft und einer Vollausslastung der Produktionsfaktoren die Bedeutung von Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum vollständig wieder. Der Fokus auf den Untersuchungsgegenstand „Produktivitätsentwicklung“ führte auch dazu, dass der Einfluss von eigener und externer F&E auf die Outputelastizitäten der traditionellen Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital nicht berücksichtigt wurde. Gleiches gilt für

die ausgesendeten Spillover-Effekte, die für die Erklärung der Produktivitätsentwicklung, im Gegensatz zur Beantwortung der Frage nach einem Marktversagen, keine Bedeutung haben.

Ebenfalls ungeeignet war die angewandte Methode zur Messung der Spillover-Effekte. Insbesondere die Verwendung der PIM zur Konstruktion der F&E-Kapitalstöcke ist problematisch, da sie für die Konstruktion von physischen Kapitalstöcken entwickelt wurde und bei der Anwendung auf Wissen erhebliche Mängel aufweist. Hinzu kam die Verwendung von TNMs bei der Konstruktion der externen F&E-Kapitalstöcke, die die Schätzungen starken Restriktionen unterwerfen, da nur die Spillover-Effekte gemessen werden, die entlang den in den TNMs unterstellten Zusammenhängen auftreten. Weiterhin wurde durch die Vernachlässigung der Zulieferungen in den Schätzungen der Einfluss zugekaufter F&E nicht von dem der Spillover-Effekte getrennt und führte damit zu einer Überschätzung letzterer.

Diesen Kritikpunkten Rechnung tragend wurde in der vorliegenden Arbeit ein neues Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten entwickelt, welches der hier verwendeten Definition von Spillover-Effekten und der dieser Arbeit zugrunde liegenden Fragestellung besser gerecht wird. Veränderungen am herkömmlichen Verfahren wurden vor allem in der verwendeten Schätzgleichung und der Konstruktion der eigenen und externen F&E-Kapitalstöcke vorgenommen. So wurde in der Schätzgleichung die Produktion als abhängige Variable verwendet und neben den traditionellen Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit, die Zulieferungen, der eigene F&E-Kapitalstock sowie der inländische und ausländische externe F&E-Kapitalstock als direkte Produktionsfaktoren in die Schätzung aufgenommen. Dies ermöglichte die Berücksichtigung von Produktinnovationen sowie die Erfassung des Einflusses von in- und ausländischen Spillover-Effekten auf die Outputelastizitäten der traditionellen Produktionsfaktoren. Weiterhin führte die Aufnahme der Zulieferungen in die Schätzung zu einer exakteren Messung von Spillover-Effekten, da somit der Einfluss zugekaufter F&E von dem der Spillover-Effekte getrennt werden konnte.

Auch bei der Konstruktion der benötigten F&E-Kapitalstöcke wurde ein neuer Weg beschritten. Es wurde ein neues Verfahren zur F&E-Kapitalstockkonstruktion entwickelt, welches den Besonderheiten der Schaffung und Entwertung von Wissen besser gerecht wird. Hierbei wurde auf den Gedanken Schumpeters (1934, 1942) zurückgegriffen, dass bei der Entstehung von Wissen altes Wissen entwertet wird. Dieser Idee der schöpferischen Zerstörung folgend wurde ein Verfahren entwickelt, welches die Entwertung des Wissens in Abhängigkeit von zurückliegenden Investitionen in Wissen modelliert. Dies führte zu einer plausibleren Entwicklung

der so konstruierten F&E-Kapitalstöcke in Bezug auf eine über die Zeit variierende Abschreibungsrate und die Konvergenzeigenschaften bei Einstellung der F&E. Bei der Konstruktion der externen F&E-Kapitalstöcke mit der neuen Methode wurde weiterhin auf die Verwendung von TNMs verzichtet und somit sichergestellt, dass alle auftretenden Spillover-Effekte in den ökonometrischen Schätzungen berücksichtigt wurden.

Angewendet wurde das neue Verfahren zur Messung von Spillover-Effekten bei der ökonometrischen Schätzung der Bedeutung von inländischen und internationalen Spillover-Effekten auf die Produktion der 12 OECD-Länder Dänemark, West-Deutschland, England, Finnland, Frankreich, Italien, Japan, Kanada, Niederlande, Norwegen, Schweden, USA. Hierbei wurden mit Hilfe von Panelschätzungen die inländischen und internationalen Spillover-Effekte gemessen. Bei den internationalen Spillover-Effekten wurden darüberhinaus die empfangenen *und* die ausgesendeten Spillover-Effekte getrennt geschätzt. Die Schätzungen konnten nur für sieben der 12 untersuchten OECD-Länder das Vorliegen von inländischen Spillover-Effekten belegen. Gleiches galt bei den empfangenen internationalen Spillover-Effekten. Auch hier profitierten nur sieben der 12 untersuchten OECD-Länder in Form von Spillover-Effekten von der im Ausland durchgeführten F&E. Bei den ausgesendeten Spillover-Effekten zeigte sich, dass nur von fünf Ländern Spillover-Effekte ausgehen. Die restlichen sieben Länder senden keine internationalen Spillover-Effekte aus. Die F&E-Kapitalstöcke von vier dieser sieben Länder haben keinen Einfluss auf die Produktion der jeweils anderen 11 untersuchten OECD-Länder. Die F&E-Kapitalstöcke der restlichen drei Länder haben einen negativen Einfluss auf die Produktion der anderen untersuchten Länder. Überraschend war das Ergebnis, dass die USA von internationalen Spillover-Effekten zwar profitiert, aber keine internationalen Spillover-Effekte aussendet. Auch für West-Deutschland ergaben sich überraschende Ergebnisse: West-Deutschland sendet zwar signifikante internationale Spillover-Effekte aus, doch empfängt es keine.

Auf der Basis der theoretischen und empirischen Analyse konnten in der Arbeit belastbare und konsistente wirtschaftspolitische Implikationen abgeleitet werden. Mit Hilfe der empirischen Ergebnisse wurde zum Abschluss eine Wirkungsanalyse durchgeführt, die den Einfluss der empfangenen und ausgesendeten Spillover-Effekte verglich. Dies ermöglichte die Abschätzung der Notwendigkeit einer staatlichen Intervention im Bereich der angewandten F&E. Nur für vier der 12 untersuchten OECD-Länder ist eine staatliche Intervention aufgrund von Spillover-Effekten empirisch belegbar gerechtfertigt. Für ein weiteres Land (Italien) war keine Aussage möglich. Bei den restlichen sieben OECD-Ländern ist eine staatliche Intervention aufgrund von Spillover-Effekten empirisch nicht begründbar.

Die Ergebnisse der Arbeit legen einige weitreichende Schlussfolgerungen nahe. So untermauern sie die Bedeutung von empirischen a priori Analysen des Einflusses von Spillover-Effekten auf das Wirtschaftswachstum, um zum einen staatliche Interventionen im Bereich der angewandten Forschung zu rechtfertigen und zum anderen eine effiziente Ausgestaltung wirtschaftspolitischer Instrumente zu ermöglichen. Werden F&E-Förderprogramme ohne vorherige empirische Untersuchungen implementiert, so liegt der Verdacht nahe, dass hier schlichtweg verdeckte Subventionen verteilt werden. „Ungerechtfertigte“ Subventionen können zu Wettbewerbsverzerrungen und Fehlallokationen führen, die die Wohlfahrt in einer Volkswirtschaft reduzieren.

Um auf das Zitat am Anfang des Abschnitts zurückzukommen, haben die Ergebnisse der Arbeit natürlich auch dazu geführt, eine ganze Reihe von Forschungsdesiderata aufzuwerfen. So konnte nicht untersucht werden, was die unterschiedlichen Fähigkeiten der Länder, Spillover-Effekte aufzufangen oder das Aussenden von Spillover-Effekten zu verhindern, beeinflusst. Zur Beantwortung dieser Frage wäre eine institutionenökonomische Analyse der jeweiligen Innovationssysteme notwendig gewesen. Ebenfalls offen blieb die Frage bei der F&E-Kapitalstockkonstruktion, wie sich der Anteil des substitutiven Wissens über die Zeit verändert. Auch ungeklärt blieb, welchen konkreten Einfluss exogene Schocks auf die F&E-Kapitalstöcke hatten. Beide Fragen konnten aufgrund von unzureichender Datenlage nicht beantwortet werden.

Das Vorhandensein der Forschungsdesiderata ist zum einen ernüchternd, aber zum anderen Ansporn, sich weiterhin mit der Bedeutung von Spillover-Effekten für das Wirtschaftswachstum zu beschäftigen.

## Mathematischer Anhang

### Monopolpreis im Romer-Modell (Formel: 3.5, S. 31)

Die Gewinnfunktion der gewinnmaximierenden Kapitalguthersteller ist gegeben durch:

$$\pi = \max_x p(x)x - r\eta x$$

Die Nachfragefunktion wird von den Kapitalguthestellern als gegeben angenommen. Sie maximieren ihren Gewinn durch die Wahl der Menge x:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi}{\partial x} &= p'(x) \cdot x + p(x) - r\eta = 0 \\ \Leftrightarrow p'(x) \cdot x + p(x) &= r\eta \\ \Leftrightarrow \frac{p'(x) \cdot x}{p(x)} + 1 &= \frac{r\eta}{p(x)} \\ \Leftrightarrow \frac{1}{\frac{p'(x) \cdot x}{p(x)} + \frac{p(x)}{p(x)}} &= \frac{p(x)}{r\eta}\end{aligned}$$

Da der Term  $\frac{p'(x) \cdot x}{p(x)}$  gleich der Elastizität  $\varepsilon_{p,x}$  ist<sup>1</sup>, vereinfacht sich die vorangegangene Gleichung zu:

$$p^* = \frac{r\eta}{\varepsilon_{p,x} + 1} = \frac{r\eta}{1 - \alpha - \beta}$$

Dies wird deutlich, wenn berücksichtigt wird, dass  $\varepsilon_{p,x}$ :

$$\varepsilon_{p,x} = \frac{p'(x) \cdot x}{p(x)} = -\alpha - \beta$$

ist. Wobei  $p(x)$  und  $p'(x)$  gegeben sind durch:

$$p(x) = (1 - \alpha - \beta)H_Y^\alpha L^\beta x^{-\alpha-\beta} \quad ,$$

$$p'(x) = (1 - \alpha - \beta)(-\alpha - \beta)H_Y^\alpha L^\beta x^{-\alpha-\beta-1}$$

---

<sup>1</sup> Vgl. Tietze (1996), S. 6-71.

Somit ist der Monopolpreis der Kapitalguthersteller abgeleitet, der ein einfacher Aufschlag auf die Grenzkosten  $r\eta$  ist.

### Gewinnstrom im Kapitalgütermarkt im Romer-Modell (Formel: 3.9, S. 33)

Vgl. Romer (1990) S. S87.

