

Wirkung von Forschung und Entwicklung auf das Wirtschaftswachstum

Gutachten des DIW Berlin
im Auftrag der KfW Bankengruppe (KfW)

Heike Belitz, Simon Junker, Alexander Schiersch und Maximilian Podstawski

Berlin, 16. Juni 2015

Kontakt:

DIW Berlin
Dr. Heike Belitz
E-Mail: hbelitz@diw.de
Tel.: 030 89789-664

Inhalt

0	Executive Summary	1
1	Einleitung	3
2	Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer.....	5
2.1	Einleitung	5
2.2	FuE-Investitionen im privaten und öffentlichen Bereich	5
2.2.1	FuE-Investitionen	5
2.2.2	FuE-Kapitalstöcke	12
2.3	FuE-Aufwendungen der Unternehmen nach Branchen.....	15
2.4	Zwischenfazit	23
3	Ökonometrische Analysen des Zusammenhangs von FuE und Wirtschaftswachstum	25
3.1	Panel-schätzungen	25
3.1.1	Einfluss der FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum	27
3.1.2	Nichtlineare Zusammenhänge zwischen FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum	30
3.1.3	Regionsspezifische Schätzungen.....	32
3.1.4	Zwischenfazit	35
3.2	Zeitreihenmodelle für Deutschland	36
3.2.1	Daten und deskriptive Analyse.....	37
3.2.2	Univariate Modelle	39
3.2.3	Multivariate Modelle	44
3.3	Einordnung der Ergebnisse	48
4	Literaturverzeichnis	56
5	Anhang	59
5.1	Methodische Anmerkungen	59
5.1.1	Berechnung von FuE-Kapitalstöcken.....	59
5.1.2	Nichtparametrische Oaxaca-Blinder-Zerlegung bzw. Shift-Share-Analyse.....	59
5.2	Abbildungen	61
5.3	Tabellen	68

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1:	FuE-Ausgaben und FuE-Intensität ausgewählter OECD-Länder 1995 und 2012	6
Tabelle 2-2:	Jährliches Wachstum der gesamten FuE-Ausgaben in ausgewählten Ländern 1995–2012	7
Tabelle 2-3:	Jährliches Wachstum der FuE-Ausgaben in Wirtschaft und öffentlichem Bereich in ausgewählten Ländern 1995-2012	8
Tabelle 2-4:	FuE-Intensität in der Wirtschaft in ausgewählten Ländern 1995 und 2012	10
Tabelle 2-5:	Rangfolge ausgewählter Länder nach der Größe der FuE-Investitionen und des FuE-Kapitals in Relation zum BIP 1995 und 2012	13
Tabelle 2-6:	Branchenkonzentration der FuE-Aufwendungen ausgewählter Länder 2011	15
Tabelle 2-7:	Relativer Anteil der FuE-Aufwendungen nach Branchen (RAF) im Vergleich zu Deutschland 2011	17
Tabelle 2-8:	Dekomposition der Abweichung der privatwirtschaftlichen FuE-Intensitäten von Deutschland und ausgewählten Vergleichsländern	22
Tabelle 2-9:	Beitrag ausgewählter Branchen zum Unterschied der privatwirtschaftlichen FuE-Intensität zwischen Deutschland und Vergleichsländern	23
Tabelle 3-1:	Schätzung für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen sowie privaten FuE - Ausgaben	28
Tabelle 3-2:	Schätzung für Produktionsfunktionen mit Polynomen für gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	31
Tabelle 3-3:	Schätzung für Produktionsfunktionen mit länderspezifischen Variablen für die gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	34
Tabelle 3-4:	Schätzungen der Produktionsfunktion mit verzögerten Forschungsinvestitionen.	40
Tabelle 3-5:	Ergebnisse der Schätzungen von ARDL-Modellen mit fixierten Verzögerungen (Spalte 1–3) und mit Variablenauswahl nach der general-to-specific Methode (Spalte 4 und 5).	41
Tabelle 3-6:	Granger-Kausalitäts-Tests für die gesamten Forschungsausgaben.	45
Tabelle 3-7:	Wirkung der Ausweitung der FuE-Investitionen um eine Mrd. Euro auf das BIP bei unterschiedlichen Output-Elastizitäten basierend auf der Schätzung der Produktionsfunktion in Tabelle 3-4.	49
Tabelle 5-1:	OLS-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	68
Tabelle 5-2:	OLS-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	69
Tabelle 5-3:	FE-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	70
Tabelle 5-4:	FE-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	71
Tabelle 5-5:	System GMM Schätzung für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	72

Tabelle 5-6:	System GMM Schätzung für Produktionsfunktionen mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben	73
Tabelle 5-7:	Schätzung für Produktionsfunktionen mit Polynomen für gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben – Teil A	74
Tabelle 5-8:	Schätzung für Produktionsfunktionen mit länderspezifischen Variablen für die gesamtwirtschaftliche FuE-Ausgaben und vier Regionen	77
Tabelle 5-9:	Schätzung für Produktionsfunktionen mit länderspezifischen Variablen für die gesamtwirtschaftliche FuE-Ausgaben und drei Regionen	78
Tabelle 5-10:	Schätzungen der Produktionsfunktion mit verzögerten Produktionsfaktoren	79
Tabelle 5-11:	Granger-Kausalitäts-Tests für die Forschungsausgaben in der Wirtschaft	79
Tabelle 5-12:	Granger-Kausalitäts-Tests für die Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich	79

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2-1:	Jährliches Wachstum des BIP in Relation zum Wachstum der FuE-Ausgaben insgesamt (GERD) und der Wirtschaft (BERD) 1995 – 2012 (in Prozent)	8
Abbildung 2-2:	FuE-Intensität in Deutschland in Wirtschaft und Staat 1995–2012 (in Prozent)	9
Abbildung 2-3:	FuE-Intensität in Wirtschaft und Staat 1981–2012 (in Prozent)	11
Abbildung 2-4:	Wachstumsraten der FuE-Kapitalstöcke (Nettoanlagevermögen) des Statistischen Bundesamtes und des DIW Berlin (in Prozent)	12
Abbildung 2-5:	FuE-Investitionsintensität ausgewählter Länder 1995–2012 (in Prozent)	14
Abbildung 2-6:	FuE-Intensität und Wertschöpfungsanteil FuE-intensiver Branchen im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland 1995–2012 (in Prozent)	18
Abbildung 2-7:	FuE-Intensität der Industriebranchen in Deutschland 2012 gemessen am Produktionswert und an der Wertschöpfung (in Prozent)	19
Abbildung 2-8:	FuE-Aufwendungen in Relation zur Wertschöpfung für ausgewählte Branchen in ausgewählten Ländern 2011 ¹⁾	20
Abbildung 2-9:	Dekomposition der Abweichung der privatwirtschaftlichen FuE-Intensitäten von Deutschland und ausgewählten Vergleichsländern 2009-2011	22
Abbildung 3-1:	Zusammenhang zwischen Wachstum der FuE-Ausgaben und dem BIP-Wachstum entsprechend der Spezifikation 8 in Tabelle 3-2	32
Abbildung 3-2:	Wachstumsraten des realen BIP und der realen Forschungsinvestitionen nach Bereich	38
Abbildung 3-3:	Kreuzkorrelationen zwischen den Wachstumsraten von GERD und BIP	39
Abbildung 3-4:	Koeffizient der gesamten FuE-Investitionen aus der Schätzung der Produktionsfunktion – wachsendes Fensters mit 90%-Konfidenzintervall.	43
Abbildung 3-5:	Koeffizient der gesamten FuE-Investitionen aus der Schätzung der Produktionsfunktion – rollierendes Fensters mit 90%-Konfidenzintervall.	43
Abbildung 3-6:	Kumulierte Impuls-Antwort basierend auf der Identifikation nach Blanchard und Quah (1989) ¹⁾	47

Abbildung 3-7: Häufigkeit von geschätzten Output-Elastizitäten von Forschungsinvestitionen in der Forschungsliteratur (Quelle: Hall et al., 2010).....	50
Abbildung 3-8: Häufigkeit von geschätzten Renditen von Forschungsinvestitionen in der Forschungsliteratur (Quelle: Hall et al., 2010).....	50
Abbildung 5-1: FuE-Intensität in Wirtschaft und Staat 1981–2012	61
Abbildung 5-2: Kreuzkorrelationen zwischen den Wachstumsraten von BERD und BIP	62
Abbildung 5-3: Kreuzkorrelationen zwischen den Wachstumsraten von PERD und BIP.....	62
Abbildung 5-4: Koeffizient der Forschungsinvestitionen in der Wirtschaft (BERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines wachsenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)	63
Abbildung 5-5: Koeffizient der Forschungsinvestitionen in der Wirtschaft (BERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines rollierenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)	63
Abbildung 5-6: Koeffizient der Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich (PERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines wachsenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)	64
Abbildung 5-7: Koeffizient der Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich (PERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines rollierenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)	64
Abbildung 5-8: Identifikation à la Blanchard und Perotti (1999) – GERD	65
Abbildung 5-9: Identifikation à la Blanchard und Perotti (1999) – BERD.....	66
Abbildung 5-10: Identifikation à la Blanchard und Quah (1988) – BERD.....	66
Abbildung 5-11: Identifikation à la Blanchard und Perotti (1999) – PERD.....	67
Abbildung 5-12: Identifikation à la Blanchard und Quah (1988) – PERD.....	67

0 Executive Summary

Forschung und Entwicklung (FuE) und Innovation gelten in entwickelten Volkswirtschaften als entscheidende Determinanten der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, der Produktivitätsentwicklung und des Wirtschaftswachstums. Das DIW Berlin hat im Auftrag der KfW Bankengruppe die Wirkung von Forschung und Entwicklung (FuE) auf das Wirtschaftswachstum in Deutschland und weiteren OECD-Ländern untersucht. Dabei wurde sowohl das FuE-Profil Deutschlands im internationalen Vergleich untersucht, als auch geprüft, ob und in welchem Ausmaß FuE-Ausgaben Wachstumsimpulse auslösen. Dazu wurde die Entwicklung der FuE-Investitionen im privaten und öffentlichen Bereich in den letzten Jahrzehnten beschrieben und der Zusammenhang zwischen FuE und Wirtschaftswachstum sowohl in Paneldatenmodellen für 19 Länder als auch in Zeitreihenmodellen für Deutschland analysiert.

Deutschland hat 2012 das Ziel nahezu erreicht, drei Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) in FuE zu investieren. Es liegt damit über dem Durchschnitt der OECD-Länder, noch vor den USA und weit vor Frankreich und Großbritannien. Unter den größeren forschungsstarken Ländern hatten im Jahr 2012 nur Korea, Finnland, Japan und Schweden höhere FuE-Intensitäten. Während in Deutschland die FuE-Aufwendungen im öffentlichen Bereich, zu dem die Hochschulen und staatlichen Forschungseinrichtungen zählen, von 1995 bis 2007 nur im gleichen Tempo wie das BIP stiegen, nahmen sie im Bereich der Wirtschaft schneller zu. Erst ab 2007 wuchs die FuE in beiden Bereichen schneller als das BIP. Insgesamt hat die FuE-Intensität in Deutschland also vor allem zuletzt deutlich und auch im internationalen Vergleich dynamisch zugenommen. Zu dieser Beschleunigung dürfte auch das bessere Zusammenspiel öffentlicher und privater FuE-Ausgaben beigetragen haben.

Die Wirtschaft in Deutschland trägt wie in vielen anderen forschungsintensiven Ländern bereits über einen längeren Zeitraum gut zwei Drittel zu den gesamten FuE-Investitionen bei. Die FuE-Intensität in der Wirtschaft von zwei Prozent, gemessen an der Wertschöpfung, lag 2012 gleichauf mit den USA und damit höher als in anderen großen europäischen Volkswirtschaften. Allerdings sind die privaten FuE-Intensitäten in Südkorea, Japan, Finnland und Schweden zum Teil sogar erheblich höher.

In Deutschland - wie in Japan und Südkorea - entfallen über 85 Prozent der FuE in der Wirtschaft auf die Branchen des verarbeitenden Gewerbes. In den USA sind es weniger als 70 Prozent, in Frankreich knapp 50 Prozent und in Großbritannien nur 37 Prozent. Im internationalen Vergleich ist die private FuE in Deutschland besonders auf forschungsintensive Industriezweige konzentriert und weniger auf Dienstleistungen.

Eine sektorale Dekomposition der bilateralen Unterschiede in der FuE-Intensität der Wirtschaft zwischen Deutschland und ausgewählten Ländern zeigt, dass der Struktureffekt und der Verhaltenseffekt eine etwa gleichgewichtige Rolle spielen. Während die FuE-Intensität in einigen Branchen in Deutschland niedriger ist als in Vergleichsländern und der Verhaltenseffekt somit oft negativ für Deutschland wirkt, profitiert Deutschland im internationalen Vergleich besonders von seiner Spezialisierung auf FuE-intensive Branchen (Struktureffekt).

In Deutschland fällt fast ein Drittel der privaten FuE-Aufwendungen im Kraftfahrzeugbau an. Dies wird oft kritisch gesehen, weil diese Branche dem Bereich der hochwertigen Technologie zugeordnet wird, in dem die FuE-Intensität gemessen am Produktionswert (der die Vorleistungsbezüge enthält) geringer ist als in der Spitzentechnologie. Bezieht man die FuE-Ausgaben jedoch auf die Wertschöpfung, so unterscheidet sich die so gemessene FuE-Intensität des Kraftfahrzeugbaus mit rund 20 Prozent kaum von der in den Spitzentechnologiebranchen Pharma oder Computer, Elektronik und Optik. Der deutsche Kraftfahrzeugbau hat damit bei hoher Wertschöpfung eine auch im internationalen Vergleich besonders hohe FuE-Intensität, die ihn für das Prädikat „Spitzentechnik“ qualifiziert.

Ein wesentlicher Beitrag der vorliegenden Studie ist die Quantifizierung der Wachstumswirkung von FuE-Ausgaben. Diese Fragestellung wird zum einen in einem Panel von 19 Ländern untersucht, zum anderen werden mittels Zeitreihenverfahren speziell die Effekte von FuE-Ausgaben in Deutschland analysiert. Beide Ansätze führen übereinstimmend zum dem Schluss, dass FuE-Investitionen¹ das Wirtschaftswachstum, gemessen am Bruttoinlandsprodukt, in einem Land fördern. So ergeben die Panelanalysen, dass eine Erhöhung des Wachstums der gesamtwirtschaftlichen Forschungsausgaben in den untersuchten OECD-Ländern um einen Prozentpunkt kurzfristig zu einer Erhöhung des BIP-Wachstums um durchschnittlich 0,05 Prozentpunkte führt. In den Zeitreihenmodellen für Deutschland findet sich sogar ein stärkerer Effekt, der in der präferierten Spezifikation knapp dreimal so hoch ist. Die Effekte lassen sich unter Rückgriff auf eine Produktionsfunktion, die FuE berücksichtigt, mit folgender Beispielrechnung für Deutschland im Jahr 2012 illustrieren: Bei Koeffizienten von 0,15 würde eine Ausweitung der FuE-Ausgaben um eine Mrd. Euro zu einer Erhöhung des BIP im folgenden Jahr führen, die – je nach unterstellter Abschreibungsrate der FuE-Investitionen – zwischen 470 Mio. (Abschreibungsrate von 5 Prozent auf den FuE-Kapitalstock) und gut einer Mrd. Euro (Abschreibungsrate von 15 Prozent) liegt. Folglich läge die Rendite von FuE-Investitionen je nach Abschreibungsrate etwa zwischen 40 und 90 Prozent.² Dabei deuten die Ergebnisse der Zeitreihenanalysen darauf hin, dass die Stärke des Wirkungszusammenhangs in Deutschland im Zeitverlauf abgenommen hat. Langfristig liegt der kumulierte Effekt einer einprozentigen Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben bei knapp 0,12 Prozentpunkten. Anzumerken ist allerdings, dass die Schätzung des Zusammenhangs für Deutschland auf einem relativ kleinen Sample basiert und mit erheblicher Unsicherheit verbunden ist.

Die ökonometrischen Analysen zeigen, dass FuE-Investitionen in Industrieländern ein zentraler Treiber für das Wachstum sind. Diese Wachstumserträge voll auszuschöpfen ist sicherlich nur dann möglich, wenn immer wieder neue Ideen für den Innovationsprozess entwickelt werden; allerdings spricht die hohe Rentabilität von FuE-Ausgaben dafür, dass ihre Finanzierung im Bedarfsfall erhebliche Wachstumsimpulse generieren kann. Der Einfluss der FuE im privaten und im öffentlichen Bereich ist dabei allerdings kaum zu trennen. Dies dürfte zum einen damit zusammenhängen, dass beide Bereiche in den nationalen Innovationssystemen der untersuchten Industrieländer eng zusammenwirken, wenn auch in den einzelnen Ländern und über die Zeit in unterschiedlicher Form. Zum anderen dürften die privaten FuE-Ausgaben angesichts der Globalisierung der Wertschöpfungsketten auf andere Länder ausstrahlen. Diese Spillovereffekte sind – nicht zuletzt mangels geeigneter Daten – nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, dürften aber die präzise Zuordnung nationaler privater FuE-Ausgaben und die Bestimmung ihrer Effekte erschweren.