Der Gewinn eines Kapitalgutherstellers ist gegeben durch:

$$\pi = p(x)x - r\eta x$$

Durch Wahl der gewinnmaximalen Menge  $x^*$  ergibt sich auch der gewinnmaximale Preis  $p^*$ . Damit vereinfacht sich die vorangegangene Gewinngleichung zu:

$$\pi = p^* x^* - r\eta x^*$$

Unter Verwendung des Zusammenhangs, dass  $p^* = \frac{r\eta}{1-\alpha-\beta}$  ist, kann die Gewinngleichung folgendermaßen umgeformt werden:

$$\begin{aligned}\pi &= (p^* - r\eta)x^* = (p^* - r\eta \frac{p^*}{p^*})x^* = (1 - \frac{r\eta}{p^*})p^* x^* \\ \Leftrightarrow \pi &= (1 - \frac{r\eta}{\frac{r\eta}{1-\alpha-\beta}})p^* x^* = (1 - \frac{r\eta(1-\alpha-\beta)}{r\eta})p^* x^* \\ \Leftrightarrow \pi &= (1 - 1 + \alpha + \beta)p^* x^* = (\alpha + \beta)p^* x^*\end{aligned}$$

Diese Gewinngleichung wird nun mit  $r$  abdiskontiert, und  $p^*$  wird ersetzt durch:

$$p^x = (1 - \alpha - \beta)H_Y^\alpha L^\beta x^{*(-\alpha-\beta)}$$

Daraus ergibt sich Gleichung 3.9 auf Seite 33.

### **Herleitung der Gleichgewichtsmenge an Arbeit $n^*$ und $x^*$ im Modell von Aghion und Howitt (Formel 3.40 und 3.41, S. 45)**

Ausgangspunkt der Herleitung des gleichgewichtigen Arbeitseinsatzes im Forschungssektor sind die drei Gleichungen 3.38, 3.39 und 3.31, die im Folgenden nochmals aufgeführt sind:

$$\begin{aligned}\tilde{w} &= \lambda \frac{\gamma \tilde{\pi}(\tilde{w})}{r + \lambda n} \quad , \\ L = n + \tilde{x} &\Leftrightarrow \tilde{x} = L - n \quad , \\ \tilde{\pi} &= p(\tilde{x})\tilde{x} - \tilde{w}\tilde{x} = \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)\tilde{w}\tilde{x}\end{aligned}$$

Dabei ist  $\tilde{\pi} = \pi/A$  und  $\tilde{w} = w/A$ . Durch Einsetzen der zweiten in die letzte Gleichung und der letzten wiederum in die erste Gleichung ergibt sich folgender Ausdruck:

$$\tilde{w} = \lambda \frac{\gamma \frac{1-\alpha}{\alpha} \tilde{w}(L - n)}{r + \lambda n}$$

Nach Kürzen von  $\tilde{w}$  auf beiden Seiten und anschließendem Auflösen nach  $n$  ergibt sich Gleichung 3.40. Nach der gleichen Methode kann aus den oben genannten Gleichungen auch  $x^*$  abgeleitet werden.

### **Herleitung des F&E-Anfangskapitalstocks nach der PIM (Formel 4.11, S. 60)**

Bei der in Formel 4.10 vorkommenden Summe  $\sum_{\tau=0}^{\infty} \left(\frac{(1-\delta)}{(1+g)}\right)^{\tau}$  handelt es sich um eine geometrische Reihe der Form:

$$y = x^0 + x^1 + x^2 + \dots + x^{\tau}$$

Dabei ist  $x = \left(\frac{(1-\delta)}{(1+g)}\right)$ . Durch Multiplikation beider Seiten mit  $x$  ergibt sich folgende Reihe:

$$xy = x^1 + x^2 + x^3 + \dots + x^{\tau+1}$$

Durch Subtraktion der beiden Gleichungen voneinander ergibt sich:

$$\begin{aligned} y - xy &= x^0 - x^{\tau+1} \\ \Leftrightarrow (1-x)y &= 1 - x^{\tau+1} \\ \Leftrightarrow y &= \frac{1 - x^{\tau+1}}{(1-x)} \end{aligned}$$

Für

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} x^{\tau+1} = 0$$

Damit vereinfacht sich die vorangegangene Gleichung zu:

$$y = \frac{1}{(1-x)}$$

Entsprechend gilt:

$$\sum_{\tau=0}^{\infty} \left( \frac{(1-\delta)}{(1+g)} \right)^{\tau} = y = \frac{1}{(1-x)} = \frac{1}{\left( 1 - \frac{(1-\delta)}{(1+g)} \right)}$$

Durch Ersetzen von  $\sum_{\tau=0}^{\infty} \left( \frac{(1-\delta)}{(1+g)} \right)^{\tau}$  in Gleichung 4.10 kann der F&E-Anfangskapitalstock in Gleichung 4.11 abgeleitet werden.

### **Herleitung des F&E-Anfangskapitalstocks nach der neuen Methode (Formel 6.2, S. 84)**

Der Kapitalstock entwickelt sich nach der neuen Methode entsprechend folgender Formel:

$$\begin{aligned} W_t &= \sum_{i=0}^{\infty} F_{t-i} - \theta \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i} = F_t + F_{t-1} + \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i} - \theta \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i} \\ &= F_t + F_{t-1} + (1-\theta) \sum_{i=2}^{\infty} F_{t-i} \end{aligned}$$

Es wird angenommen, dass die F&E-Ausgaben vor der Periode  $t$  jährlich mit einer Rate von  $g$  gewachsen sind. Daraus folgt:

$$F_t = (1+g)F_{t-1} = (1+g)^2 F_{t-2} = \dots = (1+g)^{\infty} F_{t-\infty}$$

Durch Einsetzen in die Kapitalstockformel ergibt sich Folgendes:

$$\begin{aligned} W_t &= F_t + \frac{1}{(1+g)}F_t + \frac{(1-\theta)}{(1+g)^2}F_t + \cdots + \frac{(1-\theta)}{(1+g)^\infty}F_t \\ \Leftrightarrow W_t &= F_t + \frac{1}{(1+g)}F_t + (1-\theta)F_t \sum_{\tau=2}^{\infty} (1+g)^{-\tau} \end{aligned}$$

Der Term  $\sum_{\tau=2}^{\infty} (1+g)^{-\tau}$  entspricht einer Folge der Form:

$$y = x^{-2} + x^{-3} + \cdots + x^{-\tau} \quad ,$$

mit  $x = (1+g)$ .

Multiplikation beider Seiten mit  $x$  führt zu folgender Reihe:

$$xy = x^{-1} + x^{-2} + \cdots + x^{-\tau+1}$$

Wird nun  $y$  von  $xy$  subtrahiert, ergibt sich folgende Reihe:

$$\begin{aligned} xy - y &= x^{-1} - x^{-\tau} \\ \Leftrightarrow (x-1)y &= x^{-1} - x^{-\tau} \\ \Leftrightarrow y &= \frac{(x^{-1} - x^{-\tau})}{(x-1)} = \frac{(\frac{1}{x} - \frac{1}{x^\tau})}{(x-1)} \end{aligned}$$

Eine Grenzwertbetrachtung zeigt, dass Folgendes gilt:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} x^{-\tau} = 0$$

Damit vereinfacht sich die vorangegangene Gleichung zu:

$$y = \frac{x^{-1}}{(x-1)}$$

Einsetzen von  $(1+g)$  für  $x$  ergibt:

$$\sum_{\tau=2}^{\infty} (1+g)^{-\tau} = y = \frac{\frac{1}{(1+g)}}{(1+g)-1} = \frac{1}{g(1+g)}$$

Dieser Zusammenhang kann nun dafür genutzt werden, um die obige Kapitalstockgleichung zu vereinfachen:

$$W_t = F_t + F_{t-1} + (1-\theta)F_t \sum_{\tau=2}^{\infty} (1+g)^{-\tau} \approx F_t + \frac{1}{(1+g)} F_t + (1-\theta)F_t \frac{1}{g(1+g)}$$

Da von einer gleichmäßigen Wachstumsrate ausgegangen wird, gilt  $F_t = \frac{F_{t+1}}{(1+g)}$ . Daraus folgt Gleichung 6.2:

$$\begin{aligned} W_t &\approx \frac{F_{t+1}}{(1+g)} + \frac{F_{t+1}}{(1+g)^2} + \frac{(1-\theta)}{g(1+g)^2} F_{t+1} \\ \Leftrightarrow W_t &\approx \left( \frac{1}{(1+g)} + \frac{1}{(1+g)^2} + \frac{(1-\theta)}{g(1+g)^2} \right) F_{t+1} \end{aligned}$$

### Herleitung der Schätzgleichung in Einheiten pro Erwerbstätigen (Formel 6.9, S. 94)

Aus Übersichtlichkeitsgründen wird in der folgenden Ableitung auf die Angabe der Zeit- und Sektor-Indices verzichtet. Gleiches gilt für den Störterm  $\mu$ , die Konstante  $\alpha$  und den Zeittrend  $t$ . Wie die Ableitung zeigen wird, hat die Umformung keinerlei Auswirkungen auf die vernachlässigten Parameter. Ausgegangen wird von der logarithmierten Cobb-Douglas-Produktionsfunktion, die die Grundlage der ersten Schätzung war:

$$\ln Y = \beta_1 \ln W + \beta_2 \ln E^{in} + \beta_3 \ln E^{au} + \beta_4 \ln K + \beta_5 \ln L + \beta_6 \ln Z$$

Zunächst wird auf beiden Seiten der Gleichung „ $\ln L$ “ subtrahiert:

$$\begin{aligned} \ln Y - \ln L &= \alpha + \beta_1 \ln W + \beta_2 \ln E^{in} + \beta_3 \ln E^{au} \\ &\quad + \beta_4 \ln K + (\beta_5 - 1) \ln L + \beta_6 \ln Z \end{aligned}$$

Im nächsten Schritt wird die rechte Seite durch die folgenden Terme erweitert:

$$\begin{aligned}
\beta_1 \ln L - \beta_1 \ln L &= 0 \quad , \\
\beta_2 \ln L - \beta_2 \ln L &= 0 \quad , \\
\beta_3 \ln L - \beta_3 \ln L &= 0 \quad , \\
\beta_4 \ln L - \beta_4 \ln L &= 0 \quad , \\
\beta_6 \ln L - \beta_6 \ln L &= 0
\end{aligned}$$

Durch Einsetzen und Auflösen kommt folgende Gleichung zustande:

$$\begin{aligned}
\ln Y - \ln L &= \alpha + \beta_1(\ln W - \ln L) + \beta_2(\ln E^{in} - \ln L) \\
&\quad + \beta_3(\ln E^{au} - \ln L) + \beta_4(\ln K - \ln L) \\
&\quad + (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_6 - 1) \ln L \\
&\quad + \beta_6(\ln Z - \ln L)
\end{aligned}$$

Wird nun noch  $\beta'_5 = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_6 - 1)$  gesetzt, ergibt sich die schätzbare, logarithmierte Cobb-Douglas-Produktionsfunktion in Einheiten pro Erwerbstätigen:

$$\begin{aligned}
\ln Y - \ln L &= \beta_1(\ln W - \ln L) + \beta_2(\ln E^{in} - \ln L) + \beta_3(\ln E^{au} - \ln L) \\
&\quad + \beta_4(\ln K - \ln L) + \beta'_5 \ln L + \beta_6(\ln Z - \ln L)
\end{aligned}$$

Durch Hinzufügen der Zeit- und Sektor-Indices, der Konstanten  $\alpha_i$ , des Zeittrends  $t$  und des Störterms  $\mu$ , ergibt sich die Schätzgleichung 6.9:

$$\begin{aligned}
\ln Y_{it} - \ln L_{it} &= \alpha_i + \beta_1(\ln W_{it} - \ln L_{it}) + \beta_2(\ln E^{in}_{it} - \ln L_{it}) \\
&\quad + \beta_3(\ln E^{au}_{it} - \ln L_{it}) + \beta_4(\ln K_{it} - \ln L_{it}) \\
&\quad + \beta'_5 \ln L_{it} + \beta_6(\ln Z_{it} - \ln L_{it}) + t + \mu_{it}
\end{aligned}$$

## **Datenanhang**

Um einen Eindruck über die Größenordnung und Veränderungen der einzelnen Variablen zu geben, werden im Folgenden die Start- und Endwerte der in der Arbeit verwendeten Rohdatenreihen angegeben.

Tabelle A1  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Dänemark

| Variablen       | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33 | Sektor 34 | Sektor 35 |
|-----------------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Y               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 10.650,94  | 2.422,03  | 2.251,88  | 4.636,21  | 3.553,62  |
|                 |                                     | 1997 | 14.720,17  | 2.384,59  | 4.010,10  | 5.498,68  | 10.147,47 |
| W               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 109,09     | 21,11     | 6,06      | 13,46     | 396,16    |
|                 |                                     | 1997 | 267,75     | 21,72     | 13,03     | 22,98     | 1.372,15  |
| E <sup>tn</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.376,04   | 1.464,02  | 1.479,07  | 1.471,67  | 1.088,97  |
|                 |                                     | 1997 | 3.766,51   | 4.012,55  | 4.021,23  | 4.011,28  | 2.662,11  |
| E <sup>au</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 394.710,00 |           |           |           |           |
|                 |                                     | 1997 | 746.405,00 |           |           |           |           |
| K               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 2.580,01   | 998,33    | 1.181,49  | 1.971,00  | 2.153,20  |
|                 |                                     | 1994 | 5.829,47   | 1.065,12  | 1.701,10  | 3.007,05  | 5.414,34  |
| L               | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 107,46     | 71,88     | 43,76     | 57,39     | 40,84     |
|                 |                                     | 1996 | 82,39      | 28,03     | 41,51     | 46,29     | 51,53     |
| Z               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 8.396,92   | 1.445,21  | 1.318,94  | 2.518,08  | 2.414,24  |
|                 |                                     | 1997 | 10.385,28  | 1.579,24  | 2.456,82  | 3.017,24  | 6.348,06  |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A.1

| Variablen             | Einheit                             | Jahr | Sektor 36 | Sektor 37  | Sektor 38 | Sektor 39 |
|-----------------------|-------------------------------------|------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Y                     | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 2.331,94  | 565,67     | 11.234,25 | 673,11    |
|                       |                                     | 1997 | 1.726,90  | 857,94     | 19.272,53 | 834,41    |
| W                     | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 83,65     | 4,07       | 763,56    | 87,99     |
|                       |                                     | 1997 | 83,66     | 28,27      | 1.918,54  | 306,16    |
| <i>E<sup>in</sup></i> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.401,48  | 1.481,06   | 721,57    | 1.397,14  |
|                       |                                     | 1997 | 3.950,60  | 4.006,00   | 2.115,72  | 3.728,10  |
| <i>E<sup>au</sup></i> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 |           | 394.710,00 |           |           |
|                       |                                     | 1997 |           | 746.405,00 |           |           |
| K                     | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 2.515,10  | 128,68     | 4.376,79  | 183,39    |
|                       |                                     | 1994 | 2.039,02  | 420,81     | 8.937,52  | 683,29    |
| L                     | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 32,17     | 8,57       | 195,71    | 12,10     |
|                       |                                     | 1996 | 19,18     | 5,29       | 208,51    | 11,73     |
| Z                     | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 1.056,86  | 412,86     | 6.296,07  | 324,46    |
|                       |                                     | 1997 | 852,44    | 480,47     | 10.935,26 | 301,28    |

Tabelle A2  
Start- und Endwerte der Datenreihen für West-Deutschland

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32  | Sektor 33  | Sektor 34  | Sektor 35  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 128.198,00 | 53.877,09  | 35.448,81  | 34.678,05  | 138.350,00 |
|           |                                     | 1997 | 141.106,00 | 36.000,62  | 37.493,08  | 47.679,08  | 237.003,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 385,50     | 216,09     | 32,12      | 137,00     | 17.006,78  |
|           |                                     | 1993 | 878,45     | 430,03     | 258,26     | 296,63     | 27.453,62  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 56.237,38  | 56.406,79  | 56.590,76  | 56.485,88  | 39.616,10  |
|           |                                     | 1993 | 109.085,00 | 109.533,00 | 109.705,00 | 109.667,00 | 82.509,90  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 339.498,00 |            |            |            |            |
|           |                                     | 1997 | 750.319,00 |            |            |            |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 37.541,89  | 16.411,66  | 13.886,82  | 21.049,89  | 81.432,82  |
|           |                                     | 1994 | 54.519,53  | 15.056,18  | 14.623,98  | 30.930,76  | 95.118,32  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 984,00     | 1.258,00   | 474,00     | 523,00     | 1.031,00   |
|           |                                     | 1997 | 768,81     | 305,63     | 369,44     | 403,58     | 932,88     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 87.017,23  | 31.652,39  | 21.881,01  | 18.922,62  | 82.308,48  |
|           |                                     | 1997 | 97.614,14  | 24.740,70  | 23.725,71  | 28.622,15  | 148.996,00 |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A2

| Variablen             | Einheit            | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37  | Sektor 38  | Sektor 39  |
|-----------------------|--------------------|------|------------|------------|------------|------------|
| Y                     | Mio. USD in konst. | 1970 | 29.179,82  | 81.208,25  | 310.293,00 | 6.032,90   |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 39.763,65  | 100.832,00 | 624.712,00 | 6.397,40   |
| W                     | Mio. USD in konst. | 1975 | 363,88     | 1.336,21   | 37.145,29  | 141,69*    |
|                       | Preisen von 1990   | 1993 | 922,56     | 1.922,30   | 77.615,67  | 186,02     |
| <i>E<sup>in</sup></i> | Mio. USD in konst. | 1975 | 56.259,00  | 55.286,68  | 19.477,59  | 75.088,98* |
|                       | Preisen von 1990   | 1993 | 109.041,00 | 108.041,00 | 32.347,86  | 109.778,00 |
| <i>E<sup>au</sup></i> | Mio. USD in konst. | 1975 |            | 339.498,00 |            |            |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 |            | 750.319,00 |            |            |
| K                     | Mio. USD in konst. | 1970 | 19.406,21  | 38.484,46  | 133.612,00 | 1.953,44   |
|                       | Preisen von 1990   | 1994 | 26.550,28  | 41.026,90  | 224.036,00 | 2.751,99   |
| L                     | Erwerbstätige      | 1970 | 454,00     | 947,00     | 4.340,00   | 106,00     |
|                       | in 1000            | 1997 | 276,00     | 514,80     | 3.727,57   | 53,30      |
| Z                     | Mio. USD in konst. | 1970 | 14.684,18  | 53.450,15  | 176.247,00 | 3.016,45   |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 23.178,96  | 64.962,58  | 412.065,00 | 3.596,31   |

Bemerkung: \* Zahl für das Jahr 1981.

*Tabelle A3*  
**Start- und Endwerte der Datenreihen für England**

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33 | Sektor 34 | Sektor 35  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 102.081,00 | 40.890,25 | 19.381,02 | 40.038,18 | 69.547,65  |
|           |                                     | 1997 | 96.508,58  | 25.439,25 | 15.999,12 | 50.125,65 | 134.484,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.610,11   | 776,35    | 48,93     | 238,39    | 5.665,72   |
|           |                                     | 1997 | 1.838,89   | 600,66    | 54,27     | 316,02    | 16.411,45  |
| $E^{tn}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 29.141,46  | 29.975,22 | 30.702,65 | 30.513,19 | 25.085,86  |
|           |                                     | 1997 | 49.908,11  | 51.146,34 | 51.692,73 | 51.430,98 | 35.335,56  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 364.218,00 |           |           |           |            |
|           |                                     | 1997 | 698.701,00 |           |           |           |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 19.658,67  | 8.567,16  | 3.609,74  | 12.969,91 | 36.110,59  |
|           |                                     | 1995 | 31.572,18  | 8.780,04  | 4.836,98  | 22.032,17 | 45.490,28  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 803,49     | 1.186,96  | 255,65    | 635,08    | 782,18     |
|           |                                     | 1997 | 528,39     | 444,78    | 253,42    | 525,15    | 589,08     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 80.056,94  | 25.775,03 | 13.278,76 | 22.704,54 | 48.233,44  |
|           |                                     | 1997 | 68.464,53  | 14.728,31 | 10.567,19 | 27.988,53 | 93.428,29  |

*Fortsetzung nächste Seite*

Fortsetzung Tabelle A3

| Variablen       | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38  | Sektor 39 |
|-----------------|-------------------------------------|------|------------|-----------|------------|-----------|
| Y               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 19.710,60  | 39.375,50 | 191.152,00 | 6.427,90  |
|                 |                                     | 1997 | 20.430,50  | 27.067,87 | 243.762,00 | 5.187,97  |
| W               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 546,48     | 711,34    | 20.926,93  | 227,32    |
|                 |                                     | 1997 | 532,36     | 703,96    | 31.043,54  | 245,85    |
| E <sup>in</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 30.205,09  | 30.040,24 | 9.824,65   | 30.524,26 |
|                 |                                     | 1997 | 51.214,65  | 51.043,05 | 20.703,47  | 51.501,16 |
| E <sup>au</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 364.218,00 |           |            |           |
|                 |                                     | 1997 | 698.701,00 |           |            |           |
| K               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 12.185,59  | 12.975,15 | 55.392,16  | 1.570,35  |
|                 |                                     | 1995 | 11.679,82  | 9.987,49  | 80.304,00  | 1.676,01  |
| L               | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 322,61     | 601,60    | 3.760,76   | 116,67    |
|                 |                                     | 1997 | 190,84     | 189,95    | 2.252,86   | 62,09     |
| Z               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 12.621,88  | 29.111,36 | 125.377,00 | 4.309,47  |
|                 |                                     | 1997 | 13.793,70  | 19.334,81 | 161.729,00 | 3.417,22  |