Die gesamten FuE-Investitionen Deutschlands haben sich im Vergleich mit den forschungsstarken Wettbewerberländern in den letzten Jahren besonders gut entwickelt. Dies gilt auch für die FuE-Investitionen in den Teilbereichen Wirtschaft und öffentliche Forschung. Deutschland ist auf dem richtigen Weg, darf aber auch bei den Bemühungen, die FuE-Investitionen zu steigern, nicht nachlassen. Für ein Land, das seinen Wohlstand zu einem bedeutenden Anteil der FuE-intensiven Industrie und den produktionsnahen wissensintensiven Dienstleistungen verdankt, bleiben Investitionen in FuE eine zentrale Voraussetzung für das künftige Wachstum. Dabei wird das Zusammenwirken von öffentlicher und privater FuE-Tätigkeit im nationalen Innovationssystem immer wichtiger.

¹ In dieser Studie werden die Begriffe FuE-Investitionen und FuE-Ausgaben synonym verwendet.

² Die Berechnung von Wachstumseffekten erfolgt im Rahmen der im Abschnitt 3.1 diskutierten Cobb-Douglas Produktionsfunktion. Für die Schätzungen hat sich die Einbeziehung der Wachstumsrate der FuE-Ausgaben als zweckmäßig herausgestellt, da hierfür keine Berechnung des FuE-Kapitalstocks erforderlich ist. Diese benötigt explizite Annahmen, wie etwa die Konstanz der Abschreibungsquote und eine Quantifizierung derselben. Mit der hier verfolgten Vorgehensweise werden Ergebnisse vermieden, die maßgeblich auf die Konstruktion dieser Kapitalstockreihe zurückgehen.

1 Einleitung

Das DIW Berlin hat im Auftrag der KfW Bankengruppe (KfW) die Wirkung von Forschung und Entwicklung (FuE) auf das Wirtschaftswachstum in Deutschland und weiteren forschungsstarken OECD-Ländern untersucht. Dazu wurde die Entwicklung der FuE-Investitionen insgesamt sowie im privaten und öffentlichen Bereich in den letzten Jahrzehnten beschrieben und der Zusammenhang zwischen FuE und Wirtschaftswachstum sowohl in Paneldatenmodellen für 19 Länder als auch in Zeitreihenmodellen für Deutschland analysiert.

Forschung und Entwicklung sowie Innovation gelten in entwickelten Volkswirtschaften als entscheidende Determinanten der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, der Produktivitätsentwicklung und des Wirtschaftswachstums. Der Zusammenhang zwischen FuE und Produktion sowie Produktivität auf Länderebene ist bereits seit etwa 50 Jahren Gegenstand der Forschung (Griliches 1964). In verschiedenen Modellansätzen wird auf nationaler Ebene die Beziehung zwischen dem Bruttoinlandsprodukt oder dem BIP pro Kopf einerseits und der Beschäftigtenzahl, den Investitionen in Sach- und Humankapital, den FuE-Investitionen sowie weiteren Faktoren andererseits untersucht. Die empirischen Analysen nutzen sowohl Paneldatenmodelle wie etwa GMM als auch Zeitreihenmodelle.

Das Ziel der Studie ist es, auf Basis der Methoden und Ergebnisse der Literatur der letzten Jahre eine Analysestrategie zu entwickeln und in eigenen empirischen Untersuchungen die Wachstumswirkungen der FuE-Aufwendungen in Deutschland und in anderen entwickelten Volkswirtschaften der OECD zu untersuchen. Die Studie ist in zwei Module gegliedert.

1. Schwerpunkte der FuE-Ausgaben ausgewählter Länder

Im ersten Modul (Abschnitt 2) wird die Entwicklung der FuE-Aufwendungen im privaten und öffentlichen Bereich in Deutschland im Vergleich mit forschungsstarken OECD-Ländern im Zeitraum von 1995 bis 2012 untersucht. Neben den Wachstumsraten der FuE-Aufwendungen und den FuE-intensitäten werden auch FuE-Investitionsintensitäten berechnet, um zu prüfen, inwieweit die jährlichen FuE-Investitionen zur Erneuerung und Erweiterung des FuE-Kapitalstocks ausreichen. Schließlich widmet sich dieser Abschnitt auch dem internationalen Vergleich der Entwicklung der FuE-Investitionen vor allem in den FuE-intensiven Branchen.

2. Empirische Untersuchung der Wirkung von FuE auf das Wirtschaftswachstum

Schwerpunkt der Studie ist die empirische Analyse zum direkten Einfluss der FuE-Aufwendungen auf das Wirtschaftswachstum (BIP und BIP pro Kopf). Dazu werden sowohl Panelmodelle als auch Zeitreihenansätze genutzt (Abschnitt 4). Erstere messen vor allem kurzfristige Zusammenhänge während letztere, z.B. im Rahmen eines vektorautoregressiven Modells, auch langfristige Zusammenhänge schätzen. Während Panelmodelle die Zusammenhänge über die Zeit und im Querschnitt über die Untersuchungseinheiten (hier Länder) analysieren, verwenden Zeitreihenmodelle die Wechselwirkungen zwischen Variablen über den Zeitverlauf als Analysegegenstand. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Wirkungszusammenhänge von FuE-Investitionen und Wirtschaftswachstum innerhalb von Volkswirtschaften. Unberücksichtigt bleiben dabei etwa die Wirkungen internationaler Wissensflüsse durch Importe oder FuE-Kooperation innerhalb multinationaler Unternehmen auf das Wachstum.

Für den Vergleich der FuE-Ausgaben in Deutschland mit forschungsstarken Wettbewerberländern werden die Daten der OECD herangezogen. Die OECD-Datenbank MSTI (Main Science and Technology Indicators) vom Juni 2014 war Quelle für die internen FuE-Aufwendungen in der Volkswirtschaft insgesamt (Gross domestic Expenditure on Research and Development - GERD) sowie in der privaten Wirtschaft (Business Enterprise Expenditure on R&D - BERD) und im öffentlichen Bereich

1 Einleitung

(Public Institutions Expenditure on R&D - PERD).³ Für branchenbezogene Daten zu FuE wird die OECD-Datenbasis ANBERD (Analytical Business Enterprise Research and Development Database) nach der Wirtschaftszweigklassifikation ISIC Rev. 4 genutzt. Daten zur Wertschöpfung in derselben Wirtschaftszweigklassifikation liefert STAN (Structural Analysis Databases) der OECD. Am aktuellen Rand wurden teilweise Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen von Eurostat und aus nationalen Quellen ergänzt.

FuE-Aufwendungen werden in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen als Investitionen verstanden. Deshalb werden in dieser Studie die Begriffe FuE-Investitionen und FuE-Aufwendungen synonym verwendet. Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen FuE-Investitionen und Wirtschaftswachstum werden hier generell die Bruttoinvestitionen herangezogen. Die Verwendung von Brutto- anstatt von Nettoinvestitionen, deren Verwendung die Bestimmung von FuE-Kapitalstöcken voraussetzt, stellt sicher, dass es zu keiner Verzerrung der Zeitreihendynamik durch die Datenkonstruktion kommt und ist in der entsprechenden Literatur als Approximation etabliert.

Sowohl für die Panel- als auch für die Zeitreihenanalyse werden Daten zu weiteren Einflussfaktoren auf das Wachstum in den untersuchten Ländern, wie Investitionen in den physischen Kapitalstock,⁴ Beschäftigtenzahlen, Humankapital und das reale Bruttoinlandsprodukt den Penn World Tables (Version 8.0)⁵ entnommen. Die Preisbereinigung der nominalen Forschungsausgaben erfolgt mit dem BIP-Deflator aus der Datenbank der OECD und für Beobachtungen in Deutschland vor 1970 von AMECO (Europäische Kommission).⁶

Für die Zeitreihenanalyse in Deutschland wurden die Zeitreihen der OECD mit den FuE-Daten des Stifterverbandes der Deutschen Wissenschaft nach hinten verlängert. Da der Stifterverband auch die nationale Quelle für die OECD-Daten zu Deutschland ist, ist die Konsistenz der Zeitreihe sichergestellt. Somit steht eine hinreichend lange Zeitreihe von 1964 bis 2012 zur Verfügung.

³ Die internen FuE-Ausgaben in öffentlichen Einrichtungen wie Hochschulen und staatlichen FuE-Instituten (hier: PERD) ergeben sich hier aus der Differenz von GERD – BERD und entsprechen der Summe HERD (Expenditure on R&D in the Higher Education Sector) + GOVERD (Government Intramural Expenditure on R&D).

⁴ Doppelzählungen der Investitionen im FuE-Bereich für erworbene und selbst erstellte Anlagen müssen dabei in Kauf genommen werden. Angesichts der Größenordnungen dürften sie die Ergebnisse jedoch kaum beeinflussen.

⁵ Online: <http://www.rug.nl/research/ggdc/data/pwt/> (letzter Zugriff 15.1.2015)

⁶ Online: http://ec.europa.eu/economy_finance/ameco/user/serie/SelectSerie.cfm (letzter Zugriff 15.1.2015)

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

2.1 Einleitung

In Kapitel 2 wird die Entwicklung der FuE-Aufwendungen in Deutschland im Vergleich mit den wichtigsten Wettbewerberländern, den forschungsstarken OECD-Ländern, im Zeitraum von 1995 bis 2012 untersucht. Neben Deutschland werden Frankreich, Großbritannien, Italien, Österreich, die Schweiz, Finnland, Schweden, Dänemark, Belgien, die Niederlande, Spanien, die USA, Japan und Südkorea in die Analyse einbezogen.

Dabei wird im Abschnitt 2.2 zunächst gefragt, wie sich die FuE-Aktivitäten in diesen Ländern insgesamt, aber auch in der Wirtschaft und im öffentlichen Bereich (in den Universitäten und öffentlichen Forschungseinrichtungen) entwickelt haben. Für die Bewertung der Höhe der FuE-Aufwendungen im internationalen Vergleich werden zwei Maßstäbe verwendet. Die laufenden FuE-Aufwendungen werden zunächst ins Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) gesetzt. Diese FuE-Intensität misst den FuE-Input eines Jahres am volkswirtschaftlichen Output zum selben Zeitpunkt. Dies ist insofern unbefriedigend, als FuE erst mit einem gewissen Zeitverzug auf die Produktion wirkt. FuE-Aufwendungen werden deshalb auch als Investitionen verstanden und kapitalisiert. Das Verhältnis der FuE-Investitionen zum FuE-Kapitalstock stellt einen weiteren Referenzmaßstab im internationalen Vergleich dar. Diese FuE-Investitionsintensität misst, wie stark in die Erneuerung und Erweiterung des FuE-Kapitalstocks investiert wird.

In den OECD-Ländern entfallen in der Regel zwei Drittel der gesamten FuE-Aufwendungen auf die Wirtschaft. Ihre FuE-Intensität wird stark von der Branchenzusammensetzung beeinflusst. Der Abschnitt 2.3 widmet sich deshalb dem internationalen Vergleich der Entwicklung der FuE-Investitionen in den Branchen.

2.2 FuE-Investitionen im privaten und öffentlichen Bereich

2.2.1 FuE-Investitionen

Deutschland erreicht eine FuE-Intensität von 3 Prozent

Mit einer FuE-Intensität von 2,98 Prozent, gemessen an den gesamten FuE-Ausgaben (Gross Expenditure on R&D - GERD) in Relation zum Bruttoinlandsprodukt (BIP), hat Deutschland 2012 das Ziel nahezu erreicht, drei Prozent des BIP in FuE zu investieren. Es liegt damit über dem Durchschnitt der OECD-Länder (2,4 Prozent), aber auch vor den USA und weit vor Frankreich und Großbritannien (Tabelle 2-1). Im Zeitraum von 1995 bis 2012 hat Deutschland die Schweiz, die USA und Frankreich bei der FuE-Intensität überholt. Im Jahr 2012 hatten unter den großen forschungsstarken OECD-Ländern nur noch zwei eine höhere FuE-Intensität: Südkorea und Japan. Anders als viele andere Vergleichsländer hat Deutschland seinen Anteil an den gesamten FuE-Ausgaben der OECD-Länder, gemessen in Kaufkraftparitäten (KKP), leicht erhöht. Unter den forschungsstarken Ländern steht es mit seinem Anteil von 9,2 Prozent damit an dritter Stelle nach den USA (41 Prozent) und Japan (13,7 Prozent) (Tabelle 2-1).

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Tabelle 2-1: FuE-Ausgaben und FuE-Intensität ausgewählter OECD-Länder 1995 und 2012

	Anteil an OECD (in KKP)		FuE-Intensität			
	1995	2012	1995	2012	1995	2012
		In %			Ränge	
Südkorea	3,0	5,9	2,30	4,36	5	1
Finnland	0,5	0,7	2,26	3,55	7	2
Schweden	1,4	1,3	3,26	3,41	1	3
Japan	18,7	13,7	2,87	3,35	2	4
Dänemark	0,5	0,6	1,82	2,98	11	5
Deutschland	9,1	9,2	2,19	2,98	8	5
Schweiz ⁽¹⁹⁹⁶⁾	1,1	1,2	2,59	2,96	3	7
Österreich	0,7	1,0	1,55	2,84	13	8
USA	41,6	41,0	2,40	2,79	4	9
Frankreich	6,2	5,0	2,28	2,29	6	10
Belgien	0,9	0,9	1,67	2,24	12	11
Niederlande	1,5	1,4	1,97	2,16	9	12
Großbritannien	4,9	3,5	1,88	1,73	10	13
Spanien	1,1	1,8	0,79	1,30	15	14
Italien	2,6	2,4	0,97	1,27	14	15
OECD	100	100	2,01	2,40	-	-

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Überdurchschnittliches Wachstum von FuE in den letzten Jahren

Im Zeitraum von 1995 bis 2012 wuchsen die gesamten FuE-Investitionen in Deutschland im Durchschnitt real (in Kaufkraftparitäten zu Preisen von 2005) um 3,2 Prozent jährlich und damit etwas weniger als im restlichen OECD-Raum. Allerdings hat sich das Wachstum in Deutschland beschleunigt und lag mit gut vier Prozent im Zeitraum von 2005 bis 2012 deutlich über dem Durchschnittswachstum der OECD. Nach 2005 wuchsen die FuE-Aufwendungen nur in Südkorea schneller als in Deutschland (Tabelle 2-2).

Die positive Entwicklung der FuE-Investitionen in Deutschland nach 2005 ging mit einer deutlichen Beschleunigung des Wachstums einher. So sieht die Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ des Deutschen Bundestages das Jahr 2005 – bei aller Schwierigkeit der exakten Datierung – als Beginn einer neuen Entwicklungsphase der deutschen Volkswirtschaft mit einem spezifischen „Wachstumsregime“. Nach einem im Vergleich der EU-Länder besonders schwachen Wachstum in Deutschland von 1989 bis 2005, begann eine Phase, die durch einen Wachstumsschub gekennzeichnet war. Die deutsche Industrie, in der sich die privaten FuE-Aktivitäten konzentrieren (siehe auch Abschnitt 2.3), erlebte dabei eine Renaissance mit wieder zunehmender Beschäftigung. Auch den dramatischen weltwirtschaftlichen Einbruch des Jahres 2009 als Folge der weltweiten Finanzkrise hat Deutschland europaweit mit am besten verkraftet. Die deutsche Wirtschaftsstruktur mit einer starken weltmarktorientierten Industrie erweist sich als nachhaltig (Kommission 2013).