Tabelle A4  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Finnland

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31 | Sektor 32 | Sektor 33  | Sektor 34 | Sektor 35 |
|-----------|-------------------------------------|------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 11.590,77 | 3.036,87  | 4.140,00   | 8.177,82  | 3.670,66  |
|           |                                     | 1997 | 13.900,88 | 1.837,43  | 9.026,06   | 20.430,65 | 12.476,49 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 61,26     | 8,41      | 23,21      | 174,13    | 240,28    |
|           |                                     | 1997 | 223,12    | 38,06     | 77,79      | 383,28    | 1.008,10  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.166,92  | 1.219,78  | 1.204,97   | 1.054,06  | 987,91    |
|           |                                     | 1997 | 6.734,89  | 6.919,95  | 6.880,22   | 6.574,72  | 5.949,90  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 |           |           | 394.881,00 |           |           |
|           |                                     | 1997 |           |           | 743.635,00 |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 3.321,45  | 1.080,05  | 2.391,38   | 5.128,17  | 3.283,54  |
|           |                                     | 1996 | 4.882,45  | 847,09    | 3.252,16   | 13.318,47 | 5.591,95  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 62,58     | 80,70     | 67,77      | 82,31     | 32,94     |
|           |                                     | 1997 | 44,67     | 16,98     | 39,76      | 62,56     | 37,07     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 9.460,00  | 1.871,96  | 2.640,85   | 5.351,24  | 2.335,05  |
|           |                                     | 1997 | 10.374,68 | 1.039,83  | 6.195,89   | 13.668,95 | 8.854,96  |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A4

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38 | Sektor 39 |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 1.359,77   | 2.356,49  | 6.748,33  | 216,72    |
|           |                                     | 1997 | 2.699,76   | 7.738,17  | 44.100,34 | 669,38    |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 31,68      | 56,96     | 628,97    | 3,29      |
|           |                                     | 1997 | 101,09     | 162,80    | 4.926,40  | 37,37     |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.196,51   | 1.171,22  | 599,22    | 1.224,90  |
|           |                                     | 1997 | 6.856,92   | 6.795,21  | 2.031,60  | 6.920,64  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 394.881,00 |           |           |           |
|           |                                     | 1997 | 743.635,00 |           |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 1.190,26   | 1.498,41  | 3.482,54  | 110,32    |
|           |                                     | 1996 | 1.567,30   | 2.701,70  | 9.193,71  | 187,85    |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 21,68      | 14,88     | 132,19    | 6,14      |
|           |                                     | 1997 | 13,18      | 17,47     | 166,96    | 4,88      |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 682,58     | 1.912,69  | 3.578,12  | 105,58    |
|           |                                     | 1997 | 1.498,68   | 5.910,15  | 28.299,01 | 407,49    |

Tabelle A5  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Frankreich

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33  | Sektor 34 | Sektor 35  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 85.796,26  | 43.829,46 | 10.888,83  | 32.672,82 | 58.574,71  |
|           |                                     | 1997 | 113.835,00 | 33.623,37 | 18.303,10  | 47.348,72 | 141.408,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 490,45     | 331,19    | 25,02      | 91,61     | 7.868,32   |
|           |                                     | 1996 | 1.167,01   | 492,10    | 180,37     | 207,22    | 16.498,70  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 33.636,23  | 33.795,49 | 34.101,66  | 34.035,06 | 26.258,35  |
|           |                                     | 1996 | 68.385,42  | 69.060,32 | 69.372,05  | 69.345,20 | 53.053,73  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 |            |           | 362.592,00 |           |            |
|           |                                     | 1997 |            |           | 750.319,00 |           |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 28.690,89  | 14.008,41 | 4.524,63   | 13.194,55 | 43.184,33  |
|           |                                     | 1997 | 47.271,33  | 13.903,11 | 11.346,83  | 23.468,62 | 69.291,70  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 583,80     | 903,00    | 243,30     | 347,10    | 547,20     |
|           |                                     | 1997 | 543,60     | 303,70    | 174,30     | 327,60    | 494,70     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 64.743,93  | 26.271,27 | 6.299,10   | 18.966,08 | 31.705,27  |
|           |                                     | 1997 | 75.918,93  | 21.127,76 | 10.510,50  | 27.664,37 | 87.522,84  |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A5

| Variablen       | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38  | Sektor 39* |
|-----------------|-------------------------------------|------|------------|-----------|------------|------------|
| Y               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 14.287,04  | 32.807,70 | 141.715,00 | 5.585,44   |
|                 |                                     | 1997 | 22.555,07  | 45.075,03 | 306.196,00 | 9.314,35   |
| W               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 558,77     | 784,00    | 23.887,50  | 89,81      |
|                 |                                     | 1996 | 944,08     | 1.571,49  | 48.316,61  | 174,85     |
| E <sup>in</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 33.567,91  | 33.342,68 | 10.239,17  | 34.036,86  |
|                 |                                     | 1996 | 68.608,35  | 67.980,93 | 21.235,82  | 69.377,57  |
| E <sup>au</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 362.592,00 |           |            |            |
|                 |                                     | 1997 | 750.319,00 |           |            |            |
| K               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 16.980,38  | 15.605,33 | 61.402,90  | –          |
|                 |                                     | 1997 | 19.806,08  | 22.932,69 | 124.815,00 | –          |
| L               | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 246,00     | 365,50    | 2.169,40   | 112,30     |
|                 |                                     | 1997 | 123,60     | 193,60    | 1.668,10   | 87,70      |
| Z               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 6.761,41   | 21.981,86 | 82.519,64  | 2.680,39   |
|                 |                                     | 1997 | 12.561,90  | 31.290,34 | 188.657,00 | 4.871,05   |

Bemerkung: \* Sektor 39 ging aufgrund fehlender Daten für den physischen Kapitalstock nicht in die Regressionen ein.

Tabelle A6  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Italien

| Variablen       | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32  | Sektor 33 | Sektor 34 | Sektor 35  |
|-----------------|-------------------------------------|------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| Y               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 64.535,37  | 71.969,07  | 18.505,68 | 13.743,92 | 20.130,87  |
|                 |                                     | 1997 | 88.338,16  | 106.049,00 | 38.185,42 | 44.008,67 | 110.313,00 |
| W               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 60,52      | 4,51*      | 3,78**    | 20,98     | 1.795,24   |
|                 |                                     | 1997 | 280,55     | 77,71      | 24,85     | 59,14     | 5.592,93   |
| E <sup>in</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 7.041,58   | 7.101,60   | 7.102,10  | 7.081,12  | 5.306,86   |
|                 |                                     | 1997 | 24.015,91  | 24.218,74  | 24.271,61 | 24.237,32 | 18.703,53  |
| E <sup>au</sup> | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 387.686,00 |            |           |           |            |
|                 |                                     | 1997 | 725.101,00 |            |           |           |            |
| K               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 10.441,25  | 22.635,65  | 7.415,97  | 6.334,82  | 15.540,70  |
|                 |                                     | 1994 | 34.132,35  | 41.292,16  | 12.940,84 | 23.982,70 | 45.044,46  |
| L               | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 419,80     | 1.346,90   | 478,90    | 243,50    | 473,90     |
|                 |                                     | 1997 | 350,30     | 1.082,60   | 340,30    | 234,70    | 435,60     |
| Z               | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 50.256,93  | 50.847,22  | 12.001,90 | 8.197,26  | 13.237,40  |
|                 |                                     | 1997 | 58.457,82  | 62.845,33  | 25.233,77 | 27.044,10 | 77.720,10  |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A6

| Variablen             | Einheit            | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38  | Sektor 39 |
|-----------------------|--------------------|------|------------|-----------|------------|-----------|
| Y                     | Mio. USD in konst. | 1970 | 16.056,83  | 23.036,24 | 72.854,09  | 5.954,51  |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 41.657,67  | 48.616,16 | 277.908,00 | 10.567,59 |
| W                     | Mio. USD in konst. | 1975 | 43,57      | 140,15    | 4.843,88   | 197,25    |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 120,08     | 384,12    | 17.626,60  | 130,47    |
| <i>E<sup>in</sup></i> | Mio. USD in konst. | 1975 | 7.058,53   | 6.961,95  | 2.258,22   | 6.904,85  |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 24.176,38  | 23.912,34 | 6.669,85   | 24.165,99 |
| <i>E<sup>au</sup></i> | Mio. USD in konst. | 1975 | 387.686,00 |           |            |           |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 725.101,00 |           |            |           |
| K                     | Mio. USD in konst. | 1970 | 14.061,41  | 15.322,59 | 42.043,43  | 6.925,12  |
|                       | Preisen von 1990   | 1994 | 29.459,61  | 24.232,25 | 113.049,00 | 2.926,84  |
| L                     | Erwerbstätige      | 1970 | 398,90     | 223,90    | 1.744,20   | 76,00     |
|                       | in 1000            | 1997 | 301,60     | 122,60    | 1.572,20   | 69,30     |
| Z                     | Mio. USD in konst. | 1970 | 8.053,52   | 12.477,82 | 35.625,50  | 4.238,86  |
|                       | Preisen von 1990   | 1997 | 23.501,49  | 35.843,92 | 182.299,00 | 7.877,30  |

Bemerkungen: \* Zahl für das Jahr 1979. \*\* Zahl für das Jahr 1981.

Tabelle A7  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Japan

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32  | Sektor 33  | Sektor 34  | Sektor 35  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 154.569,00 | 101.394,00 | 57.799,12  | 104.244,00 | 144.879,00 |
|           |                                     | 1997 | 226.768,00 | 67.086,26  | 46.819,36  | 136.962,00 | 297.803,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 2.855,02   | 1.057,95   | 338,43     | 648,55     | 21.614,62  |
|           |                                     | 1997 | 6.343,28   | 2.211,32   | 823,01     | 1.759,51   | 49.313,41  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 53.011,81  | 54.808,88  | 55.528,40  | 55.218,27  | 34.252,21  |
|           |                                     | 1997 | 224.007,00 | 228.139,00 | 229.527,00 | 228.591,00 | 181.037,00 |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 |            |            | 334.030,00 |            |            |
|           |                                     | 1997 |            |            | 521.709,00 |            |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 54.982,27  | 39.742,18  | 15.581,93  | 74.903,30  | 168.709,00 |
|           |                                     | 1994 | 118.347,00 | 40.916,38  | 16.568,41  | 105.371,00 | 263.548,00 |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 1.358,00   | 2.355,20   | 992,11     | 971,56     | 1.173,36   |
|           |                                     | 1997 | 1.813,44   | 1.590,64   | 565,03     | 1.193,91   | 1.458,27   |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 100.291,00 | 72.191,39  | 41.429,58  | 67.939,26  | 88.599,79  |
|           |                                     | 1997 | 140.630,00 | 41.136,68  | 30.419,70  | 76.069,43  | 175.719,00 |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A7

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37  | Sektor 38    | Sektor 39  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|------------|--------------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 49.949,43  | 165.424,00 | 221.470,00   | 29.191,87  |
|           |                                     | 1997 | 68.040,99  | 245.104,00 | 1.310.170,00 | 110.306,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.907,35   | 4.277,75   | 22.515,89    | 651,26     |
|           |                                     | 1997 | 5.426,96   | 11.022,66  | 151.487,00   | 1.962,71   |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 53.959,48  | 51.589,08  | 33.350,94    | 55.215,57  |
|           |                                     | 1997 | 224.923,00 | 219.327,00 | 78.862,87    | 228.387,00 |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 334.030,00 |            |              |            |
|           |                                     | 1997 | 521.709,00 |            |              |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 39.945,61  | 110.182,00 | 121.171,00   | 4.672,32   |
|           |                                     | 1994 | 56.126,60  | 159.239,00 | 657.039,00   | 11.570,17  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 694,00     | 670,00     | 5.974,00     | 340,77     |
|           |                                     | 1997 | 573,58     | 573,78     | 6.742,86     | 266,57     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 30.554,26  | 130.247,00 | 141.283,00   | 18.984,76  |
|           |                                     | 1997 | 37.110,67  | 171.017,00 | 834.447,00   | 71.701,28  |

Tabelle A8  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Kanada

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33  | Sektor 34 | Sektor 35  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 177.495,00 | 74.595,14 | 49.080,39  | 48.013,25 | 191.552,00 |
|           |                                     | 1997 | 195.367,00 | 49.844,40 | 51.910,78  | 66.013,74 | 328.141,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 284,81     | 56,14     | 24,73      | 243,79    | 944,33     |
|           |                                     | 1997 | 381,28     | 153,28    | 71,31      | 425,30    | 2.358,26   |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 4.820,87   | 5.049,55  | 5.080,95   | 4.861,89  | 4.161,36   |
|           |                                     | 1997 | 12.918,02  | 13.146,01 | 13.227,98  | 12.873,99 | 10.941,03  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 |            |           | 390.897,00 |           |            |
|           |                                     | 1997 |            |           | 736.967,00 |           |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 10.649,54  | 2.178,89  | 3.974,03   | 17.086,67 | 10.330,27  |
|           |                                     | 1996 | 12.820,59  | 3.334,14  | 6.137,16   | 28.732,87 | 23.445,98  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 230,47     | 218,82    | 124,01     | 205,50    | 138,19     |
|           |                                     | 1997 | 227,53     | 150,67    | 179,21     | 221,80    | 191,50     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 120.479,00 | 43.824,08 | 30.295,20  | 26.199,18 | 113.960,00 |
|           |                                     | 1997 | 135.151,00 | 34.254,56 | 32.849,26  | 39.628,59 | 206.292,00 |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A8

| Variablen             | Einheit                                | Jahr | Sektor 36 | Sektor 37  | Sektor 38  | Sektor 39 |
|-----------------------|----------------------------------------|------|-----------|------------|------------|-----------|
| Y                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1970 | 40.400,71 | 112.436,00 | 429.614,00 | 8.352,81  |
|                       |                                        | 1997 | 55.054,47 | 139.606,00 | 864.940,00 | 8.857,47  |
| W                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1975 | 47,51     | 579,84     | 2.878,43   | 46,11     |
|                       |                                        | 1997 | 54,96     | 727,99     | 8.995,97   | 130,93    |
| <i>E<sup>in</sup></i> | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1975 | 5.058,17  | 4.525,84   | 2.227,26   | 5.059,57  |
|                       |                                        | 1997 | 13.244,33 | 12.571,30  | 4.303,33   | 13.168,36 |
| <i>E<sup>au</sup></i> | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1975 |           | 390.897,00 |            |           |
|                       |                                        | 1997 |           | 736.967,00 |            |           |
| K                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1970 | 3.677,74  | 11.197,39  | 13.515,61  | 579,80    |
|                       |                                        | 1996 | 3.690,78  | 14.126,18  | 33.300,76  | 1.031,48  |
| L                     | Erwerbstätige<br>in 1000               | 1970 | 50,09     | 109,85     | 540,94     | 20,89     |
|                       |                                        | 1997 | 46,95     | 79,19      | 685,40     | 28,86     |
| Z                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1970 | 20.330,88 | 74.004,03  | 244.021,00 | 4.176,40  |
|                       |                                        | 1997 | 32.092,26 | 89.943,48  | 570.521,00 | 4.979,25  |

Tabelle A9  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Niederlande

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33 | Sektor 34 | Sektor 35 |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 25.860,49  | 6.764,33  | 4.160,28  | 9.668,34  | 15.907,32 |
|           |                                     | 1997 | 42.765,60  | 5.406,71  | 4.001,31  | 16.210,78 | 48.098,43 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 484,71     | 35,37     | 11,05     | 27,07     | 2.513,13  |
|           |                                     | 1996 | 940,57     | 59,57     | 32,87     | 63,95     | 4.585,69  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 6.972,96   | 7.422,29  | 7.446,61  | 7.430,59  | 4.944,53  |
|           |                                     | 1996 | 12.444,03  | 13.325,03 | 13.351,73 | 13.320,64 | 8.798,90  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 388.565,00 |           |           |           |           |
|           |                                     | 1997 | 750.319,00 |           |           |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 5.670,37   | 1.679,28  | 703,86    | 4.040,32  | 15.776,58 |
|           |                                     | 1994 | 15.216,77  | 1.787,66  | 1.296,45  | 8.271,20  | 22.778,82 |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 213,22     | 167,55    | 58,73     | 123,40    | 134,25    |
|           |                                     | 1997 | 145,75     | 42,87     | 41,82     | 112,33    | 116,57    |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 20.838,09  | 4.137,39  | 2.371,60  | 5.964,39  | 9.796,49  |
|           |                                     | 1997 | 32.384,67  | 3.852,42  | 2.537,45  | 9.569,08  | 30.879,46 |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A9

| Variablen             | Einheit                                | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38 | Sektor 39* |
|-----------------------|----------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|------------|
| Y                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1970 | 3.259,98   | 8.135,60  | 26.035,04 | 506,75     |
|                       |                                        | 1997 | 5.105,91   | 5.278,56  | 53.740,33 | 839,15     |
| W                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1975 | 30,26      | 225,07    | 4.131,01  | –          |
|                       |                                        | 1996 | 56,45      | 310,82    | 7.315,35  | –          |
| <i>E<sup>in</sup></i> | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1975 | 7.427,40   | 7.232,59  | 3.326,66  | 7.457,66   |
|                       |                                        | 1996 | 13.328,15  | 13.073,77 | 6.069,25  | 13.365,27  |
| <i>E<sup>au</sup></i> | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1975 | 388.565,00 |           |           |            |
|                       |                                        | 1997 | 750.319,00 |           |           |            |
| K                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1970 | 2.451,82   | 5.801,38  | 10.775,97 | 384,46     |
|                       |                                        | 1994 | 3.394,13   | 3.870,12  | 20.096,94 | 846,95     |
| L                     | Erwerbstätige<br>in 1000               | 1970 | 52,06      | 34,41     | 465,99    | 12,34      |
|                       |                                        | 1997 | 31,43      | 23,80     | 348,34    | 14,77      |
| Z                     | Mio. USD in konst.<br>Preisen von 1990 | 1970 | 1.776,80   | 6.398,91  | 14.490,50 | 284,27     |
|                       |                                        | 1997 | 2.970,68   | 3.164,89  | 33.800,03 | 449,65     |

Bemerkungen.\* Sektor 39 ging aufgrund fehlender F&E-Ausgaben nicht in die Regression ein.

Tabelle A10  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Norwegen

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33 | Sektor 34 | Sektor 35 |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 12.400,19  | 1.311,11  | 2.172,10  | 5.667,41  | 2.654,21  |
|           |                                     | 1997 | 10.494,04  | 886,48    | 3.066,56  | 6.393,72  | 6.917,08  |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 178,70     | 7,27      | 27,22     | 76,63     | 173,90    |
|           |                                     | 1997 | 212,10     | 21,38     | 40,30     | 111,90    | 517,49    |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.326,23   | 1.497,67  | 1.477,71  | 1.428,30  | 1.331,04  |
|           |                                     | 1997 | 2.753,07   | 2.943,80  | 2.924,88  | 2.853,27  | 2.447,69  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 394.531,00 |           |           |           |           |
|           |                                     | 1997 | 747.282,00 |           |           |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 4.475,39   | 326,90    | 1.024,46  | 2.300,84  | 1.458,71  |
|           |                                     | 1997 | 4.824,14   | 391,23    | 1.649,93  | 3.889,21  | 4.231,99  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 56,91      | 35,99     | 34,79     | 49,92     | 27,76     |
|           |                                     | 1997 | 52,93      | 8,52      | 24,09     | 45,59     | 25,45     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 9.671,22   | 728,99    | 1.305,97  | 3.716,90  | 1.747,16  |
|           |                                     | 1997 | 7.257,33   | 579,77    | 2.018,23  | 3.915,43  | 5.031,13  |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A10

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38 | Sektor 39 |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 1.245,19   | 2.499,88  | 9.200,89  | 323,72    |
|           |                                     | 1997 | 1.616,00   | 6.083,74  | 17.597,13 | 328,68    |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 30,67      | 82,17     | 914,78    | 13,60     |
|           |                                     | 1997 | 53,87      | 259,33    | 1.734,88  | 13,94     |
| $E^n$     | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.474,26   | 1.422,77  | 590,15    | 1.491,33  |
|           |                                     | 1997 | 2.911,31   | 2.705,84  | 1.230,30  | 2.951,23  |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 394.531,00 |           |           |           |
|           |                                     | 1997 | 747.282,00 |           |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 859,16     | 1.645,92  | 3.674,50  | 99,65     |
|           |                                     | 1997 | 1.040,40   | 2.677,30  | 5.052,08  | 108,40    |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 14,14      | 28,50     | 119,97    | 4,33      |
|           |                                     | 1997 | 8,36       | 18,89     | 111,91    | 4,04      |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 682,10     | 1.713,67  | 5.547,02  | 167,13    |
|           |                                     | 1997 | 1.027,66   | 4.781,56  | 11.951,37 | 187,10    |