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Tabelle 2-2: Jährliches Wachstum der gesamten FuE-Ausgaben in ausgewählten Ländern 1995–2012

	1995-2012	1995-2005	2005-2012	1995-2012	1995-2005	2005-2012
	ln %			Ränge		
Südkorea	8,3	6,9	10,3	1	4	1
Deutschland	3,2	2,6	4,0	8	11	2
Belgien	3,5	3,2	4,0	6	8	3
Schweiz (96,04)	3,0	2,8	3,5	9	9	4
Österreich	5,7	7,3	3,6	2	3	5
Dänemark	4,2	5,2	2,9	5	5	6
USA	3,4	3,9	2,8	7	7	7
Niederlande	2,5	2,3	2,7	11	13	8
Spanien	5,3	7,3	2,5	3	2	9
Frankreich	1,6	1,3	1,9	15	15	10
Italien	2,2	2,6	1,7	12	10	11
Finnland	5,3	8,3	1,2	4	1	12
Schweden	2,8	4,0	1,1	10	6	13
Großbritannien	1,7	2,3	0,7	14	14	14
Japan	1,7	2,5	0,6	13	12	15
OECD	3,4	3,7	2,9	-	-	-

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

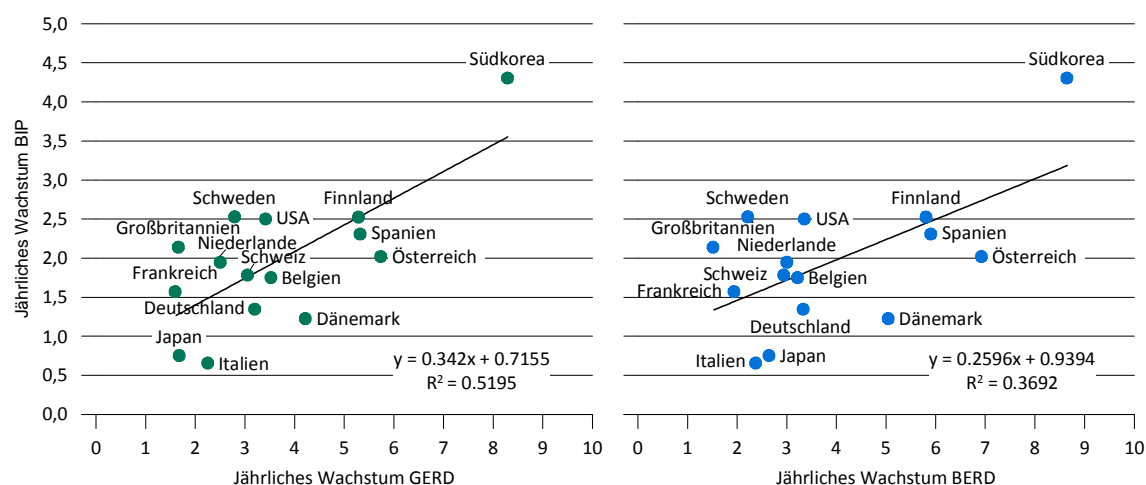
Ein erster Blick auf die Relation zwischen dem durchschnittlichen jährlichen Wachstums der FuE-Investitionen sowohl insgesamt als auch in der Wirtschaft einerseits und dem durchschnittlichen jährlichen Wachstum des BIP andererseits lässt in den 15 OECD-Ländern einen positiven Zusammenhang vermuten (Abbildung 2-1). Unter der Annahme eines linearen Zusammenhangs führt eine Erhöhung des jährlichen Wachstums der gesamten FuE-Investitionen um einen Prozentpunkt in der Periode 1995-2012 zu einer Erhöhung des jährlichen Wachstums des BIP um rund 0,34 Prozentpunkte. Der Koeffizient für die FuE-Aufwendungen in der Wirtschaft ist mit 0,26 Prozentpunkten etwas kleiner. Inwieweit sich der Zusammenhang mit statistischen Panelregressionsmethoden für einen größeren Länderkreis und in einem längeren Zeitraum bestätigen lässt, wird in Kapitel 3 detailliert untersucht.

Starkes Wachstum von FuE im öffentlichen Bereich ab 2007

In Deutschland beschleunigte sich das durchschnittliche Wachstum der FuE-Investitionen im längerfristigen Vergleich sowohl in der Wirtschaft als auch im öffentlichen Bereich. Deutschland erreichte im Zeitraum von 2005 bis 2012 in der Wachstumshierarchie der 15 Länder in der Wirtschaft den vierten Platz (nach dem 10. Platz in der Vorperiode 1995-2005) und im öffentlichen Bereich sogar den zweiten Platz (nach dem 12. Platz in der Vorperiode) (Tabelle 2-3).

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Abbildung 2-1: Jährliches Wachstum des BIP in Relation zum Wachstum der FuE-Ausgaben insgesamt (GERD) und der Wirtschaft (BERD) 1995 – 2012 (in Prozent)



Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Tabelle 2-3: Jährliches Wachstum der FuE-Ausgaben in Wirtschaft und öffentlichem Bereich in ausgewählten Ländern 1995-2012

	Wirtschaft				Öffentlicher Bereich			
	1995-2005	2005-2012	1995-2005	2005-2012	1995-2005	2005-2012	1995-2005	2005-2012
	In %		Ränge		In %		Ränge	
Südkorea	7,3	10,6	4	1	5,5	9,6	3	1
Belgien	2,7	4,0	11	2	4,3	4,1	6	3
Niederlande	2,5	3,7	12	3	2,2	1,5	10	11
Deutschland	3,1	3,7	10	4	1,6	4,8	12	2
Österreich ⁽¹⁹⁹³⁾	9,1	3,3	2	5	3,7	4,0	7	4
USA	3,6	3,0	8	6	4,4	2,3	5	9
Italien	2,0	2,9	13	7	3,3	0,5	9	13
Schweiz ⁽¹⁹⁹⁶⁾	3,3	2,6	9	8	1,4	3,8	13	6
Frankreich	1,5	2,5	15	9	1,0	0,9	14	12
Dänemark	7,0	2,3	5	10	2,1	4,0	11	5
Spanien	8,5	2,3	3	11	6,1	2,8	1	8
Großbritannien	1,7	1,2	14	12	3,3	-0,1	8	15
Finnland	9,5	0,7	1	13	5,8	2,2	2	10
Japan	4,1	0,6	6	14	-1,5	0,5	15	14
Schweden	3,7	0,1	7	15	4,7	3,5	4	7
OECD	3,9	3,0	-	-	3,4	2,6	-	-

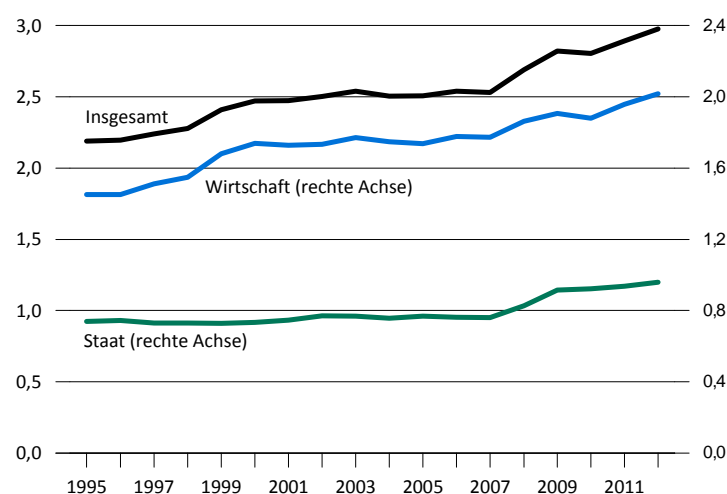
Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

In der Entwicklung der FuE-Aufwendungen in Relation zum BIP zeigen sich in Deutschland nach 1995 drei Phasen. Die gesamte FuE-Intensität stieg zunächst in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre, sie stagnierte dann bis 2007 und wuchs danach wieder deutlich (Abbildung 2-2). Dabei erhöhte sie sich in der ersten Phase nur in der Wirtschaft. Im öffentlichen Bereich, zu dem vor allem die Hochschulen und staatlichen Forschungseinrichtungen zählen, wuchsen die FuE-Aufwendungen von 1995 bis 2007 nur im gleichen Tempo wie das BIP. Erst nach 2007 nahmen die FuE-Investitionen in beiden

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Bereichen schneller zu als das BIP. Die realen FuE-Aufwendungen in der Wirtschaft erlebten nur 2009 und 2010 einen krisenbedingten Einbruch, der aber kaum größer war als der des BIP. Danach stiegen sie wieder schneller als das BIP. Im öffentlichen Bereich wuchsen die realen FuE-Ausgaben besonders nach 2007 und trugen so nicht nur zur Krisenbewältigung, sondern darüber hinaus zum weiteren Anstieg der gesamten FuE-Intensität bei. Im Vergleich zur Zeit vor 2007 kann man hier durchaus von einem Wechsel der Politik sprechen, die der öffentlichen Forschung nun eine höhere Bedeutung beimisst.⁷

Abbildung 2-2: FuE-Intensität in Deutschland in Wirtschaft und Staat 1995–2012 (in Prozent)



Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Zwei Drittel der internen FuE-Ausgaben entfallen auf die Wirtschaft

Die Wirtschaft trägt in Deutschland wie in vielen anderen forschungsintensiven Ländern bereits über einen längeren Zeitraum gut zwei Drittel zu den gesamten FuE-Investitionen bei. Die FuE-Intensität in der Wirtschaft, gemessen an der Wertschöpfung, lag 2012 wie in den USA bei rund zwei Prozent und damit höher als in den anderen großen europäischen Volkswirtschaften Frankreich und Großbritannien. Allerdings sind die privaten FuE-Intensitäten in Südkorea, Japan, Finnland und Schweden zum Teil sogar erheblich höher (Tabelle 2-4). Das sind auch die Länder, die insgesamt eine höhere FuE-Intensität als Deutschland aufweisen. Somit ist eine hohe FuE-Intensität in der Wirtschaft Voraussetzung für eine hohe gesamtwirtschaftliche FuE-Intensität. Dies zeigt sich auch im Vergleich des Beitrags von Wirtschaft und Staat zur langfristigen Entwicklung der FuE-Intensitäten in den ausgewählten OECD-Ländern. Dabei lassen sich grob drei Muster unterscheiden (Abbildung 2-3 und Abbildung 5-1):

1. In Ländern, die aktuell eine relativ hohe und gegenüber 1981 gestiegene FuE-Intensität aufweisen (USA, Deutschland, Schweden, die Schweiz sowie Japan), entfielen (fast) im gesamten Zeitraum mehr als zwei Drittel der gesamten FuE-Ausgaben auf die Wirtschaft. In den

⁷ Allerdings zeigen die ersten Daten für das Jahr 2013, das nicht mehr im hier untersuchten Zeitraum liegt, einen leichten Rückgang der FuE-Intensität auf 2,85 Prozent. Er ist teilweise auf eine geringere Dynamik im Wirtschaftssektor zurückzuführen; der größere Teil des Rückgangs ist jedoch statistischen Effekten geschuldet, wie der Umstellung der Berechnung des BIP nach ESVG 2010 und Meldekorrekturen in der Wirtschaft (EFI 2015).

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

meisten Jahren liegen die Punkte in der Abbildung 2-3 rechts der Linie, die das durchschnittliche Verhältnis der Beiträge von Wirtschaft und Staat in der OECD mit 2 zu 1 markiert. Ein Sonderfall des ersten Musters ist Japan, dessen sehr hohe FuE-Intensität fast ausschließlich vom überdurchschnittlichen Beitrag der Wirtschaft getragen ist. In Japan nahm der Anteil des Staates sogar langfristig ab.

2. In Ländern mit hoher und langfristig stark gestiegener FuE-Intensität (Österreich, Finnland, Dänemark, Südkorea) hatte der Staat zunächst einen Anteil von mehr als einem Drittel an den gesamten FuE-Ausgaben. Der Anstieg der FuE-Intensität war also zunächst vom öffentlichen Bereich getrieben, bevor dann die Wirtschaft das Zugpferd für die Steigerung der FuE-Intensität wurde. In diesen Ländern liegen die Punkte in der Abbildung 2-3 erst in den letzten Jahren deutlich rechts der Linie, die das durchschnittliche Verhältnis der Beiträge von Wirtschaft und Staat in der OECD mit 2 zu 1 markiert.⁸
3. Frankreich, Großbritannien, die Niederlande, Spanien und Italien haben aktuell eine mittlere oder relativ geringe FuE-Intensität und (fast) im gesamten Zeitraum entfielen weniger als zwei Drittel der gesamten FuE-Ausgaben auf die Wirtschaft und mehr als ein Drittel auf staatliche FuE-Einrichtungen. Besonders ungünstig schneidet Großbritannien ab, dessen FuE-Intensität langfristig sogar gesunken ist.

Dieser internationale Vergleich der langfristigen Entwicklung der FuE-Intensitäten von Wirtschaft und Staat zeigt, dass eine Erhöhung der FuE-Intensität in den bereits besonders FuE-intensiven Ländern vor allem von der Wirtschaft getrieben wurde. Bei der Steigerung der FuE-Intensität waren diejenigen Länder weniger erfolgreich, in denen im staatlichen Bereich dauerhaft mehr als ein Drittel der FuE-Aktivitäten stattfand.

Tabelle 2-4: FuE-Intensität in der Wirtschaft in ausgewählten Ländern 1995 und 2012

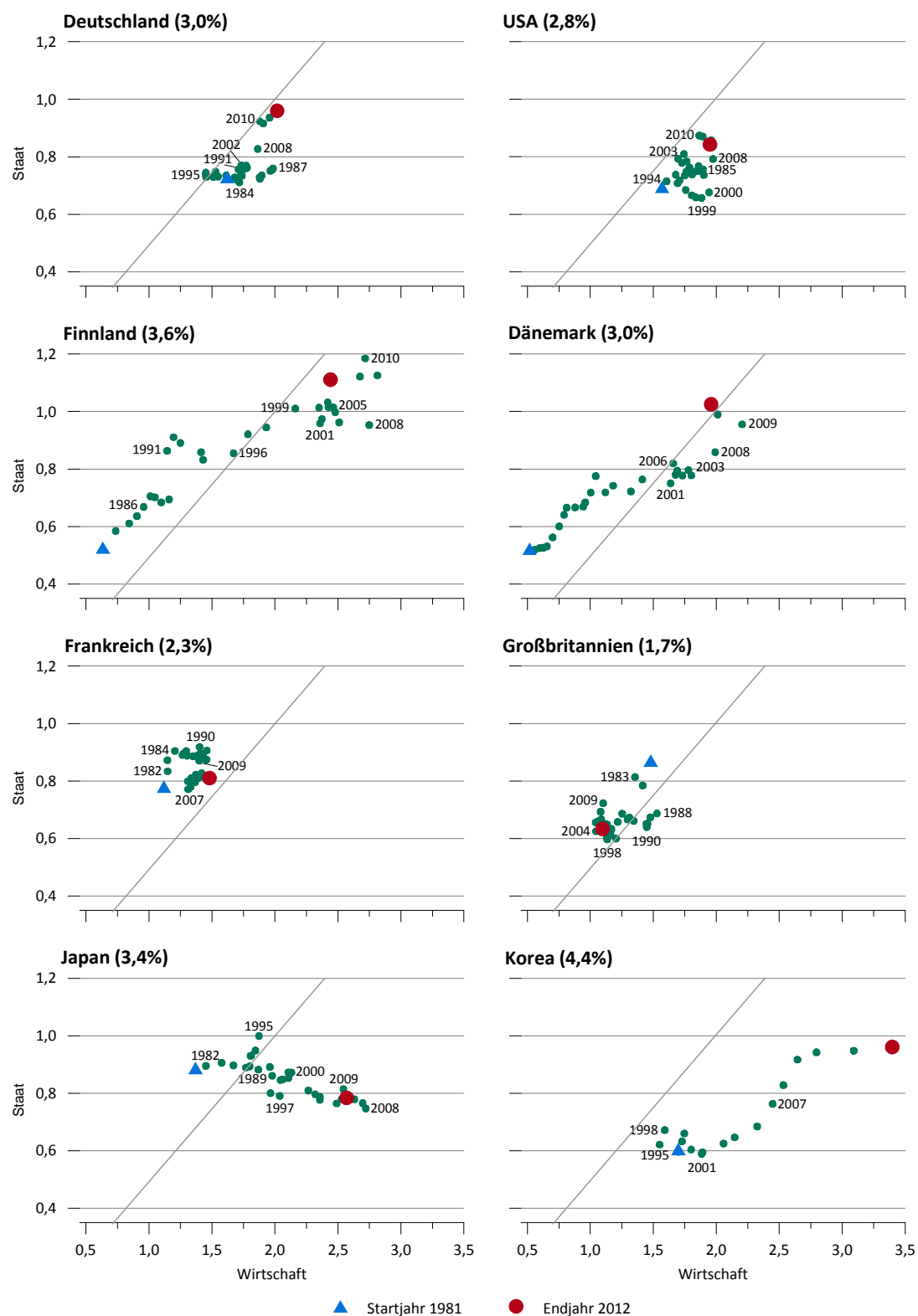
	FuE-Intensität				Anteil Wirtschaft an insgesamt	
	1995	2012	1995	2012	1995	2012
	In %		Ränge		In %	
Südkorea	1,7	3,4	4	1	74	78
Japan	1,9	2,6	2	2	65	77
Finnland	1,4	2,4	7	3	63	69
Schweden	2,4	2,3	1	4	75	68
Schweiz ⁽¹⁹⁹⁶⁾	1,8	2,1	3	5	71	70
Deutschland	1,4	2,0	6	6	66	68
Dänemark	1,0	2,0	11	7	57	66
Österreich ⁽¹⁹⁹³⁾	0,8	1,9	13	8	56	69
USA	1,7	1,9	5	9	71	70
Belgien	1,2	1,5	10	10	71	68
Frankreich	1,4	1,5	8	11	61	65
Niederlande	1,0	1,2	12	12	52	57
Großbritannien	1,2	1,1	9	13	65	63
Italien	0,5	0,7	14	14	53	55
Spanien	0,4	0,7	15	15	48	53
OECD	1,3	1,6	-	-	67	68

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

⁸ Für Südkorea weist die OECD erst ab 1995 Daten aus. 1980 lag der Anteil der FuE-Ausgaben im staatlichen Bereich dort bei 64 Prozent und die gesamte FuE-Intensität bei 0,77 Prozent (Lee 2011).