Tabelle A11  
Start- und Endwerte der Datenreihen für Schweden

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32 | Sektor 33 | Sektor 34 | Sektor 35 |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 25.550,88  | 4.692,58  | 7.695,51  | 12.372,48 | 7.592,58  |
|           |                                     | 1997 | 15.841,35  | 2.076,93  | 13.302,27 | 19.784,48 | 24.351,91 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 299,49     | 30,27     | 17,76     | 263,00    | 788,65    |
|           |                                     | 1995 | 424,50     | 53,92     | 58,05     | 559,27    | 3.284,36  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 5.872,04   | 6.141,25  | 6.153,76  | 5.908,53  | 5.382,88  |
|           |                                     | 1995 | 18.076,37  | 18.446,95 | 18.442,82 | 17.941,60 | 15.216,51 |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 389.748,00 |           |           |           |           |
|           |                                     | 1997 | 750.319,00 |           |           |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 6.398,59   | 1.038,29  | 2.314,09  | 8.027,86  | 4.013,09  |
|           |                                     | 1994 | 6.852,55   | 1.019,08  | 4.489,81  | 13.271,09 | 8.099,88  |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 102,19     | 104,89    | 88,68     | 134,39    | 66,45     |
|           |                                     | 1997 | 68,65      | 17,16     | 52,27     | 112,86    | 67,37     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 21.212,23  | 2.728,34  | 4.752,70  | 7.318,60  | 4.566,85  |
|           |                                     | 1997 | 10.760,18  | 1.206,96  | 9.887,55  | 12.030,09 | 17.046,09 |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A11

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37 | Sektor 38 | Sektor 39 |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 3.565,98   | 4.486,90  | 32.876,22 | 398,47    |
|           |                                     | 1997 | 2.046,87   | 13.023,26 | 97.055,88 | 837,19    |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 132,10     | 271,42    | 4.354,10  | 14,74     |
|           |                                     | 1995 | 148,35     | 409,44    | 13.543,99 | 18,99     |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 6.039,42   | 5.900,11  | 1.817,43  | 6.156,78  |
|           |                                     | 1995 | 18.352,51  | 18.091,43 | 4.956,87  | 18.481,88 |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 389.748,00 |           |           |           |
|           |                                     | 1997 | 750.319,00 |           |           |           |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 1.683,16   | 2.336,59  | 10.235,04 | 93,51     |
|           |                                     | 1994 | 1.744,52   | 3.404,24  | 22.554,63 | 209,58    |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 46,80      | 71,96     | 436,13    | 24,34     |
|           |                                     | 1997 | 19,43      | 32,35     | 396,77    | 42,97     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 2.041,71   | 2.855,89  | 20.417,49 | 280,88    |
|           |                                     | 1997 | 1.055,36   | 9.979,44  | 68.424,15 | 451,13    |

Tabelle A12  
Start- und Endwerte der Datenreihen für die USA

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 31  | Sektor 32  | Sektor 33  | Sektor 34  | Sektor 35  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 261.408,00 | 91.276,13  | 58.268,91  | 165.033,00 | 229.421,00 |
|           |                                     | 1997 | 392.879,00 | 156.015,00 | 122.783,00 | 270.417,00 | 622.798,00 |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 2.890,71   | 440,69     | 690,47     | 2.672,25   | 32.464,76  |
|           |                                     | 1997 | 5.859,20   | 1.463,45   | 1.445,96   | 5.666,58   | 74.841,93  |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 168.150,00 | 170.600,00 | 170.350,00 | 168.369,00 | 138.576,00 |
|           |                                     | 1997 | 424.991,00 | 429.386,00 | 429.404,00 | 425.183,00 | 356.008,00 |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 216.351,00 |            |            |            |            |
|           |                                     | 1997 | 332.430,00 |            |            |            |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 43.283,78  | 15.658,35  | 15.599,12  | 55.655,63  | 105.018,00 |
|           |                                     | 1996 | 104.226,00 | 33.875,07  | 29.507,83  | 127.553,00 | 258.913,00 |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 1.815,00   | 2.568,00   | 1.164,00   | 1.759,00   | 1.799,00   |
|           |                                     | 1997 | 1.716,00   | 1.538,00   | 1.395,00   | 2.237,00   | 2.148,00   |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 182.109,00 | 57.240,73  | 31.470,61  | 89.639,68  | 154.280,00 |
|           |                                     | 1997 | 286.206,00 | 102.262,00 | 77.340,42  | 158.182,00 | 407.002,00 |

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle A12

| Variablen | Einheit                             | Jahr | Sektor 36  | Sektor 37  | Sektor 38    | Sektor 39  |
|-----------|-------------------------------------|------|------------|------------|--------------|------------|
| Y         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 35.354,48  | 140.694,00 | 462.857,00   | 23.556,16  |
|           |                                     | 1997 | 72.711,28  | 178.926,00 | 1.778.400,00 | 47.539,74  |
| W         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 1.675,19   | 3.159,08   | 125.428,00   | 1.619,67   |
|           |                                     | 1997 | 2.554,87   | 4.533,11   | 332.142,00   | 2.342,66   |
| $E^{in}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 169.366,00 | 167.882,00 | 45.612,81    | 169.421,00 |
|           |                                     | 1997 | 428.295,00 | 426.317,00 | 98.707,75    | 428.507,00 |
| $E^{au}$  | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1975 | 216.351,00 |            |              |            |
|           |                                     | 1997 | 332.430,00 |            |              |            |
| K         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 15.048,39  | 57.596,63  | 120.997,00   | 5.138,44   |
|           |                                     | 1996 | 27.160,39  | 63.250,13  | 403.529,00   | 9.227,10   |
| L         | Erwerbstätige in 1000               | 1970 | 643,00     | 1.248,00   | 7.748,00     | 433,00     |
|           |                                     | 1997 | 565,00     | 706,00     | 8.022,00     | 446,00     |
| Z         | Mio. USD in konst. Preisen von 1990 | 1970 | 18.042,38  | 88.595,54  | 252.147,00   | 13.418,76  |
|           |                                     | 1997 | 45.160,38  | 128.313,00 | 1.114.520,00 | 27.199,84  |

## Literaturverzeichnis

- Aghion*, Philippe; *Howitt*, Peter (1988): Growth and Cycles Through Creative Destruction, nicht veröffentlicht, Universität Western Ontario.
- (1990): A Model of Growth Through Creative Destruction, in: NBER Working Paper, Nr. 3223, Cambridge, MA.
  - (1992): A Model of Growth Through Creative Destruction, in: *Econometrica*, Jg. 60, Nr. 2 (März), S. 323-351.
  - (1998): Endogenous Growth Theory, MIT Press: Cambridge MA, London UK.
- Arrow*, Kenneth J. (1962): Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention, in: R. R. Nelson (Hrsg.): The Rate and Direction of Inventive Activities, Princeton University Press, S. 609-625.
- Auer*, Ludwig von (1999): Ökonometrie – Eine Einführung, Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- Baltagi*, Badi H. (2001): Econometric Analysis of Panel Data, 2. Auflage, John Wiley & Sons: Chichester, New York, Weinheim et al.
- Barro*, Robert J.; *Sala-i-Martin*, Xavier (1995): Economic Growth, McGraw-Hill: New York et al.
- Belitz*, Heike; *Fleischer*, Frank (2000): Staatliche Förderung stützt den Neuaufbau der Industrieforschung in Ostdeutschland, in: DIW Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung, Jg. 69, Heft 2, Dunker & Humblot: Berlin, S. 272-294.
- Bernstein*, Jeffrey I. (1988): Costs of Production, Intra- and Interindustry R&D Spillovers: Canadian Evidence, in: Canadian Journal of Economics, Jg. 21, Nr. 2, S. 324-347.
- (1989): The Structure of Canadian Inter-Industry R&D Spillovers, and the Rates of Return to R&D, in: Journal of Industrial Economics, Jg. 37, Nr. 3, S. 315-328.
  - (1996): International R&D Spillovers Between Industries in Canada and the United States, Social Rates of Return and Productivity Growth, in: Canadian Journal of Economics, Papers and Proceedings, Jg. 29; S. S463-S467.

- Bernstein, Jeffrey I.; Mohnen, Pierre* (1998): International R&D Spillovers Between U.S. and Japanese R&D Intensive Sectors, in: *Journal of International Economics*, Jg. 44, Nr. 1, S. 315-338.
- Bernstein, Jeffrey I.; Nadiri, M. Ishaq* (1988): Interindustry R&D Spillovers, Rates of Return, and Production in High-Tech Industries, in: *American Economic Review, Papers and Proceedings*, Jg. 78, Nr. 2, S. 429-434.
- (1989): Research and Development and Intra-industry Spillovers: An Empirical Application of Dynamic Duality, in: *Review of Economic Studies*, Jg. 56, S. 249-269.
- (1991): Product Demand, Cost of Production, Spillovers, and the Social Rate of Return to R&D, in: *NBER Working Paper*, Nr. 3625, Cambridge MA.
- Bitzer, Jürgen* (2000): An Evolutionary View of Post-socialist Restructuring: From Science and Technology Systems to Innovation Systems; in: C. von Hirschhausen und J. Bitzer (Hrsg.): *The Globalisation of Industry and Innovation in Eastern Europe, From Post-socialist Restructuring to International Competitiveness*; Edward Elgar: Cheltenham UK, Northampton MA USA, S. 13-35.
- Bönte, Werner* (1996): F&E-Spillover und ihre Auswirkungen auf die Kosten der Produktion, in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, Jg. 216, Nr. 2; S. 209-225.
- Braconier, Henrik; Sjöholm, Fredrik* (1998): National and International Spillovers from R&D: Comparing a Neoclassical and an Endogenous Growth Approach, in: *Weltwirtschaftliches Archiv*, Jg. 134, Nr. 4, S. 638-663.
- Breitung, Jörg; Meyer, Wolfgang* (1994): Testing for Unit Roots in Panel Data: Are Wages on Different Bargaining Levels Cointegrated?, in: *Applied Economics*, Jg. 26, Nr. 4, S. 353-361.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f)* (2000): *Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands, Zusammenfassender Endbericht 1999*, Bonn.
- Coe, David T.; Helpman, Elhanan* (1995): International R&D Spillovers, in: *European Economic Review*, Jg. 39, Nr. 5, S. 859-887.
- Coe, David T.; Helpman, Elhanan; Hoffmaister, Alexander W.* (1997): North-South R&D Spillovers, in: *Economic Journal*, Jg. 107, S. 134-149.
- Edmond, Chris* (2001): Some Panel Cointegration Models of International R&D Spillovers, in: *Journal of Macroeconomics*, Jg. 23, Nr. 2, S. 241-260.

- Evenson, R.E.; Singh, L. (1997): Economic Growth, International Technology Spillovers and Public Policy: Theory and Empirical Evidence from Asia, in: Discussion Paper, Economic Growth Center Yale University, Nr. 777.*
- Fahrmeir, Ludwig; Künstler, Rita; Pigeot, Iris; Tutz, Gerhard (1999): Statistik: Der Weg zur Datenanalyse, 2. verb. Auflage, Springer: Berlin et al.*
- Feess, Eberhard (1997): Mikroökonomie – Eine spieltheoretisch- und anwendungsorientierte Einführung, Metropolis-Verlag: Marburg.*
- Fisher, Ronald A. (1932): Statistical Methods for Research Workers, 4. Auflage, Oliver and Boyd: Edinburgh.*
- Frankel, Marvin (1962): The Production Function in Allocation and Growth: A Synthesis, in: American Economic Review, Jg. 52, Nr. 5, S. 995-1022.*
- Frantzen, Dirk (1998): R&D, International Technical Diffusion and Factor Productivity, in: KYKLOS, Jg. 51, Nr. 4, S. 489-508.*
- Freeman, Christopher (1994): The Economics of Technical Change, in: Cambridge Journal of Economics, Jg. 18, Nr. 5, S. 463-514.*
- Freeman, Christopher; Soete, Luc (1997): The Economics of Industrial Innovation, 3. Auflage, The MIT Press: Cambridge MA.*
- Fritsch, Michael; Wein, Thomas; Ewers, Hans-Jörg (2001): Marktversagen und Wirtschaftspolitik: Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns, 4. verb. Auflage, Vahlen: München.*
- Godfrey, L.G. (1988): Misspecification Tests in Econometrics: The Lagrange Multiplier Principle and Other Approaches, Cambridge University Press: New York.*
- Goto, Akira; Suzuki, Kazuyuki (1989): R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries, in: Review of Economics and Statistics, Jg. 71, Nr. 4, S. 555-564.*
- Granger, Clive W. J.; Newbold, Paul (1974): Spurious Regressions in Econometrics, in: Journal of Econometrics, Jg. 2, S. 111-120.*
- Greene, William H. (2000): Econometric Analysis, 4. Auflage, Prentice Hall International: New Jersey.*
- Griliches, Zvi (1958): Research Costs and Social Returns: Hybrid Corn and Related Innovations, in: Journal of Political Economy, Jg. 66, S. 419-431.*
- (1973): Research Expenditures and Growth Accounting; in: B. R. Williams (Hrsg.): Science and Technology in Economic Growth, MacMillan: London, S. 59-83.

- (1979): Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth, in: *Bell Journal of Economics*, Jg. 10, Nr. 1, S. 92-116.
- (1992): The Search for R&D Spillovers, in: *Scandinavian Journal of Economics – Supplement*, Jg. 94, S. 29-47.
- Grossman*, Gene M.; *Helpman*, Elhanan (1991): *Innovation and Growth in the Global Economy*, The MIT Press: Cambridge MA , London UK.
- Grupp*, Hariolf (1997): *Messung und Erklärung des Technischen Wandels*, Springer-Verlag: Berlin.
- Gujarati*, Damodar N. (1995): *Basic Econometrics*, 3. Auflage, McGraw-Hill: New York, St. Louis, San Francisco.
- Hall*, Bronwyn H. (1995): The Private and Social Returns to Research and Development, in: Bruce L. R. Smith und Claude E. Barfield (Hrsg.): *Technology, R&D, and the Economy*, S. 140-183.
- Hall*, Bronwyn H.; *Mairesse*, Jaques (1995): Exploring the Relationship Between R&D and Productivity in French Manufacturing Firms, in: *Journal of Econometrics*, Jg. 65, S. 263-293.
- Hamilton*, James D. (1994): *Time Series Analysis*, Princeton University Press: Princeton NJ.
- Harhoff*, Dietmar (2000): R&D Spillovers, Technological Proximity, and Productivity Growth – Evidence from German Panel Data, in: *Schmalenbach Business Review*, Jg. 52, S. 238-260.
- Hippel*, Eric von (1988): *The Sources of Innovation*, Oxford University Press: Oxford.
- Hulten*, Charles R. (1991): The Measurement of Capital, in: E. R. Berndt und J. E. Triplett (Hrsg.): *Fifty Years of Economic Measurement: The Jubilee of the Conference on Research in Income and Wealth*, NBER Studies in Income and Wealth, Jg. 54, University of Chicago Press: Chicago, S. 119-158.
- Jacobs*, Bas; *Nahuis*, Richard; *Tang*, Paul J.G. (1999): Sectoral Productivity Growth and R&D Spillovers in the Netherlands, in: CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, Nr. 149, Den Haag.
- Jaffe*, Adam B. (1986): Technological Opportunity and Spillovers from R&D, in: *American Economic Review*, Jg. 76, Nr. 5, S. 984-1001.
- (1996): Economic Analysis of Research Spillovers: Implications for the Advanced Technology Program, in: Brandeis University und National Bureau

- of Economic Research, Gutachten, Dezember, verfügbar im Internet unter [www.atp.nist.gov].
- Jones, Charles I. (1998): Introduction to Economic Growth, W. W. Norton & Company: New York, London.*
- Judge, George G.; Griffiths W. E.; Hill, R. Carter; Lütkepohl, Helmut; Tsoung-Chao, Lee (1985): The Theory and Practice of Econometrics, John Wiley & Sons: New York, Chichester, Brisbane et al.*
- Kaiser, Ulrich (1999): Measuring Knowledge Spillovers in Manufacturing and Services: An Empirical Assessment of Alternative Approaches, in: ZEW Discussion Paper, Nr. 99-62.*
- Kao, Chihwa; Chiang, Min-Hsien; Chen, Bangtian (1999): International R&D Spillovers: an Application of Estimation and Inference in Panel Cointegration, in: Oxford Bulletin of Economics and Statistics, Jg. 61, Special Issue, S. 691-707.*
- Keller, Wolfgang (1998): Are International R&D Spillovers Trade-Related? Analyzing Spillovers Among Randomly Matched Trade Partners, in: European Economic Review, Jg. 42, Nr. 8, S. 1469-1481.*
- (1999): How Trade Patterns and Technology Flows Affect Productivity Growth, in: NBER Working Paper, Nr. 6990, Cambridge MA.
- Kromphardt, Jürgen (1993): Wachstum und Konjunktur: Grundlagen der Erklärung und Steuerung des Wachstumsprozesses, Schriftreihe: Grundriss der Sozialwissenschaft, Band 26, 3. völlig neubearbeitete Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht: Göttingen.*
- Langlois, Richard N. (2001): Science, Technology and Public Policy: Lessons from the Classical, unveröffentlichtes Manuskript.*
- Levin, Richard C.; Reiss, Peter C. (1988): Cost-Reducing and Demand-Creating R&D with Spillovers, in: Rand Journal of Economics, Jg. 19, Nr. 4, S. 538-556.*
- Los, Bart (1997): A Review of Interindustry Technology Spillover Measurement Methods, in: Discussion Paper, University of Twente, Faculty of Public Administration and Public Policy.*
- Lucas, Robert E. (1988): On the Mechanics of Economic Development, in: Journal of Monetary Economics, Jg. 22, Nr. 1, S. 3-42.*
- Machlup, Fritz (1962): The Production and Distribution of Knowledge in the United States, Princeton University Press: New Jersey.*

- Maddala, G.S.* (2001): Introduction to Econometrics, 3. Auflage, John Wiley & Sons: Chichester, New York, Weinheim, et al.
- Maddala, G.S.; Kim, In-Moo* (1998): Unit Roots, Cointegration, and Structural Change, Nachdruck 2000, Cambridge University Press: Cambridge.
- Mansfield, Edwin* (1968a): Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis, Norton & Company: New York.
- (1968b): The Economics of Technical Change, W. W. Norton & Company: New York.
- (1980): Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing, in: American Economic Review, Jg. 70, Nr. 5, S. 863-873.
- Meijl, Hans van* (1997): Measuring Intersectoral Spillovers: French Evidence, in: Economic Systems Research, Jg. 9, Nr. 1, S. 25-46.
- Mohnen, Pierre* (1990): New Technologies and Interindustry Spillovers, in: STI Review, Nr. 7, S. 131-147.
- (1992a): The Relationship Between R&D and Productivity Growth in Canada and Other Industrialised Countries, in: Ministry of Supply and Services Canada, Ottawa.
- (1992b): International R&D Spillovers in Selected OECD Countries, in: Working Paper, Universität von Kanada, Montréal, Nr. 9208.
- (1996): R&D Externalities and Productivity Growth, in: STI Review, Nr. 18, S. 39-66.
- Mohnen, Pierre; Lepine, Normand* (1991): R&D Spillovers and Payments for Technology: Canadian Evidence, in: Structural Change and Economic Dynamics, Jg. 2, Nr. 1, S. 213-228.
- Nadiri, M. Ishaq* (1993): Innovations and Technological Spillovers, in: NBER Working Paper, Nr. 4423, Cambridge MA.
- Nadiri, M. Ishaq; Prucha, Ingmar R.* (1996): Estimation of the Depreciation Rate of Physical and R&D Capital in the U. S. Total Manufacturing Sector, in: Economic Inquiry, Jg. 34 (January), S. 43-56.
- Nordhaus, William D.* (1969): Invention, Growth, and Welfare: A Theoretical Treatment of Technological Change, MIT Press: Cambridge MA.
- OECD* (1992): OECD Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data – Oslo Manual, OECD: Paris.

- (1993): Frascati Manual: Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development, in: The Measurement of Scientific and Technological Activities, OECD: Paris.
  - (2001): Main Science and Technology Indicators, Volume 2001/1, OECD: Paris.
  - Online-Datenbanken verfügbar im Internet unter [www.oecdsource.org].
- Øksendal*, Bernt (1995): Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications, 4. Auflage, Springer: Berlin, Heidelberg, et al.
- Pakes*, Ariel; *Schankerman*, Mark (1984): The Rate of Obsolescence of Patents, Research Gestation Lags, and the Private Return to Research Resources, in: Zvi Griliches (Hrsg.): R&D Patents, and Productivity, NBER Conference Report, University of Chicago Press: Chicago, S. 73-88.
- Park*, Walter G. (1995): International R&D Spillovers and OECD Economic Growth, in: Economic Inquiry, Jg. 33, S. 571-591.
- Pigou*, Arthur Cecil (1932): The Economics of Welfare, 4. Auflage, Nachdruck 1950, MacMillan & Co.: London.
- Pindyck*, Robert S.; *Rubinfeld*, David L. (1998): Mikroökonomie, 4. Auflage, Oldenburg Verlag: München.
- Ramanathan*, Ramu (1998): Introductory Econometrics with Applications, 4. Auflage, The Dryden Press: Fort Worth, Philadelphia, San Diego.
- Ravenscraft*, David; *Scherer*, F. M. (1982): The Lag Structure of Returns to R&D, in: Applied Economics, Jg. 14, S. 603-620.
- Reinganum*, J. F. (1989): The Timing of Innovation: Research, Development and Diffusion, in: R. Schmalensee und R. D. Willig (Hrsg.): Handbook of Industrial Organization, Bd. 1, New York: North Holland, S. 849-908.
- Romer*, Paul M. (1983): Dynamic Competitive Equilibria with Externalities, Increasing Returns and Unbounded Growth, Ph.D. Dissertation, Universität Chicago.
- (1986): Increasing Returns and Long-Run Growth, in: Journal of Political Economy, Jg. 94, Nr. 5, S. 1003-1037.
  - (1987): Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization, in: American Economic Review, Papers and Proceedings, Jg. 77, Nr. 2, S. 56-62.
  - (1990): Endogenous Technological Change, in: Journal of Political Economy, Jg. 98, Nr. 5, Teil 2, S. S71-S102.