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Abbildung 2-3: FuE-Intensität in Wirtschaft und Staat 1981–2012 (in Prozent)



In Klammern gesamte FuE-Intensität 2012.

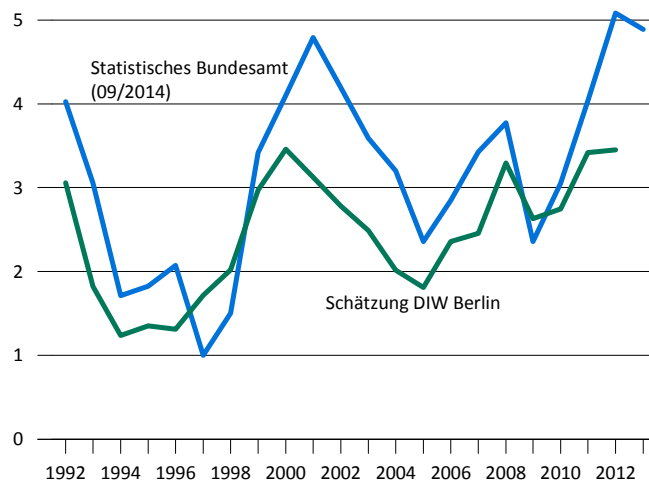
Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

2.2.2 FuE-Kapitalstöcke

Anders als andere laufende Aufwendungen für die Produktion wie Löhne und Vorleistungen gehen die Ergebnisse von FuE-Aufwendungen erst mit einem gewissen Zeitverzug in die Produktion ein. Sie werden deshalb in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen inzwischen auch als Investitionen verstanden und kapitalisiert (siehe Europäisches System der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ESVG 2010). Die FuE-Investitionen bilden über die Zeit einen Kapitalstock, der idealerweise entsprechend der Nutzungsdauer der FuE-Ergebnisse abgeschrieben wird (Adler, et al. 2014). Da zum Zeitpunkt dieser Untersuchung Ende des Jahres 2014 noch nicht aus allen Ländern amtliche Zahlen zum FuE-Kapitalstock vorlagen, werden hier FuE-Kapitalstöcke entsprechend den in der Literatur verwendeten Methoden geschätzt (siehe dazu Anlage 5.1).

Der auf Basis der FuE-Ausgaben zu konstanten Preisen für Deutschland berechnete FuE-Kapitalstock für 2012 ist etwa 15 Prozent höher als das vom Statistischen Bundesamt auf Basis detaillierterer Informationen, wie etwa differenzierter Nutzungsdauern nach Wirtschaftszweigen, berechnete Nettoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen (Adler, et al. 2014). Die Wachstumsraten der FuE-Kapitalstöcke des DIW Berlin und des Statistischen Bundesamtes sind jedoch sehr ähnlich (Abbildung 2-4). Somit liefern unsere Berechnungen des FuE-Kapitals mit der Perpetual-Inventory-Methode und einer Abschreibungsrate von 15 Prozent für den internationalen Vergleich eine gute Schätzung.

Abbildung 2-4: Wachstumsraten der FuE-Kapitalstöcke (Nettoanlagevermögen) des Statistischen Bundesamtes und des DIW Berlin (in Prozent)



Quellen: OECD, Stat. Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

Die Rangfolgen der FuE-Kapitalkoeffizienten (Kapitalstock in Relation zum BIP) und der FuE-Intensitäten (FuE-Investitionen in Relation zum BIP) unterscheiden sich am aktuellen Rand in den ausgewählten OECD-Ländern kaum. Größere Abweichungen der beiden Ränge treten allerdings für Südkorea auf, das gemessen am FuE-Kapitalkoeffizient nicht mehr an der Spitze der Rangfolge steht (Tabelle 2-5). Und dies, obwohl der FuE-Kapitalstock von Südkorea hier leicht überschätzt sein dürfte, da er auf den OECD-Daten für die FuE-Investitionen beruht, die erst ab 1991 vorliegen, als sie schon deutlich höher waren und stärker wuchsen als noch Anfang der 1980er Jahre (Lee 2011). Südkorea wurde später als andere OECD-Länder zu einem führenden forschungsintensiven Land, was sich

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

immer noch am geringeren Rangplatz, gemessen am FuE-Kapitalkoeffizienten im Vergleich zum Rang gemessen an der FuE-Intensität, zeigt.

Tabelle 2-5: Rangfolge ausgewählter Länder nach der Größe der FuE-Investitionen und des FuE-Kapitals in Relation zum BIP 1995 und 2012

	FuE-Investitionen		FuE-Kapital	
	1995	1995	2012	2012
Südkorea	4	10	1	4
Finnland	6	6	2	1
Schweden	1	1	3	2
Japan	2	2	4	3
Dänemark	10	11	5	5
Deutschland	7	4	5	6
Österreich	12	12	7	8
USA	3	3	8	7
Frankreich	5	5	9	9
Belgien	11	9	10	10
Niederlande	8	8	11	11
Großbritannien	9	7	12	12
Spanien	14	14	13	14
Italien	13	13	14	13

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Einen anderen wichtigen Referenzmaßstab für den internationalen Vergleich stellen die FuE-Investitionen eines Landes im Verhältnis zum FuE-Kapitalstock (FuE-Investitionskoeffizient) dar. Die Entwicklung dieses FuE-Investitionskoeffizienten zeigt, wie stark die Länder in die Erneuerung und Erweiterung ihres FuE-Kapitalstocks investieren. Solange der FuE-Investitionskoeffizient über der Abschreibungsrate des Wissens (hier 15 Prozent) liegt, wächst das FuE-Kapital. Ein über mehrere Jahre sinkender FuE-Investitionskoeffizient deutet auf eine Verlangsamung des Wachstums des FuE-Kapitals und schließlich auch auf die Gefahr seiner Aufzehrung hin.

In einigen Ländern mit höherer FuE-Intensität als in Deutschland, wie Finnland, Schweden und Japan, aber auch als in Dänemark und Großbritannien geht der FuE-Investitionskoeffizient bereits seit einigen Jahren tendenziell zurück (Abbildung 2-5). Am aktuellen Rand liegt er in Finnland, Schweden, Japan und Großbritannien nur noch knapp über der Abschreibungsrate von 15 Prozent. In Frankreich stagniert der Koeffizient seit Anfang der 2000er Jahre auf einem relativ niedrigen Wert. Dagegen zeigt der Koeffizient in Deutschland seit 2005 von einem damals vergleichsweise geringen Niveau einen steigenden Trend mit einem kurzen Einbruch in den Jahren der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise. Der deutsche Wert liegt am aktuellen Rand auch über dem der USA, wo er sich nach der Krise nicht so schnell erholte. Seit 2011 hat Deutschland nach Südkorea den zweithöchsten FuE-Investitionskoeffizienten. Somit zeigen sowohl die Höhe als auch das Wachstum des FuE-Investitionskoeffizienten in Deutschland in den letzten Jahren eine im internationalen Vergleich positive Entwicklung. Da mit dieser Kenngröße stärker als mit der FuE-Intensität ein mittelfristiger Trend erfasst wird, sind die Aussichten für die FuE-Investitionen in Deutschland im internationalen Vergleich positiv.

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Abbildung 2-5: FuE-Investitionsintensität ausgewählter Länder 1995–2012 (in Prozent)



Quelle: OECD (MSTI 06/2014). Berechnungen des DIW Berlin.

2.3 FuE-Aufwendungen der Unternehmen nach Branchen

Branchen betreiben mit unterschiedlicher Intensität FuE und profitieren in unterschiedlichem Maße von FuE. Somit trägt die Sektorstruktur einer Volkswirtschaft wesentlich zur Erklärung der Höhe der privaten FuE-Ausgaben bei. In diesem Abschnitt wird die Veränderung der Branchen-Schwerpunkte der FuE-Anstrengungen in Deutschland und ausgewählten Industrieländern in den letzten Jahren untersucht.

Deutschland: Konzentration der FuE in forschungsintensiven Industrien

Auf das verarbeitende Gewerbe entfallen in Deutschland, Japan und Südkorea mit über 85 Prozent deutlich größere Anteile der FuE in der Wirtschaft als in den USA mit weniger als 70 Prozent, in Frankreich mit knapp 50 Prozent und in Großbritannien mit nur 37 Prozent.

Zudem sind die FuE-Investitionen der Wirtschaft in Deutschland relativ stark auf wenige Branchen konzentriert. Gemessen am Anteil der drei forschungsstärksten Branchen nimmt Deutschland den 4. Platz unter 13 OECD-Ländern ein, gemessen am Herfindahl-Hirschmann-Index (HHI) auf der Basis von 27 Sektoren den 5. Platz (Tabelle 2-6). Höhere Konzentrationen weisen sowohl die großen Länder Südkorea und Japan als auch das deutlich kleinere Finnland auf. Diese Länder mit sehr starker Branchenkonzentration von FuE haben eine höhere gesamtwirtschaftliche FuE-Intensität als Deutschland. Aber auch die privaten FuE-Ausgaben in Großbritannien mit einer deutlich niedrigeren privaten FuE-Intensität sind ähnlich konzentriert wie in Deutschland. Interessant ist, dass der Dienstleistungssektor Forschung und Entwicklung in einigen Ländern die forschungsstärkste Branche ist (Österreich, Frankreich, Großbritannien) oder zu den forschungsstärksten Branchen gehört (Belgien, Dänemark, und Italien). Allerdings sind dies fast alle Länder mit einer geringeren gesamtwirtschaftlichen FuE-Intensität als in Deutschland, wo sich die FuE-Investitionen ähnlich wie in anderen besonders FuE-intensiven Ländern in produzierenden Sektoren konzentrieren.

Tabelle 2-6: Branchenkonzentration der FuE-Aufwendungen ausgewählter Länder 2011

	HH-Index		3 Branchen mit den höchsten FuE-Aufwendungen				
		Rang	in %	Rang			
Finnland	0,270	1	62,8	3	CEO	Maschinenbau	Elektrotechnik
Südkorea	0,266	2	67,0	1	CEO	KfZ	Maschinenbau
Japan	0,169	3	64,0	2	CEO	KfZ	Pharma
Großbritannien	0,154	4	48,0	5	FuE	KfZ	Sonst. Fahrzeugb.
Deutschland	0,149	5	54,4	4	KfZ	CEO	Maschinenbau
USA	0,125	6	46,9	6	CEO	Pharma	Sonst. Fahrzeugb.
Dänemark	0,115	7	42,0	8	Pharma	FuE	Maschinenbau
Belgien	0,109	8	42,2	7	Pharma	FuE	CEO
Frankreich	0,092	9	33,9	10	FuE	CEO	Sonst. Fahrzeugb.
Österreich	0,084	10	28,3	12	FuE	Elektrotechnik	Maschinenbau
Italien	0,081	11	36,1	9	CEO	KfZ	FuE
Spanien	0,067	12	28,2	13	Sonst. Fahrzeugb.	Pharma	KfZ
Niederlande	0,066	13	28,5	11	Maschinenbau	CEO	Chemie

CEO: Computer, Elektronik, Optik (WZ26).

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Um die Branchenkonzentration der privaten FuE-Aufwendungen international zu vergleichen, wird zudem der Anteil einer Branche an den privaten der FuE-Aufwendungen in jeweils einem Vergleichsland dem entsprechenden Anteil in Deutschland gegenübergestellt. Die Messgröße „Relativer Anteil der FuE-Aufwendungen f in der Branche i und im Vergleichsland l (RAF_{il})“ gibt an, ob ein Land einen höheren Anteil (positiver Wert) oder einen geringeren Anteil (negativer Wert) seiner FuE-Aufwendungen in der Wirtschaft in der Branche i investiert als Deutschland. Die FuE ist in Deutschland also auf die Branchen mit negativen Werten des RAF konzentriert.

$$1 \quad RAF_{il} = 100 \times \text{TANHYP} \left(\text{LN} \left(\frac{f_{il}}{\sum f_i} \right) - \text{LN} \left(\frac{f_{iDEU}}{\sum f_{iDEU}} \right) \right)$$

In Deutschland sind die FuE-Aufwendungen im internationalen Vergleich besonders auf das verarbeitende Gewerbe und dabei auf FuE-intensive Branchen konzentriert (negative RAF-Werte, in blau unterlegt in Tabelle 2-7). In den Sektoren außerhalb des verarbeitenden Gewerbes, bei den Dienstleistungen, im Infrastrukturbereich, im Bergbau und Baugewerbe, investieren jedoch fast alle Vergleichsländer anteilig mehr in FuE als Deutschland (positive RAF-Werte in Tabelle 2-7). Eine ähnliche Konzentration auf FuE im verarbeitenden Gewerbe wie in Deutschland weisen nur Japan und Südkorea auf. Im Kraftfahrzeugbau zeigen negative RAF-Werte aller Länder die Forschungsstärke Deutschlands. Kein anderes Land investiert einen größeren Anteil seiner privaten FuE-Aufwendungen im Kraftfahrzeugbau. Die FuE in Deutschland ist auch auf den Maschinenbau und die Chemie vergleichsweise stark konzentriert. Auf den Maschinenbau entfallen nur in Österreich und den Niederlanden deutlich höhere Anteile der FuE-Aufwendungen, auf die Chemie nur in den Niederlanden. Dagegen hat Deutschland eine relative Forschungsschwäche in der Branche Computer und Elektronik im Vergleich zu Südkorea, Finnland, Japan und den USA, die deutlich höhere Anteile ihrer privaten FuE-Aufwendungen in dieser Branche konzentrieren. In der Elektrotechnik ist das Bild gemischt: Deutschland investiert hier relativ mehr als die USA und Großbritannien, aber weniger als Österreich, die Niederlande und Finnland.

Im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland wurden im Zeitraum von 1995 bis 2012 konstant etwa 90 Prozent der FuE in den sogenannten FuE-intensiven Branchen durchgeführt. Der Anteil dieser Branchen an der Wertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe stieg in diesem Zeitraum um 7,5 Prozentpunkte, wovon allein 5,2 Prozentpunkte auf den Kraftfahrzeugbau entfielen. Die FuE-Intensität, gemessen an der Wertschöpfung, erhöhte sich dabei nur in der Pharmaindustrie und im Kraftfahrzeugbau spürbar (um jeweils rund 6 Prozentpunkte). Im Sonstigen Fahrzeugbau, der vom Luft- und Raumfahrzeugbau dominiert wird, halbierte sich die FuE-Intensität bereits in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre, weil der Anteil der Branche an den FuE-Ausgaben im verarbeitenden Gewerbe von 10 auf 6 Prozent zurückging, während der Anteil an der Wertschöpfung von 1,3 auf 2 Prozent stieg. In Deutschland ist also bei den forschungsintensiven Branchen im Untersuchungszeitraum kein genereller Zusammenhang zwischen dem Wachstum der FuE-Investitionen und der Wertschöpfung zu erkennen (Abbildung 2-6). Die Ursachen dafür dürften in Spillovereffekten liegen, die sowohl durch Wissensflüsse zwischen den Branchen als auch zwischen Ländern auftreten und bewirken, dass positive Wirkungen auf Wachstum und Produktivität nicht nur in der Branche oder dem Land eintreten, in dem die FuE-Aufwendungen anfallen. So werden etwa Ergebnisse der FuE multinationaler Unternehmen in hochentwickelten Industrieländern wie Deutschland auch im Ausland in Produktion umgesetzt. Aber auch umgekehrt profitiert die Produktion in ausländischen Tochterunternehmen in Deutschland von der FuE der Mutterunternehmen im Ausland.

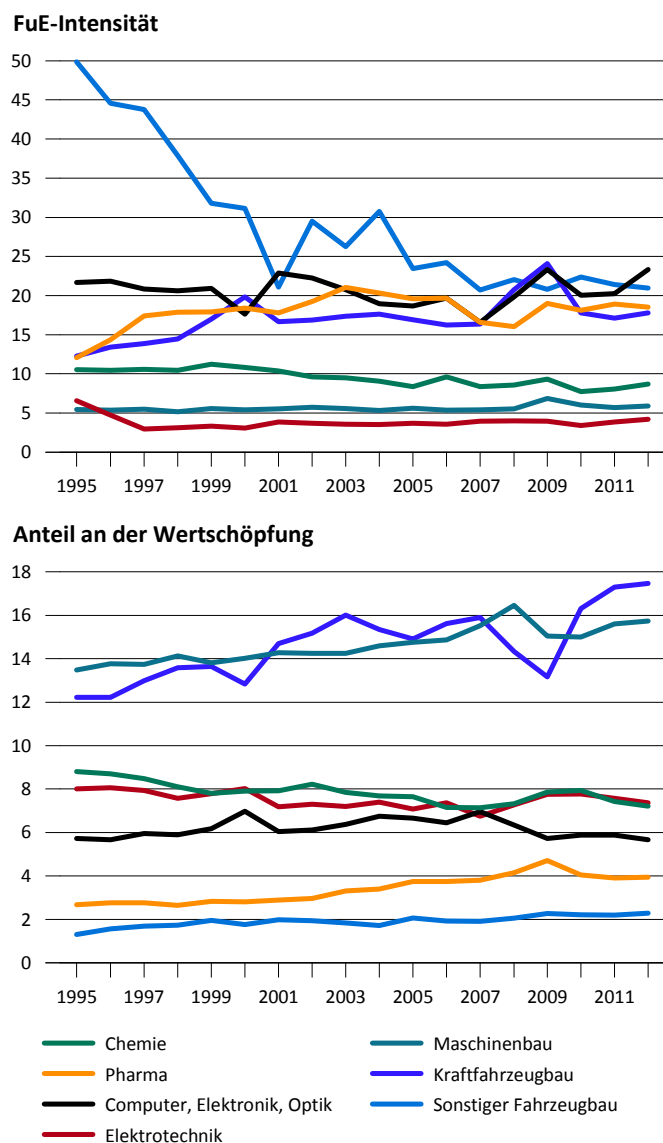
Tabelle 2-7: Relativer Anteil der FuE-Aufwendungen nach Branchen (RAF) im Vergleich zu Deutschland 2011

Wirtschaftszweig	AUT	BEL	FIN	ITA	JPN	KOR	ESP	USA	FRA 2009	GBR	NLD	DNK 2010
Bergbau	93	94	97	100	30	79	99	100	32	100	96	92
Verarbeitendes Gewerbe	-29	-30	-11	-15	3	2	-41	-22	-49	-69	-37	-55
Textil, Bekleidung, Leder	36	90	-50	99	92	82	93	-8	33	-44	-27	-93
Holzverarbeitung	95	68	90	78	49	-5	93	45	12	-94	-41	-44
Papier	85	41	99	87	69	4	78	87	1	-70	7	-91
Druck und Medien	33	-82	-55	-60	38	-76	-39	-83	-94	-96	1	-100
Chemie	-49	-3	-73	-62	-99	-6	-54	-61	-71	-88	23	-28
Pharma	-75	82	-84	-38	61	-85	21	59	-80	-75	-41	65
Kunststoffe	22	-13	nv	16	83	-26	-8	-70	26	-88	-27	-49
Glas, Keramik, Steine, Erden	80	62	8	29	99	12	61	-31	0	-70	-39	-95
Metallerzeugung, -bearbeitung	63	72	-1	-4	18	44	37	-91	-25	-61	14	-99
Metallerzeugnisse	55	11	-41	51	-82	-2	41	-67	36	66	-22	-90
Computer und Elektronik	-32	-48	87	4	60	87	-90	47	-15	-68	-40	-53
Elektrotechnik	89	23	46	30	-11	-26	7	-74	-26	-86	67	-36
Maschinenbau	21	-67	-19	12	-7	-52	-71	-57	-78	-75	22	-15
Kraftfahrzeuge	-90	-99	-100	-75	-35	-76	-88	-97	-91	-90	-99	-100
Sonstiger Fahrzeugbau	-72	-66	-93	61	-98	-81	60	58	67	30	-85	-100
Möbel, Reparaturen	22	-88	-87	-27	-30	-74	-55	27	-16	-49	-20	20
Energie, Wasser	-8	75	75	-59	14	77	98	-79	88	-61	44	-63
Baugewerbe	95	97	97	68	96	99	99	51	79	47	98	-36
Handel	98	91	85	91	-55	82	96	50	98	97	98	98
Transport und Lagerung	-66	23	36	19	29	40	90	-97	27	-22	98	19
Information u. Kommunikation	4	48	40	52	-24	-27	69	82	55	68	58	77
Banken, Versicherungen	3	86	77	74	-99	-100	89	68	21	84	81	100
Immobilienwirtschaft	95	97	100	100	nv	92	100	99	98	100	100	100
Wiss.-techn. Dienstleistungen	80	83	0	13	-98	-60	84	8	94	54	80	30
Forschung	89	76	37	58	42	-92	-45	41	86	98	47	91
Unternehmensdienstleistungen	75	96	13	17	-35	68	96	42	95	99	100	74

Quelle: OECD, Berechnungen des DIW Berlin.

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Abbildung 2-6: FuE-Intensität (gemessen an der Wertschöpfung) und Wertschöpfungsanteil FuE-intensiver Branchen im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland 1995–2012 (in Prozent)



Quelle: Statistisches Bundesamt, OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

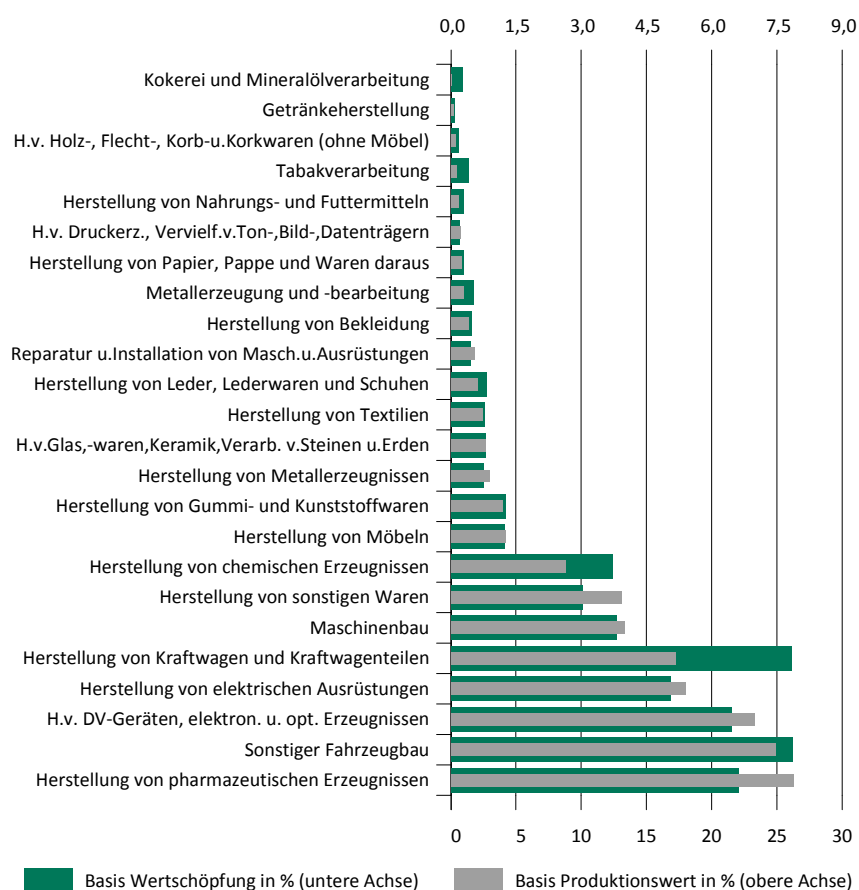
Deutscher Kraftfahrzeugbau ist Spitzentechnikbranche

Fast ein Drittel der FuE-Ausgaben in der Wirtschaft fallen in Deutschland im Kraftfahrzeugbau an. Dies wird oft kritisch gesehen, weil diese Branche in den Bereich der Hochwertigen Technik eingeordnet wird, in dem die FuE-Intensität gemessen am Produktionswert (der die Vorleistungsbezüge enthält) geringer ist als in der Spitzentechnologie. Der Bereich der Hochwertigen Technik umfasst Industrien und Gütergruppen, bei denen der Anteil der internen FuE-Aufwendungen am Produktionswert zwischen 2,5 Prozent bis unter 7 Prozent liegt. Zur Spitzentechnologie zählen Industrien und

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Gütergruppen mit einer FuE-Intensität gemessen am Produktionswert von 7 Prozent und mehr (Gehrke, Frietsch, et al. 2013). Im Jahr 2012 lag die FuE-Intensität des Kraftfahrzeugbaus gemessen am Produktionswert nach den Daten der Kostenstrukturstatistik des verarbeitenden Gewerbes bei 5,2 Prozent. Bezieht man die Aufwendungen für FuE jedoch auf die Wertschöpfung, so unterscheidet sich die so gemessene FuE-Intensität des Kraftfahrzeugbaus mit 26 Prozent kaum von der in den Spitzentechnologiebranchen Pharma mit 22 Prozent, dem Sonstigen Fahrzeugbau mit 26 Prozent sowie der Herstellung von Computern, Elektronik und Optik mit 22 Prozent (Abbildung 2-7).⁹ Der deutsche Kraftfahrzeugbau hat bei hoher Wertschöpfung eine auch im internationalen Vergleich besonders hohe FuE-Intensität, die ihn als Branche für das Prädikat „Spitzentechnik“ qualifiziert (Abbildung 2-8).¹⁰

Abbildung 2-7: FuE-Intensität der Industriebranchen in Deutschland 2012 gemessen am Produktionswert und an der Wertschöpfung (in Prozent)



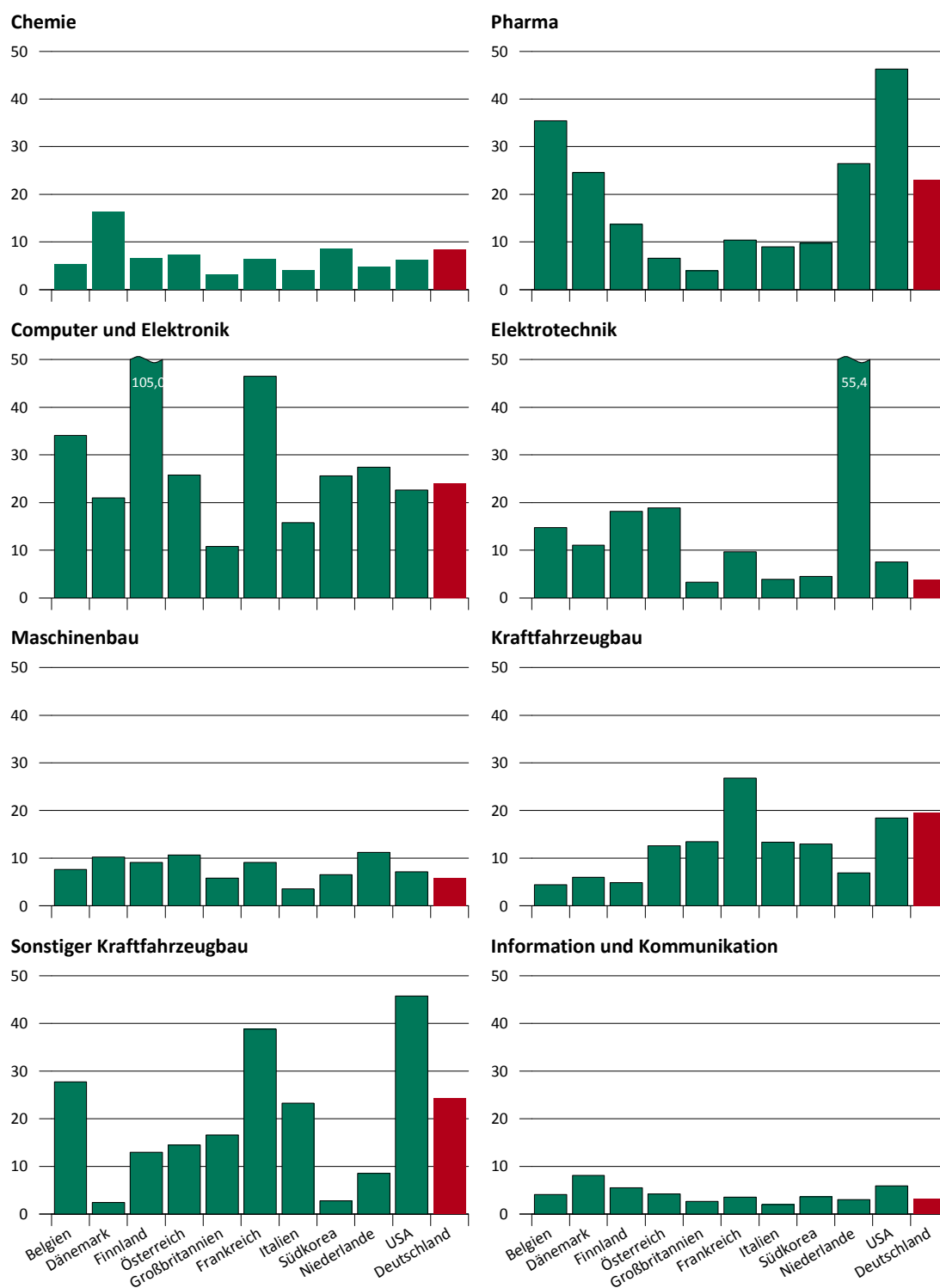
Quelle: Statistisches Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

⁹ Die geringere FuE-Intensität bezogen auf den Produktionswert zeigt auch, dass der FuE-Gehalt der in dieser Branche produzierten Güter, nämlich der Kraftfahrzeuge, geringer ist. Der Kraftfahrzeugbau hat in Deutschland eine im Vergleich zu anderen Industriebranchen relativ hohe Vorleistungsquote. In die Produktion eines Kraftfahrzeugs gehen offensichtlich auch Vorleistungen ein, die mit geringerem Einsatz von FuE produziert werden.

¹⁰ Eine im internationalen Vergleich höhere FuE-Intensität hat die Branche Kraftfahrzeugbau in Frankreich, für das allerdings nur Daten für das Krisenjahr 2009 vorliegen, das durch einen Einbruch der Wertschöpfung gekennzeichnet war. Im Jahr 2011 dürfte die FuE-Intensität des französischen Kraftfahrzeugbaus geringer sein.

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Abbildung 2-8: FuE-Aufwendungen in Relation zur Wertschöpfung für ausgewählte Branchen in ausgewählten Ländern 2011¹⁾



¹⁾ Dänemark, Italien, Südkorea, USA: 2010; Frankreich: 2009.

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Dekomposition der Länderunterschiede der privaten FuE-Intensität

Die Differenz der privatwirtschaftlichen FuE-Intensitäten (gemessen als FuE-Aufwendungen in relation zur Wertschöpfung) zwischen zwei Ländern kann auf ein abweichendes Investitionsverhalten in den Branchen oder unterschiedliche Wirtschaftsstrukturen (Anteile der Branchen an der Wertschöpfung) zurückzuführen sein. Um den Einfluss dieser beiden Komponenten zu messen, wird eine nicht-parametrische Variante der Oaxaca-Blinder-Zerlegung oder auch Shift-Share-Analyse genutzt (siehe Anhang 5.1.2). Die beobachtete Differenz in den FuE-Intensitäten zwischen Deutschland und dem jeweiligen Vergleichsland wird hierfür in zwei Komponenten zerlegt, die Strukturkomponente (Δ_{ST}) und die Verhaltenskomponente (Δ_{VH}). Die Strukturkomponente Δ_{ST} erfasst den Teil der Differenz, der auf die unterschiedliche Bedeutung von Sektoren in den beiden Vergleichsländern bzw. -regionen zurückgeht. Die Verhaltenskomponente Δ_{VH} misst den Teil der Gesamtdifferenz, der auf abweichendes FuE-Verhalten (FuE-Intensität) innerhalb eines Sektors zurückzuführen ist.

Für den Vergleich zwischen Deutschland und den OECD-Ländern im Jahr 2011 wurden die privaten FuE-Intensitäten auf Basis der Wertschöpfung für - je nach Verfügbarkeit von sektoralen Daten sowohl für Deutschland als auch das Vergleichsland - 27 bzw. 26 Branchen (USA, Finnland) oder 20 Branchen (Japan) berechnet. So konnten je nach Land 90 bis 99 Prozent der privaten FuE-Aufwendungen im jeweiligen Jahr abgedeckt werden. Aufgrund der Datenverfügbarkeit bezieht sich die Dekomposition in einigen Ländern auf das Jahr 2009 bzw. das Jahr 2010, wobei letztere noch von den Auswirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise gekennzeichnet sind (Tabelle 2-8). Beispielsweise beträgt die so ermittelte Differenz in der FuE-Intensität zwischen Südkorea und Deutschland -1,51 Prozentpunkte. Auf Unterschiede in der Wirtschaftsstruktur lässt sich eine Differenz von -1,77 Prozentpunkten zurückführen (Struktureffekt). Der Verhaltenseffekt wirkt mit 0,27 Prozentpunkten entgegen.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die Erklärung der Unterschiede der privaten FuE-Intensitäten zwischen Deutschland und ausgewählten Ländern der Struktureffekt und der Verhaltenseffekt eine etwa gleichwichtige Rolle spielen. Sowohl die unterschiedlichen Wirtschaftsstrukturen als auch die unterschiedlichen FuE-Intensitäten in einer Branche erklären in gleichem Maße die Unterschiede in den privatwirtschaftlichen FuE-Intensitäten. Während aber der Verhaltenseffekt (roter Balken in Abbildung 2-9) oft negativ für Deutschland wirkt, profitiert Deutschland meistens vom Struktureffekt (grüner Balken in Abbildung 2-9). Der aus der Sicht Deutschlands oft positive Struktureffekt dürfte auch auf die oben beschriebene relativ starke Konzentration der FuE-Aufwendungen in Deutschland auf einige FuE-intensive Industriebranchen zurückzuführen sein.