- Say*, Jean-Baptiste (1821): A Treatise on Political Economy: Or the Production, Distribution and Consumption of Wealth, Reproduktion des Druckes von 1880, Nachdruck 1964, Augustus M. Kelley: Philadelphia.
- Scherer*, F. M. (1982): Inter-Industry Technology Flows and Productivity Growth, in: Review of Economics and Statistics, Jg. 64, Nr. 4, S. 627-634.
- Schmookler*, Jacob (1966): Invention and Economic Growth, Harvard University Press: Cambridge MA.
- Schumann*, Jochen; *Meyer*, Ulrich; *Ströbele*, Wolfgang (1999): Grundzüge der mikroökonomischen Theorie, 7. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer: Berlin.
- Schumpeter*, Joseph A. (1934): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung – Eine Untersuchung über Unternehmensgewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus, 9. Auflage, Nachdruck 1997, Duncker & Humblot: Berlin.
- (1942): Capitalism, Socialism and Democracy, Nachdruck 1975, Harper-Perennial: New York.
- Scitovsky*, Tibor (1954): Two Concepts of External Economies, in: Journal of Political Economy, Jg. 62, Nr. 2, S. 143-151.
- Segerstrom*, P. S.; *Anant*, T. C. A.; *Dinopoulos*, E. (1990): A Schumpeterian Model of the Product Life Cycle, in: American Economic Review, Jg. 80, Nr. 5, S. 1163-1190.
- Smith*, Adam (1776): An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, Band 1, 2. Auflage, Nachdruck 1880, herausgegeben von James E. Thorold Rogers, Clarendon Press: Oxford.
- Solow*, Robert M. (1956): A Contribution to the Theory of Economic Growth, in: Quarterly Journal of Economics, Jg. 70, S. 65-94.
- Sterlacchini*, Alessandro (1989): R&D, Innovations, and Total Factor Productivity Growth in British Manufacturing, in: Applied Economics, Jg. 21, S. 1549-1562.
- Stokey*, N. L. (1988): Learning by Doing and the Introduction of New Goods, in: Journal of Political Economy, Jg. 96, S. 701-717.
- Strack*, Dieter; *Helmschrott*, Helmut; *Schönherr*, Siegfried (1997): Measuring Capacity of National Economies Using Purchasing Power Parities, in: ifo-Institut für Wirtschaftsforschung, ifo-Studien zur Entwicklungsforschung, Nr. 29, Weltforum Verlag: München, Köln, London.

- Sveikauskas*, Leo (1981): Technological Inputs and Multifactor Productivity Growth, in: Review of Economics and Statistics, Jg. 63, S. 275-282.
- Swan*, T.W. (1956): Economic Growth and Capital Accumulation, in: Economic Record, Jg. 32, S. 334-361.
- Terleckyj*, Nestor E. (1974): Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: An Exploratory Study, in: National Planning Association, Washington, D.C.
- (1980): Direct and Indirect Effects of Industrial Research and Development on the Productivity Growth of Industries, in: J. W. Kendrick und B. N. Vaccara (Hrsg.): New Developments in Productivity Measurement and Analysis, The University of Chicago Press: Chicago, London, S. 359-386.
- Tirole*, Jean (1988): The Theory of Industrial Organisation, MIT Press: Cambridge MA, London UK.
- Tietze*, Jürgen (1996): Einführung in die angewandte Wirtschaftsmathematik, 6. verb. Auflage Vieweg: Braunschweig, Wiesbaden.
- Verbeek*, Marno (2000): A Guide to Modern Econometrics, John Wiley & Sons: Chichester.
- Verspagen*, Bart (1997a): Estimating International Technology Spillovers Using Technology Flow Matrices, in: Weltwirtschaftliches Archiv, Jg. 133, Nr. 2, S. 226-248.
- (1997b): Measuring Intersectoral Technology Spillovers: Estimates from the European and US Patent Office Databases, in: Economic Systems Research, Jg. 9, Nr. 1, S. 47-65.
- Wolf*, Edward N. (1997): Spillovers, Linkages and Technical Change, in: Economic Systems Research, Jg. 9, Nr. 1, S. 9-23.
- Wolf*, Edward N.; *Nadiri*, M. Ishaq (1993): Spillover Effects, Linkage Structure, and Research and Development, in: Structural Change and Economic Dynamics, Jg. 4, Nr. 2, S. 315-331.

## Personen- und Stichwortverzeichnis

- Absorptionskapazität 99  
Aghion, Philippe 28, 39–50, 110  
Anant, T. C. A. 39  
Arrow, Kenneth 19, 20  
Auer, Ludwig von 89
- Bönte, Werner 101  
Baltagi, Badi H. 88, 89  
Barro, Robert J. 22, 29, 31, 35, 41, 48, 52  
Bernstein, Jeffrey I. 53  
Bitzer, Jürgen 78  
Branconier, Henrik 62–69  
Breitung, Jörg 88
- Chen, Bangtian 62–69  
Chiang, Min-Hsien 62–69  
Coe, David T. 62–69
- Dinopoulos, E. 39
- Edmond, Chris 62–69  
Elastizität 93  
Evenson, R.E. 62–69  
Ewers, Hans-Jörg 23  
Exogene Schocks 78, 83
- F&E-Kapitalstock 55–60, 75–79  
– Anfangskapitalstock 84  
– Anfangskapitalstock  $A_0$  59–60  
– externer 57–59, 79–80, 90–91  
Fahrmeir, Ludwig 42  
Feess, Eberhard 21  
Fisher, Ronald A. 88  
Frankel, Marvin 28  
Frantzen, Dirk 62–69  
Freeman, Christopher 58, 110  
Fritsch, Michael 23
- Gesamt-Faktorproduktivität  
(1FP) 67, 70
- Godfrey, L.G. 89  
Goto, Akira 56, 59, 62–69  
Granger, Clive W. J. 88  
Greene, William H. 87, 88  
Grenzproduktivität 93–94, 96, 99, 103  
Griliches, Zvi 19–21, 53, 54, 56, 61  
Grossman, Gene M. 29, 39, 43  
Gujarati, Damodar N. 88
- Hall, Bronwyn H. 59  
Hamilton, James D. 88  
Helpman, Elhanan 29, 39, 43, 62–69  
Hippel, Eric von 58  
Howitt, Peter 28, 39–50, 110  
Hulten, Charles R. 57  
Humankapital 22, 28
- Innovationstheorie 55
- Jacobs, Bas 62–69  
Jaffe, Adam B. 20–21, 57  
Jones, Charles I. 54, 84  
Judge, George G. 89
- Kaiser, Ulrich 21  
Kao, Chihwa 62–69  
Keller, Wolfgang 62–69  
Kim, In-Moo 88  
Kostenfunktionsansatz 53  
Kromphardt, Jürgen 13
- Langlois, Richard N. 18  
Lepine, Normand 53  
Los, Bart 58  
Lucas, Robert E. 28
- Machlup, Fritz 19, 55  
Maddala, G.S. 88, 89  
Mairesse, Jaques 59  
Mansfield, Edwin 19, 62–69

- Marktversagen 21–22, 25, 110–117  
 Meijl, Hans van 62–69  
 Meyer, Ulrich 21  
 Meyer, Wolfgang 88  
 Mohnen, Pierre 20, 53, 57, 58, 62–69
- Nadiri, M. Ishaq 53, 59, 62–69  
 Nahuis, Richard 62–69  
 Newbold, Paul 88  
 Nordhaus, William D. 19–23, 55
- Panel-Datensatz 83  
 Panel-Schätzung 87  
 Park, Walter G. 21, 62–69  
 Perpetual inventory method (PIM)  
   56–60, 67, 70  
 Pigou, Arthur Cecil 18  
 Pindyck, Robert S. 21  
 Produktinnovation 73  
 Produktinnovationen 69  
 Produktionsfunktionsansatz 53, 73  
 Prozessinnovationen 69  
 Prucha, Ingmar R. 59
- Ramanathan, Ramu 88, 90  
 Reinganum, J. F. 42  
 Romer, Paul M. 20, 28–39  
 Rubinfeld, David L. 21
- Sala-i-Martin, Xavier 22, 29, 31, 35,  
   41, 48, 52  
 Say, Jean-Baptiste 18  
 Scherer, F. M. 69  
 Schmookler, Jacob 19, 55  
 Schumann, Jochen 21  
 Schumpeter, Joseph A. 54, 70, 76  
 Scitovsky, Tibor 21  
 Segerstrom, P. S. 39  
 Singh, L. 62–69  
 Sjöholm, Fredrik 62–69  
 Skalenenerträge 94, 113  
 Smith, Adam 17–18
- Soete, Luc 110  
 Solow, Robert M. 54  
 Spillover-Effekt  
   – ausgesendeter 25, 26, 48, 50, 97,  
     101, 108, 113–115, 117  
   – Begriffsherkunft 19  
   – Definition 20–23, 71  
   – empfangener 25, 26, 48, 50, 94,  
     97, 104, 108, 113–115, 117  
   – interindustrielle 62  
   – internationale 62  
   – Marktversagen durch 21–22, 25,  
     110–117  
 Sterlacchini, Alessandro 62–69  
 Stokey, N. L. 39  
 Ströbele, Wolfgang 21  
 Suzuki, Kazuyuki 56, 59, 62–69  
 Sveikauskas, Leo 62–69  
 Swan, T.W. 54
- Tang, Paul J. G. 62–69  
 Technischer Fortschritt 54–55, 70  
 Technisches Wissen 22, 75  
 Technologie-Nähe-Matrix (TNM)  
   57–59, 62–69, 71, 79, 111  
 Terleckyj, Nestor E. 56  
 Terlekyj, Nestor E. 62–69  
 Tirole, Jean 42
- Unternehmenspanel 61
- Verarbeitendes Gewerbe 82  
 Verbeek, Marno 87  
 Verspagen, Bart 21, 62–69
- Wachstumstheorie  
   – neoklassische 54  
 Wein, Thomas 23  
 Wettbewerbsfähigkeit 103, 115  
 Wissensdiffusion 58  
 Wissensentwertung 57, 59, 70, 84  
 Wissenskapitalstock 56  
 Wolf, Edward N. 62–69
- Zulieferung 74