Der Struktureffekt und der Verhaltenseffekt werden dabei stark von einzelnen besonders forschungsintensiven Branchen getrieben, wie die Tabelle 2-9 exemplarisch zeigt. So spielt zur Erklärung der um jeweils rund 1,5 Prozentpunkte geringeren FuE-Intensität in Deutschland die Computer- und Elektronikbranche sowohl im Vergleich zu Südkorea als auch zu Finnland eine herausragende Rolle. In Südkorea hat diese Branche ein deutlich höheres Gewicht (Struktureffekt: -1,75 Prozentpunkte) als in Deutschland. In Finnland hat sie ebenfalls ein höheres Gewicht (Struktureffekt: -0,54 Prozentpunkte), vor allem aber eine deutlich höhere Intensität (Verhaltenseffekt: -1,31 Prozentpunkte). Im Vergleich zu Großbritannien hat Deutschland eine um 1 Prozentpunkt höhere privatwirtschaftliche FuE-Intensität. Dabei profitiert Deutschland besonders vom Automobilbau, und zwar sowohl vom höheren Gewicht als auch von der höheren FuE-Intensität in dieser Branche (Tabelle 2-9).

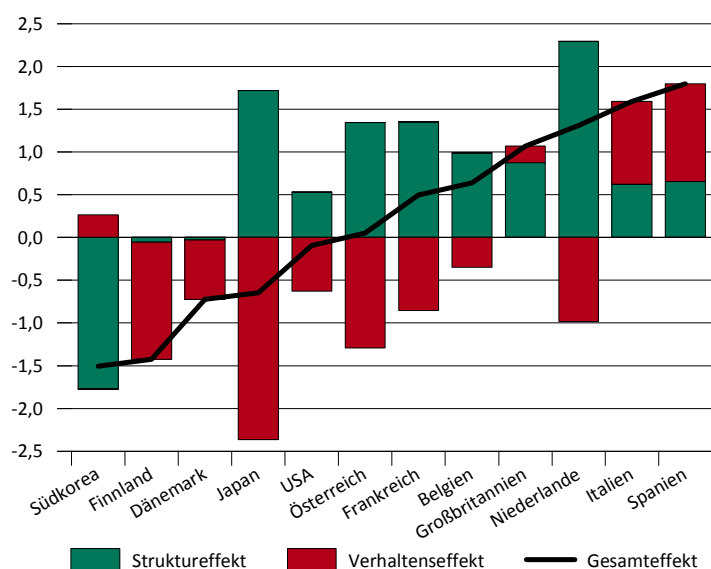
2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Tabelle 2-8: Dekomposition der Abweichung der privatwirtschaftlichen FuE-Intensitäten von Deutschland und ausgewählten Vergleichsländern

Land	Jahr	Zahl der Branchen	FuE-Intensität (Land)	FuE-Intensität (Deutschland)	Gesamteffekt	Struktureffekt	Verhaltenseffekt
					In Prozent	In Prozentpunkten	
Südkorea	2010	27	4,14	2,64	-1,51	-1,77	0,27
Finnland	2011	26	4,37	2,95	-1,42	-0,06	-1,37
Dänemark	2010	27	3,36	2,64	-0,72	-0,03	-0,70
Japan	2011	20	4,48	3,84	-0,65	1,72	-2,37
USA	2010	26	2,73	2,64	-0,09	0,53	-0,63
Österreich	2011	27	2,90	2,96	0,05	1,35	-1,29
Frankreich	2009	27	2,44	2,93	0,50	1,35	-0,86
Belgien	2011	27	2,32	2,96	0,64	0,99	-0,35
Großbritannien	2011	27	1,89	2,96	1,07	0,88	0,19
Niederlande	2011	27	1,65	2,96	1,31	2,29	-0,98
Italien	2010	27	1,04	2,64	1,59	0,62	0,97
Spanien	2009	27	1,13	2,93	1,80	0,66	1,14

Quelle: OECD. Berechnungen des DIW Berlin.

Abbildung 2-9: Dekomposition der Abweichung der privatwirtschaftlichen FuE-Intensitäten von Deutschland und ausgewählten Vergleichsländern 2009-2011



2009: Frankreich und Spanien.

2010: Südkorea, Dänemark, USA und Italien.

2011: Finnland, Japan, Österreich, Belgien, Großbritannien und Niederlande.

Lesebeispiel: Im Jahr 2010 wird die um 1,5 Prozentpunkte geringere FuE-Intensität Deutschlands im Vergleich mit Südkorea überwiegend durch Strukturunterschiede getrieben. Die zugunsten Deutschlands wirkenden Intensitätsunterschiede in einigen Branchen (Verhaltenseffekt) sind nur gering.

Quelle: OECD. Berechnungen des DIW Berlin.

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

Tabelle 2-9: Beitrag ausgewählter Branchen zum Unterschied der privatwirtschaftlichen FuE-Intensität zwischen Deutschland und Vergleichsländern

Land / Jahr	Gesamteffekt	Struktureffekt	Verhaltenseffekt
Südkorea 2010	-1,51	-1,77	0,26
Computer und Elektronik	-1,78	-1,75	-0,03
Pharma	0,12	-0,00	0,12
Finnland 2011	-1,42	-0,05	-1,37
Computer und Elektronik	-1,85	-0,54	-1,31
Maschinenbau	-0,07	0,10	-0,17
Automobilbau	0,95	0,22	0,73
Großbritannien 2011	1,10	0,88	0,19
Chemie	0,16	0,04	0,12
Pharma	0,18	-0,02	0,20
Automobilbau	0,81	0,51	0,29
Maschinenbau	0,22	0,22	0,00

Quelle: OECD. Berechnungen des DIW Berlin.

2.4 Zwischenfazit

Deutschland hat 2012 das Ziel nahezu erreicht, drei Prozent des Bruttoinlandsprodukts in FuE zu investieren. Es liegt damit über dem Durchschnitt der OECD-Länder, aber auch leicht vor den USA und weit vor Frankreich und Großbritannien, die sich angesichts ihrer Größe und Wirtschaftsstruktur am ehesten als Benchmark für Deutschland eignen. Unter den großen forschungsstarken Ländern hatten nur Japan und Korea bis zuletzt deutlich höhere gesamtwirtschaftliche FuE-Intensitäten, was auf die höheren FuE-Investitionen im Bereich der Wirtschaft zurückzuführen ist. Allerdings steigt die FuE-Intensität in Japan im Gegensatz zu Südkorea seit der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise nicht mehr. Auch in den kleineren besonders forschungsstarken Ländern Finnland und Schweden gingen die FuE-Intensitäten in den letzten Jahren zurück.

Die gesamtwirtschaftlichen FuE-Investitionen Deutschlands haben vor allem in den letzten Jahren im OECD-Vergleich stark zugenommen. Beim durchschnittlichen jährlichen Wachstum erreichte Deutschland unter den hier betrachteten 15 forschungsstarken Ländern im Zeitraum von 2005 bis 2012 den zweiten Rang nach Südkorea. Dazu hat auch beigetragen, dass etwa ab 2007 im Zuge eines erkennbaren Politikwechsels nicht mehr nur die FuE-Investitionen der Wirtschaft, sondern auch die FuE-Aufwendungen im öffentlichen Bereich schneller wuchsen als das BIP. Auch gemessen am FuE-Kapitalstock zeigten die gesamtwirtschaftlichen FuE-Investitionen in Deutschland zuletzt eine im internationalen Vergleich positive Entwicklung.

Ein vergleichsweise hoher Anteil der FuE-Investitionen in der Wirtschaft entfällt in Deutschland auf das verarbeitende Gewerbe und ein geringerer Anteil auf die Dienstleistungen. Im verarbeitenden Gewerbe ist FuE besonders auf einige forschungsintensive Industriezweige konzentriert. Eine sektorale Dekomposition der Unterschiede in der FuE-Intensität der Wirtschaft zwischen Deutschland und anderen forschungsstarken OECD-Ländern am aktuellen Rand zeigt kein eindeutiges Bild. Bei der Erklärung der Differenzen spielen sowohl Unterschiede in den Wirtschaftsstrukturen als auch unterschiedliche FuE-Intensitäten in derselben Branche eine etwa gleichwichtige Rolle. Während sich aber geringe-

2 Schwerpunkte der FuE-Aufwendungen ausgewählter Industrieländer

re FuE-Intensitäten in einer Branche für Deutschland oft negativ auswirken, profitiert es von der Konzentration der FuE in einigen forschungsintensiven Branchen.

Fast ein Drittel der FuE-Ausgaben in der Wirtschaft fallen in Deutschland im Kraftfahrzeugbau an. In diesem Sektor sind die FuE-Investitionen gemessen an der Wertschöpfung mit rund 20 Prozent ähnlich hoch wie in den Spitzentechnologiebranchen Pharmazeutische Industrie sowie Computer, Elektronik und Optik. Der deutsche Kraftfahrzeugbau hat bei hoher Wertschöpfung eine auch im internationalen Vergleich besonders hohe FuE-Intensität, die ihn für das Prädikat „Spitzentechnik“ qualifiziert.

Der internationale Vergleich zeigt auch, dass das von der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) formulierte Ziel für Deutschland, im Jahr 2020 FuE-Investitionen in Höhe von 3,5 Prozent des BIP für FuE zu erreichen, ehrgeizig ist. Deshalb dürfen die in den letzten Jahren erfolgreichen Anstrengungen Deutschlands zur Erhöhung der FuE-Aufwendungen sowohl in der Wirtschaft als auch im öffentlichen Bereich nicht nachlassen.

3 Ökonometrische Analysen des Zusammenhangs von FuE und Wirtschaftswachstum

Mit Hilfe der ökonometrischen Analysen wird untersucht, ob sich ein direkter Einfluss von FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum bestätigen lässt. Hierfür wird das theoretische Konzept einer Produktionsfunktion mit Wissenskapital nach Griliches (1979) zugrunde gelegt. Dies ist ein in der Literatur häufig verwendeter Ansatz zur Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Wirtschaftswachstum und den Forschungsaktivitäten beziehungsweise dem Wissenskapital. Der Ansatz beruht auf einer Cobb-Douglas Produktionsfunktion, welche um den FuE-Kapitalstock bzw. den Wissensstock erweitert wird (Griliches 1979):

$$Y = DC^{\alpha}L^{\beta}R^{\gamma}e^{\lambda t+u}$$

mit D als Konstante, C für den physischen Kapitalstock, L für den Arbeitseinsatz, R für den Wissenskapitalstock („stock of knowledge capital“), t als Zeitvariable und einem Fehlerterm.¹¹ Der Wissensstock ergibt sich aus den derzeitigen und vergangenen FuE-Ausgaben und kann somit als *lag polynomial*¹² approximiert werden (Griliches 1979, 95, Eberhardt, Helmers und Strauss 2013a, 437). Alternativ kann der Wissenskapitalstock mit der Perpetual-Inventory-Methode geschätzt werden (Hall, Mairesse und Mohnen 2010, siehe auch Abschnitt 2.2.2). Dabei wird eine Abschreibungsrate verwendet, die über die Zeit, die Länder und die Wirtschaftssektoren hinweg als konstant angenommen wird. Diese Abschreibungsrate variiert von Studie zu Studie (Eberhardt, Helmers und Strauss 2013b, Hall, Mairesse und Mohnen 2010, Hall und Mairesse 1995). In der vorliegenden Untersuchung wurden sowohl der FuE-Kapitalstock verwendet als auch zurückliegende FuE-Investitionen.¹³ Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse mit FuE-Ausgaben vorgestellt, da sich die ermittelten Elastizitäten intuitiver interpretieren lassen und die Schätzungen mit Hilfe von FuE-Kapitalstock zu den qualitativ¹⁴ gleichen Ergebnissen kommen.

3.1 Panelschätzungen

Für die Untersuchung wird ein Panel verwendet, das 19 OECD-Länder im Zeitraum von 1981 bis 2011 umfasst.¹⁵ Aufgrund der unterschiedlichen Datenverfügbarkeit handelt es sich um ein unbalanced Panel.¹⁶ Ferner wurde auf eine Berücksichtigung des Jahres 2009 verzichtet, da sich die Auswirkungen der Finanzkrise 2008/2009 in den meisten Ländern in den Jahresdaten 2009 niederschlagen. Aus dem Verzicht auf die Beobachtung des Jahres 2009 folgt, dass weder der Einbruch von 2008 auf 2009, noch die zum Teil sehr deutlichen Aufwüchse von 2009 auf 2010 in den Schätzungen berücksichtigt werden. Damit wird ausgeschlossen, dass die Ergebnisse bzgl. der generellen Wirkung von FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum durch die Krise verzerrt werden. In der Summe können für

¹¹ In Anlehnung an Eberhardt, Helmers und Strauss (2013a) verwenden wir R anstelle von K zur Bezeichnung des Wissenskapitalstocks.

¹² Ein lag polynomial vom Grad n ist wie folgt definiert: $W(n)R_t = (w_0 + w_1n + w_2n^2 + \dots)R_t = w_0R_t + w_1R_{t-1} + w_2R_{t-2} + \dots$, mit R_t als FuE-Ausgaben zum Zeitpunkt t (Griliches 1979, 95). Vereinfacht ausgedrückt entspricht es also einem Index aller aktuellen und zurückliegenden FuE-Ausgaben.

¹³ In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Abschreibungsrate von 15% genutzt.

¹⁴ Diese Aussage betrifft die Signifikanz der geschätzten Koeffizienten – sowohl die der jeweiligen FuE-Variable als auch die der übrigen Inputs. In der überwältigenden Mehrzahl der Fälle unterscheiden sich die Koeffizienten hinsichtlich ihrer Signifikanz nicht, unabhängig davon ob die FuE-Kapitalstöcke oder die FuE-Ausgaben zugrunde gelegt werden.

¹⁵ Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Niederlande, Portugal, Schweden, Spanien, Großbritannien, Deutschland, Tschechische Republik, Ungarn, Polen, Kanada, Japan, Korea, USA.

¹⁶ Die Daten für Belgien liegen ab 1983, für Korea ab 1991 und für Portugal ab 1982 vor. Für die Tschechische Republik, Ungarn und Polen werden die Beobachtungen ab 1995 verwendet. In der deutschen Zeitreihe bleibt der Zeitraum 1990 bis 1994 ausgespart.

die Schätzungen 432 Beobachtungen genutzt werden, womit mehr Beobachtungen zur Verfügung stehen als in den meisten Studien der letzten Jahre (Pop-Silaghi, Alexa, et al. 2014, Wang, Yu und Liu 2013, Falk 2007).

Der Literatur folgend ist in der vorliegenden Studie in erster Linie der System-GMM-Ansatz¹⁷ für die Panelschätzungen verwendet worden.¹⁸ GMM Schätzansätze weisen eine Reihe von Vorteilen gegenüber einfacheren Regressionsansätzen auf. Zum einen handelt es sich um dynamische Ansätze. Das Wachstum wird damit nicht nur durch eine Reihe exogener Variablen erklärt, sondern es wird auch die zurückliegende Entwicklung berücksichtigt. Darüber hinaus geht gerade die Schätzung von Wachstum damit einher, dass die angenommene Exogenität der erklärenden Variablen in Frage gestellt werden kann. Die Wechselwirkungen zwischen Wachstum und Forschungsausgaben, also eine potentielle Endogenität erklärender Variablen, verletzt jedoch eine der wesentlichen Grundannahmen von Regressionsmodellen, wodurch die Ergebnisse verzerrt sein können. Im Rahmen von GMM Modellen wird der potentiellen Endogenität der erklärenden Variablen Rechnung getragen, indem Lag-Strukturen als Instrumente genutzt werden.¹⁹ Der präferierte System-GMM Ansatz ist ferner weniger anfällig für den *Finite Sample Bias*²⁰ bzw. für das Problem schwacher Instrumente (Bound, Jaeger und Baker 1995, Bond, Hoeffler und Temple 2001), im Gegensatz zu dem in der Literatur noch immer zu findenden First-Difference GMM Ansatz (Pop-Silaghi, Alexa, et al. 2014). Das ist insbesondere für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung, da die hieraus resultierenden Verzerrungen verstärkt bei der Verwendung persistenter Reihen auftreten, die für makroökonomischen Zeitreihen charakteristisch sind (Blundell und Bond 2000, Bond, Hoeffler und Temple 2001).

Im Rahmen der Paneluntersuchungen werden drei verschiedene Fragestellungen adressiert. Dafür werden jeweils leicht abgewandte Schätzansätze verwendet. Zum Ersten wird der Einfluss der gesamt FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum geprüft. Der Literatur folgend wird dafür auf einen auf der Cobb-Douglas Funktion aufbauenden Produktionsfunktionsansatz zurückgegriffen. Damit wird zunächst nur ein einfacher linearer Zusammenhang zwischen dem Wachstum der FuE-Ausgaben und dem BIP-Wachstum unterstellt. Im Rahmen dieses linearen Ansatzes wird zusätzlich zwischen privatwirtschaftlichen und öffentlichen FuE-Ausgaben unterschieden. Zum Zweiten wird untersucht, ob zwischen den FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum ein nichtlinearer Zusammenhang besteht. In diesem Fall würde der Effekt auf das BIP-Wachstum in Abhängigkeit des Zuwachses bei den FuE-Ausgaben variieren. Zum Dritten wird, im Rahmen der Möglichkeiten, die die Panelschätzung bieten, überprüft, inwieweit der Effekt von FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum zwischen den Ländern bzw. Ländergruppen variiert.

¹⁷ Siehe zu *general methods of moments*, kurz GMM, Arellano und Bond (1991), Arellano und Bover (1995), Blundell und Bond (1998), Bond, Hoeffler und Temple (2001) und Roodman (2009).

¹⁸ Sämtliche Untersuchungen wurden auch mit OLS, dem Fixed-Effekt Ansatz und mit First-Difference GMM Schätzer durchgeführt. Insbesondere in den einfachen Ansätzen, also vor allem OLS und dem FE-Schätzer, sind die Koeffizienten für private und öffentliche FuE-Ausgaben stets signifikant. Diese Ansätze leiden jedoch unter diversen ökonometrischen Schwächen, wie etwa der potentiellen Endogenität der erklärenden Variablen. Die Belastbarkeit derartiger Schätzungen wird deshalb oft infrage gestellt. Es wurden daher die ökonometrisch robustere Methode gewählt - System GMM - obschon in der Folge die Signifikanz der Koeffizienten zurückgeht.

Tabelle 5-1 bis Tabelle 5-4 zeigen hierfür beispielhaft die Ergebnisse der OLS- und FE-Schätzungen für den Zusammenhang zwischen dem Wachstum gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben und dem BIP Wachstum sowie zwischen dem BIP-Wachstum und dem Wachstum der privatwirtschaftlichen sowie der öffentlichen FuE-Ausgaben.

¹⁹ Alternativ können der Schätzung einzelne Lags (zeitlich Verzögerung) oder spezielle Lag-Strukturen auferlegt werden. In diesen Fällen stellt sich aber immer die Frage, warum gerade diese Lags und nicht eine andere. Ohne Verhängung von Restriktionen bezüglich der Lags haben dagegen in den Schätzungen automatisch diejenigen Lags das größte Gewicht, die signifikante Erklärungskraft besitzen.

²⁰ Der Finite Sample Bias tritt auf, wenn die verwendeten Instrumente schwach sind (weak instrument problem) und die Stichprobe nicht genügend Beobachtungen umfasst (Bound, Jaeger und Baker 1995). Er hat im Wesentlichen zwei Effekte. Er führt zum einen zu verzerrten Punktschätzern und zum anderen zu inkorrekten Signifikanztests aufgrund falsch berechneter Varianzen (Bound, Jaeger und Baker 1995). Damit kann es sowohl zu falschen Schlüssen hinsichtlich der Stärke eines Zusammenhangs, als auch hinsichtlich der Signifikanz eines Koeffizienten kommen.

3.1.1 Einfluss der FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum

Für die Schätzungen wird die von Griliches (1979) modifizierte Produktionsfunktion zugrunde gelegt (siehe Gleichung 3) und wie bei Hall, Mairesse und Mohnen (2010) in eine Differenzgleichung umgewandelt.²¹ Dadurch wird zum einen die Stationarität der Zeitreihen sichergestellt. Zum anderen steht damit die Wirkung der Einflussgrößen auf das jährliche Wirtschaftswachstum im Vordergrund. Das sowohl in den Panelschätzungen als auch in den Zeitreihenschätzungen verwendete Basismodell lautet daher:²²

$$3 \quad \Delta y_{it} = \beta_1 \Delta l_{it} + \beta_2 \Delta c_{it} + \beta_3 \Delta r_{it} + \epsilon_{it}$$

Als zusätzliche erklärende Variable in den Panelschätzungen wird zudem die verzögerte endogene Variable verwendet. Damit wird der Pfadabhängigkeit der Entwicklung Rechnung getragen. Ferner wird der potenzielle *Omitted Variable Bias*²³ reduziert (Bond, Hoeffler und Temple 2001). Der Literatur folgend wurden in den Panelschätzungen als weitere Kontrollvariablen die Änderung der Beschäftigungsquote (Δu_{it}) und eine Proxy-Variablen für die Humankapitalausstattung (Δh_{it}) aufgenommen. Zwar werden durch die Differenzenbildung die länderspezifischen zeitinvarianten fixen Effekte eliminiert, allerdings gibt es weiterhin länderspezifische Effekte sowie Trends und Schocks (Eberhardt, Helmers und Strauss 2013a).²⁴ Um deren Einfluss in den Schätzungen abzufangen, werden in einer Reihe von Schätzungen zusätzlich Jahresdummies und Länderdummies verwendet.

In einem ersten Schritt ist die Schätzgleichung 3 sowohl mit als auch ohne Dummies für Jahre und Länder sowie mit und ohne Beschäftigungsquote und Humankapital geschätzt worden. Ferner wird angenommen, dass die Regressoren endogen sind. Dies wird entsprechend in den GMM Schätzungen modelliert. Tabelle 3-1 zeigt die Ergebnisse unter Berücksichtigung aller Kontrollvariablen.²⁵ In allen Spezifikationen findet sich ein deutlicher und signifikanter Zusammenhang zwischen den Veränderungsraten der FuE-Ausgaben und dem jährlichen Wirtschaftswachstum. Die Koeffizienten liegen, in Abhängigkeit von den Kontrollvariablen, zwischen 0,0454 und 0,0764. Es wird jedoch auch deutlich, dass die Aufnahme der Dummies für Jahre und Länder die Schätzergebnisse hinsichtlich aller Variablen verbessern. Die präferierte Schätzung beinhaltet somit alle Kontrollvariablen inklusive der Dummy-Variablen (Spalte 3 in Tabelle 3-1). In dieser liegt der Koeffizient der FuE-Variablen bei 0,049.

Auch die übrigen Variablen weisen Koeffizienten auf, welche hinsichtlich ihrer Magnitude und ihrer Signifikanz dem entsprechen, was aufgrund der Ergebnisse in der Literatur erwartet werden kann. So liegt der Koeffizient der Kapitalstockvariable (Δc) zwischen Null und 0,47.²⁶ Insbesondere für die Kapitalstockvariable zeigt sich, dass die Aufnahme von Länder- und/oder Zeitdummies die Schätzungen erheblich verbessert.

²¹ Alternative Ansätze ist das aus der exogenen Wachstumstheorie entwickelte Modell von Nonneman und Vanhoudt (1996) und der Ansatz von Goel und Ram (1994). Neben Griliches wird in einigen Analysen auch der Ansatz von Nonneman und Vanhoudt (1996) zugrunde gelegt. Aus diesem Grund ist die Analyse auch mit der Schätzfunktion von Nonneman und Vanhoudt (1996) durchgeführt worden. Da die Schätzungen keine zusätzlichen Erkenntnisse generiert haben und qualitativ die nachfolgend vorgestellten Ergebnissen bestätigen, ist in diesem Gutachten auf eine Präsentation der Ergebnisse verzichtet worden.

²² Kleinbuchstaben werden als Synonym für logarithmierte Variablen verwendet.

²³ Der Term *omitted variable bias* bezeichnet Verzerrungen von Schätzergebnissen aufgrund des wissentlichen oder unwissentlichen Auslassens von Variablen. Die Verzerrung entsteht, wenn das Schätzmodell versucht, den fehlenden Einfluss durch das über- oder unterschätzen des Einflusses der übrigen Variablen zu kompensieren. Voraussetzung ist, dass die ausgelassene Variable sowohl mit der abhängigen als auch mit einer oder mehreren erklärenden Variablen korreliert ist.

²⁴ Hierzu zählen etwa die massiven Veränderungen in der Weltwirtschaft im Zuge der Öffnung Osteuropas und der damit einhergehende Nachfrageschock sowie landesspezifische Schocks, wie etwa die Immobilien- und Bankenkrise in Japan nach 1990.

²⁵ Alle übrigen Ergebnisse finden sich in Tabelle 5-5 im Abschnitt 5.3.

²⁶ Siehe Tabelle 5-5 im Abschnitt 5.3.

3 Ökonometrische Analysen des Zusammenhangs von FuE und Wirtschaftswachstum

Insgesamt kann festgehalten werden, dass sich in den Panelanalysen ein für alle Länder geltender, direkter Einfluss von FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum bestätigen lässt. Dieser kann, entsprechend der präferierten Spezifikation, wie folgt für das verwendete Sample spezifiziert werden: Die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben um 1 Prozentpunkt erhöht kurzfristig das BIP-Wachstum um rund 0,05 Prozentpunkte.²⁷ Für ein intuitiveres Verständnis des Koeffizienten für FuE sei auf die Beispielrechnungen in Abschnitt 3.3 verwiesen.

Bezüglich des hier ermittelten Koeffizienten sei ferner angemerkt, dass er den mittleren Effekt der FuE-Variable über die Zeit und alle Länder hinweg misst. Der Koeffizient von rund 0,05 gilt somit gleichermaßen für die USA, Polen und Deutschland und ebenso gleichermaßen für das Jahr 1985 wie auch für das Jahr 2005. Der tatsächliche Effekt kann in einzelnen Jahren und für einzelne Länder auch deutlich stärker oder deutlich schwächer ausfallen, wie auch in Abschnitt 3.2 deutlich wird.

Tabelle 3-1: Schätzung für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen sowie privaten FuE - Ausgaben

	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t		Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.0658 (0.132)	-0.223** (0.0978)	-0.0769 (0.121)	Δy_{t-1}	-0.0459 (0.133)	-0.212** (0.104)	-0.0640 (0.126)
Δl	0.605*** (0.0958)	0.634*** (0.113)	0.644*** (0.118)	Δl	0.597*** (0.103)	0.635*** (0.111)	0.646*** (0.118)
Δc	0.132 (0.171)	0.460** (0.194)	0.291** (0.122)	Δc	0.165 (0.131)	0.442* (0.228)	0.283* (0.149)
Δh	-0.0759* (0.0434)	0.0361 (0.0350)	-0.0449 (0.0322)	Δh	-0.0885** (0.0401)	0.0334 (0.0403)	-0.0487 (0.0348)
Δu	-0.345** (0.145)	-0.468*** (0.169)	-0.311** (0.150)	Δu	-0.343** (0.145)	-0.474*** (0.174)	-0.306** (0.145)
Δr_{all}	0.0454** (0.0179)	0.0721*** (0.0152)	0.0488*** (0.0165)	Δr_{privat}	0.00742 (0.00815)	0.0256** (0.0114)	0.0112 (0.00848)
				Δr_{public}	0.0301*** (0.0106)	0.0334*** (0.00882)	0.0308*** (0.0112)
Jahresd.	ja	nein	ja	Jahresd.	ja	nein	ja
Länderd.	nein	ja	ja	Länderd.	nein	ja	ja
Konstante	0.0199*** (0.00500)	0.00388 (0.00443)	0.0109*** (0.00370)	Konstante	0.0200*** (0.00339)	0.00450 (0.00527)	0.0116*** (0.00349)
N	432	432	432	N	429	429	429
ID	19	19	19	ID	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Zusätzlich zur Frage nach der Wirkung der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum wird auch der Einfluss privatwirtschaftlicher FuE-Ausgaben wie der öffentlichen

²⁷ Auf eine Darstellung der „langfristigen“ Effekte entsprechend dem Vorgehen bei Pop-Silaghi et al. (2014) oder bei Arnold (Arnold 2005) wird hier verzichtet. Eine hierfür notwendige Annahme ist nach Ansicht der Autoren die Existenz einer Kointegrationsbeziehung zwischen den FuE-Ausgaben und dem BIP. Zumindest für die deutschen Daten wird aber in der vorliegenden Arbeit festgestellt, dass es diese Beziehung nicht gibt. Siehe hierzu Abschnitt 3.2.

FuE-Ausgaben auf das BIP-Wachstum untersucht. Hierfür werden die bisherigen Schätzungen unter Verwendung der beiden Unteraggregate der FuE-Ausgaben wiederholt. Es wird weiterhin unterstellt, dass die Regressoren endogen sind. Die Ergebnisse sind in den Spalten 4 – 6 in Tabelle 3-1 dargestellt.²⁸ Für die übrigen Kontrollvariablen kann festgehalten werden, dass sie hinsichtlich ihrer Signifikanz und Magnitude in etwa mit den Schätzergebnissen in Spalten 1 – 3 übereinstimmen. Die Koeffizienten der privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben sind nicht durchgängig statistisch signifikant, sondern nur in einigen Spezifikationen. Unter anderem ist die Signifikanz gegeben, wenn auf jegliche Dummies oder auch nur auf die Jahresdummies verzichtet wird. In der präferierten Version mit Jahres- und Länderdummies (Spalte 6 in Tabelle 3-1) sind die Koeffizienten hingegen insignifikant.

Obschon auf den ersten Blick überraschend, steht dieses Ergebnis teilweise im Einklang mit der bestehenden Literatur über den direkten Zusammenhang zwischen FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum. So finden Popo-Silaghi et al. (2014)²⁹ und Eberhardt et al. (2013a)³⁰ kaum noch signifikante Koeffizienten, wenn anstelle weniger robusten Methoden robuste Ansätze wie etwa System-GMM genutzt werden. Das gleiche Phänomen zeigt sich auch in dieser Untersuchung. So finden sich auch hier durchgehend signifikante Koeffizienten für privatwirtschaftliche FuE-Ausgaben in einfachen Modellen wie OLS und in Fixed-Effekt Schätzungen.³¹ Erst wenn die potentielle Endogenität der Regressoren im Rahmen von System-GMM berücksichtigt wird, geht die Signifikanz des Koeffizienten für privatwirtschaftliche FuE-Ausgaben teilweise verloren.

Doch warum finden sich auch immer wieder signifikante Parameter? Eberhardt et al. (2013) sind dieser Frage nachgegangen. Sie konnten zeigen, dass dies häufig auf weniger robuste Schätzmethoden zurückzuführen ist. Werden jedoch Schätzer mit guten statistischen Eigenschaften genutzt, wird kaum noch ein signifikanter Zusammenhang zwischen privatwirtschaftlichen FuE Stöcken und der sektoralen Wertschöpfung gefunden. Sie führen dies nach umfangreichen Tests mit den unterschiedlichsten ökonometrischen Schätzverfahren darauf zurück, dass der Effekte von privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben durch nicht berücksichtigte Spillovereffekt verzerrt wird. Werden diese nicht explizit in der Schätzgleichung modelliert, kann dies dazu führen, dass der Koeffizient von FuE aufgrund des Omitted Variable Bias überschätzt wird.

Eine andere Ursache für die mangelnde Signifikanz könnte die zunehmende Globalisierung im Beobachtungszeitraum sein. Dabei kam es zu einer Verlagerung von Produktionskapazität an kostengünstigere Standorte sowie zum Aufbau neuer Kapazitäten zur Erschließung neuer Märkte. In der Folge finden Produktion und Forschung nicht mehr zwangsläufig am gleichen Standort statt. Ein starkes Anwachsen der FuE Ausgaben in der Wirtschaft muss daher nicht direkt und in vollem Umfang in einem höheren inländischen Output münden. Die tatsächliche Produktion, selbst wenn sie zumindest teilweise noch in den jeweiligen Heimatländern der Unternehmen stattfindet, kann in deutlichem Umfang auch an ausländischen Produktionsstandorten erfolgen.

²⁸ Alle übrigen Ergebnisse finden sich in Tabelle 5-6 im Abschnitt 5.3.

²⁹ Pop-Silaghi et al. (2014) stellen fest, dass ihre Ergebnisse bezüglich der privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben insignifikant werden, wenn sie ihre Schätzung mittels SYS-GMM Ansatzes durchführen. Dieser ist weniger stark durch den Finit Sample Bias beeinflusst als der von ihnen genutzte FD-GMM Ansatz. Sie stellen fest, dass bei der Nutzung von SYS-GMM: „...all the explanatory variables of interest from the main specification prove to be insignificant and the estimation becomes not reportable.“ (Pop-Silaghi, Alexa, et al. 2014, 111).

³⁰ „In contrast, once our diagnostic tests are more favorable, the coefficient of own-R&D always drops considerably and becomes statistically insignificant.“ (Eberhardt, Helmers und Strauss 2013a, 446)

³¹ Siehe Tabelle 5-2 und Tabelle 5-4 in Abschnitt 5.3.

3.1.2 Nichtlineare Zusammenhänge zwischen FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum

Ein weiteres Ziel der Studie ist die Untersuchung der Hypothese, dass zwischen den FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum ein nicht-linearer Zusammenhang besteht. Denn es ist nicht zu erwarten, dass der Effekt wachsender FuE-Ausgaben auf das BIP Wachstum stets konstant ist, selbst wenn die FuE-Ausgaben unbegrenzt steigen. Nicht-lineare Zusammenhänge können im Rahmen von Panelmodellen mit Hilfe von Polynomen modelliert werden, wobei i.d.R. nur ein Polynom zweiten Grades verwendet wird (Nielen and Schiersch 2014, Bravo-Ortega und Marin 2011). Bei einem Polynom zweiten Grades geht die betreffende Variable in einfacher sowie in quadrierter Form in die Schätzung ein. Damit wird ein einfacher nicht-linearer Zusammenhang unterstellt. Mit einer solchen Funktion können abnehmende und steigende Skaleneffekte abgebildet werden. In der vorliegenden Untersuchung wird zusätzlich auch das Polynom dritten Grades genutzt.³² Bei einem Polynom dritten Grades wird die betreffende Variable zusätzlich in der dritten Potenz in die Schätzungen aufgenommen. Damit können auch Funktionen mit zwei Extrempunkten und somit weiterreichende Nichtlinearität geschätzt werden. Bezogen auf das Basismodell lautet die Schätzgleichung somit:

$$4 \quad \Delta y_{it} = \beta_1 \Delta l_{it} + \beta_2 \Delta c_{it} + \beta_{31} \Delta r_{it} + \beta_{32} \Delta r_{all}^2 + \beta_{33} \Delta r_{all}^3 + \epsilon_{it}$$

Die Schätzungen wurden auch hier unter Annahme der Endogenität aller Regressoren durchgeführt.³³ Bleiben länderspezifische und zeitliche Effekte unberücksichtigt, deuten die Parameter zunächst auf einen einfachen nichtlinearen Zusammenhang hin (Spalten 1, Tabelle 3-2).³⁴ Allerdings verliert der Koeffizient β_{32} seine Signifikanz, sobald Δr_{all}^3 in die Regression aufgenommen und damit auf weitergehende Nichtlinearitäten getestet wird. Im Falle eines stabilen einfachen nichtlinearen Zusammenhangs, also einer Funktion mit einem einzigen Extrempunkt, sollte der Koeffizient β_{33} nicht von Null verschieden sein, die Signifikanz des Koeffizienten β_{32} aber erhalten bleiben. Dies ist in keiner der Schätzungen ohne Dummyvariablen der Fall. Zudem findet sich das gleiche Muster, wenn Jahres- oder Länderdummies separat als Kontrollvariable berücksichtigt werden (Spalten 3-6, Tabelle 3-2). Dies deutet zunächst daraufhin, dass kein nicht-linearer Zusammenhang zwischen den FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum besteht.

Ein hierzu abweichender Befund liegt vor, wenn, wie bei der präferierten Spezifikation im einfachen Modell (Spalte 3 in Tabelle 3-1), auch länderspezifische und zeitliche Effekte berücksichtigt werden (Spalten 7-8, Tabelle 3-2). In Anlehnung an Abschnitt 3.1.1 sind diese die präferierte Spezifikationen im Rahmen der nichtlinearen Ansätze. Anders als in den vorangegangenen Schätzungen (Spalten 1-6, Tabelle 3-2), bleiben in allen präferierten nichtlinearen Schätzung (siehe auch Spalten 38-48, Tabelle 5-7) die Koeffizienten (β_{31}, β_{32}) für die Variablen Δr_{all} und Δr_{all}^2 auch dann signifikant, wenn ein Polynom dritten Grades genutzt wird. Zusätzlich ist stets auch der Koeffizient für Δr_{all}^3 signifikant von Null verschieden.³⁵ Dies könnte ein Beleg dafür sein, dass es einen komplexeren nichtlinearen Zusammenhang zwischen dem Wachstum der FuE-Ausgaben und dem Wachstum des BIP gibt.

³² Ein Polynom zweiten Grades erlaubt nur eine Funktion mit einem Extrempunkt, während ein Polynom dritten Grades eine Funktion mit zwei Extrempunkten approximieren kann.

³³ Die Ergebnisse aller Schätzungen für nichtlineare Zusammenhänge unter Annahme der Endogenität der Regressoren mittels System GMM finden sich in Tabelle 5-7 im Abschnitt 5.3.

³⁴ Siehe auch die Ergebnisse in Spalten 2, 5, 8 und 11 in Tabelle 5-7.

³⁵ Dies gilt für alle Schätzungen bei denen zugleich die Länder- und die Jahresdummies berücksichtigt werden. Siehe hierzu auch die Spalten 37-48 in Tabelle 5-7 im Anhang 5.3.

Tabelle 3-2: Schätzung für Produktionsfunktionen mit Polynomen für gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.191** (0.0903)	-0.190** (0.0958)	-0.0324 (0.123)	0.0125 (0.125)	-0.176* (0.0982)	-0.168* (0.0982)	-0.0382 (0.115)	-0.00253 (0.108)
Δl	0.618*** (0.113)	0.615*** (0.120)	0.523*** (0.0997)	0.467*** (0.112)	0.550*** (0.110)	0.533*** (0.109)	0.567*** (0.109)	0.520*** (0.104)
Δc	0.187 (0.172)	0.164 (0.171)	0.164 (0.166)	0.134 (0.166)	0.353* (0.193)	0.330* (0.181)	0.243** (0.120)	0.208* (0.116)
Δh	-0.0270 (0.0563)	-0.0230 (0.0570)	-0.0617 (0.0579)	-0.0469 (0.0513)	0.0177 (0.0459)	0.0314 (0.0438)	-0.0649 (0.0492)	-0.0759* (0.0449)
Δu	-0.473*** (0.183)	-0.469** (0.183)	-0.407*** (0.148)	-0.414*** (0.147)	-0.493*** (0.164)	-0.506*** (0.159)	-0.333** (0.142)	-0.343** (0.138)
Δr_{all}	0.116*** (0.0256)	0.109*** (0.0264)	0.0842** (0.0340)	0.0870** (0.0379)	0.146*** (0.0215)	0.137*** (0.0254)	0.0988*** (0.0242)	0.119*** (0.0223)
Δr_{all}^2	-0.474*** (0.115)	-0.215 (0.272)	-0.258* (0.147)	-0.351 (0.373)	-0.641*** (0.0944)	-0.369 (0.416)	-0.390** (0.181)	-1.102*** (0.362)
Δr_{all}^3		-1.143 (1.084)		0.351 (1.300)		-0.953 (1.484)		3.019** (1.318)
Jahres dummy	nein	nein	ja	ja	nein	nein	ja	ja
Länder dummy	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Konstante	0.0183*** (0.00438)	0.0186*** (0.00413)	0.0182*** (0.00496)	0.0186*** (0.00476)	0.00570 (0.00399)	0.00595 (0.00364)	0.0114*** (0.00329)	0.0128*** (0.00317)
N	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Um diese Vermutung zu überprüfen, sind in Abbildung 3-1 die Wachstumsraten der FuE-Ausgaben und ihr jeweiliger Effekt auf das Wachstum des BIP entsprechend der Koeffizienten aus Spalte 8 in Tabelle 3-2 dargestellt. Die übrigen Variablen werden für diese Darstellung als konstant angenommen. Die abgetragenen Wachstumsraten der FuE-Ausgaben sind so gewählt, dass sie den Großteil der beobachteten FuE-Wachstumsraten berücksichtigen.³⁶ Wie aus Abbildung 3-1 hervorgeht, entspricht der Zusammenhang in der präferierten nichtlinearen Spezifikation eher einer Funktion mit abnehmenden Skalenerträgen.

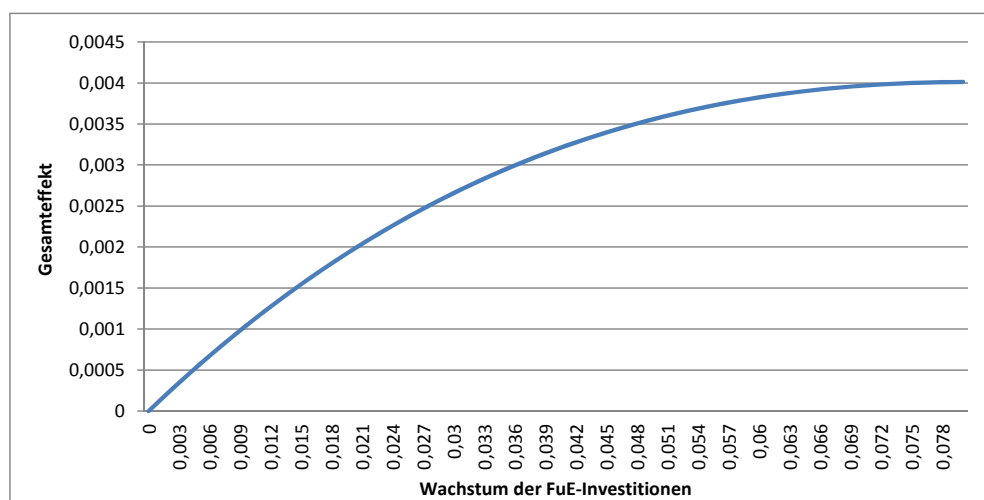
Somit stellt sich die Frage – gegeben die Ergebnisse in den präferierten Schätzungen in diesem Abschnitt und in Abschnitt 3.1.1 – ob eher von einem einfachen nichtlinearen als von einem linearen Zusammenhang zwischen den Veränderungen in den gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum ausgegangen werden muss. Aus Sicht der Autoren sind dafür die Ergebnisse für den nichtlinearen Zusammenhang nicht robust genug. Robust wäre ein solches Ergebnis, wenn auch in den Schätzungen ohne diverse Dummies stets die Koeffizienten β_{31} und β_{32} signifikant wären. Bei

³⁶ Das 75er Perzentil liegt bei 7,7%.

der Annahme eines einfachen linearen Zusammenhangs wie in Abschnitt 3.1.1, ist dies für den Koeffizienten β_3 stets der Fall.

Abbildung 3-1: Zusammenhang zwischen Wachstum der FuE-Ausgaben und dem BIP-Wachstum entsprechend der Spezifikation 8 in Tabelle 3-2

$$(\beta_{31} = 0,119, \beta_{33} = -1,102, \beta_{33} = 3,019)$$



Zusammenfassend kann daher festgestellt werden: Für die untersuchten Länder und im untersuchten Zeitraum findet sich robuste Evidenz für eine lineare Beziehung zwischen gesamtwirtschaftlichen FuE-Aufwendungen und dem kurzfristigen BIP-Wachstum. Es gibt Hinweise auf Nichtlinearitäten, doch diese sind nicht robust genug, um die Annahme eines linearen Zusammenhangs zugunsten der Annahme eines nichtlinearen Zusammenhangs zu verwerfen.

3.1.3 Regionsspezifische Schätzungen

Abschließend wird überprüft, inwieweit der Effekt von FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum in den verschiedenen Ländern bzw. Ländergruppen unterschiedlich stark ausfällt. Panelmodelle sind hierfür allerdings nur bedingt geeignet, da sie ihrer Natur nach den durchschnittlichen Effekt über verschiedene Beobachtungseinheiten hinweg messen. Um dennoch regionsspezifische Koeffizienten zu schätzen, besteht die Möglichkeit, die Variable von Interesse mit einer Dummyvariable zu interagieren. Somit werden nachfolgend Dummyvariablen für Deutschland und andere Regionen gebildet, welche nur für die jeweiligen Ländergruppen einen Wert von 1 annehmen. Diese Dummyvariablen werden mit der FuE-Variable interagiert. Die Folge eines solchen Vorgehens ist, dass für die Schätzung des Koeffizienten für die interagierten Variablen nur wenige Beobachtungen verfügbar sind. So nimmt die interagierte Variable aus FuE-Wachstum und dem Dummy für die deutschen Beobachtungen in 410 von 432 Fällen den Wert Null an. Der Koeffizient für die mit der deutschen Dummy interagierten FuE-Variable wird also auf der Basis von nur 22 Beobachtungen geschätzt. Diese Beobachtungszahl reduziert sich im Rahmen von GMM Schätzungen nochmals, da in dieser die verzögerten Variablen genutzt werden. Das kann zu weniger robusten Schätzergebnissen führen. Wird die Variation in der FuE-Variable zudem stärker durch die Unterschiede zwischen den Ländern getrieben als über die Zeit, sinkt die Wahrscheinlichkeit, einen signifikanten Koeffizienten zu finden.

Aus diesem Grunde sollten möglichst wenige Interaktionsterme gebildet und somit möglichst große Regionen gewählt werden. In der vorliegenden Untersuchung wird diesem Vorgehen soweit möglich Rechnung getragen. Aufgrund der Fragestellung wird jedoch an einer eigenen Dummyvariable für Deutschland festgehalten. Zusätzlich werden drei weitere Dummies gebildet. Damit stehen für die Schätzungen vier FuE-Variablen zur Verfügung: $\Delta r_i^{NSW-EUR}$ welches die Wachstumsraten der FuE-Ausgaben der nord-, süd- und westeuropäischen Länder (im weiteren NSW-Länder) im Sample umfasst; Δr_{all}^{OST} , welches die Veränderungsraten der FuE-Ausgaben der osteuropäischen Länder im Sample enthält, die Variable $\Delta r_{all}^{NON-EUR}$, die das Wachstum der FuE-Ausgaben der außereuropäischen Länder im Sample abbildet und Δr_{all}^{GER} für die deutschen FuE-Wachstumsraten.³⁷ In einer weiteren Schätzung wird die Anzahl der Regionen durch die Integration Deutschlands in die Gruppe der nord-, süd- und westeuropäischen Länder weiter reduziert.

Die Spalten 1 bis 4 in Tabelle 3-3 enthalten die Schätzergebnisse, wenn Deutschland als separate Region modelliert wird. In keiner der Spezifikationen findet sich ein signifikanter Parameter für die deutschen FuE-Ausgaben. Dieses Ergebnis sollte jedoch vor dem Hintergrund der am Anfang dieses Abschnitts dargestellten Schwierigkeiten bei der Schätzung länderspezifischer Koeffizienten im Rahmen von Panelmodellen gesehen werden. Es ist daher eher ein Indiz dafür, dass dem Aufsplitten der FuE-Ausgaben nach Regionen Grenzen gesetzt sind und dass für länderspezifische Untersuchungen die Methoden der Zeitreihenanalysen besser geeignet sind.

Daraus folgt auch, dass in diesem Schritt der Analyse, in welcher auf Panelmodelle abgestellt wird, Deutschland zu der Gruppe der NSW-Länder gezählt werden sollte. Die entsprechenden Ergebnisse finden sich in Spalte 5-8 in Tabelle 3-3. Die Koeffizienten für die NSW-Länder sind immer positiv und signifikant von Null verschieden. Der Koeffizient in der Schätzung in Spalte 8 entspricht dabei in Signifikanz und Magnitude dem Koeffizienten für das Wachstum der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben in der präferierten Spezifikation (Spalte 3) in Tabelle 3-1. Die regionsspezifischen Schätzungen bestätigen damit die vorherigen Ergebnisse. Sie machen zudem deutlich, dass der in den ersten Schätzungen ermittelte Koeffizient wesentlich durch die NSW-Länder bestimmt ist.

Aus Tabelle 3-3 ist ferner ersichtlich, dass der Effekt eines zusätzlichen Wachstums der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben auf das Wachstum des BIPs für die im Sample enthaltenen nichteuropäischen Länder deutlich stärker ist. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte die Zusammenstellung der Ländergruppe sein. Mit Japan, den USA und insbesondere Korea, enthält diese sehr forschungsstarke Nationen. Die Länder besitzen zudem eine Sektorstruktur, in der die Wissenswirtschaft eine im internationalen Vergleich herausragende Rolle spielt. So wird ein weit überdurchschnittlicher Anteil der koreanischen Wirtschaftsleitung durch forschungsintensive Industrien und insbesondere spitzentechnologische Sektoren erzeugt (Gehrke und Schiersch 2015). Mit ihrem Fokus auf wissensintensive Dienstleistungen nehmen die USA ebenfalls einen internationalen Spitzenplatz hinsichtlich der Bedeutung der Wissenswirtschaft ein. Auch Japan zählt zu den Nationen, in denen die forschungsintensiven Industrien einen deutlich überdurchschnittlichen Anteil zur Wirtschaftsleitung beitragen (Gehrke und Schiersch 2015). Dieser deskriptive Befund deutet darauf hin, dass die Zusammenstellung der nichteuropäischen Ländergruppe, die jedoch der Datenverfügbarkeit geschuldet ist, zum deutlich positiveren Ergebnis im Vergleich zu der NSW-Ländergruppe beigetragen hat.

³⁷ NSW-EUR: Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Niederlande, Portugal, Schweden, Spanien, Großbritannien
OST: Tschechische Republik, Ungarn, Polen
NON-EUR: Kanada, Japan, Korea, USA

3 Ökonometrische Analysen des Zusammenhangs von FuE und Wirtschaftswachstum

Tabelle 3-3: Schätzung für Produktionsfunktionen mit länderspezifischen Variablen für die gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben³⁸

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.211*** (0.0746)	-0.108 (0.0882)	-0.175* (0.0909)	-0.0400 (0.119)	-0.214*** (0.0776)	-0.114 (0.0912)	-0.178* (0.0920)	-0.0461 (0.121)
Δl	0.500*** (0.113)	0.627*** (0.0992)	0.379*** (0.113)	0.488*** (0.110)	0.480*** (0.123)	0.617*** (0.105)	0.373*** (0.122)	0.469*** (0.110)
Δc	0.286** (0.133)	0.162* (0.0851)	0.452*** (0.165)	0.294** (0.116)	0.303** (0.130)	0.167** (0.0806)	0.455*** (0.163)	0.306** (0.119)
Δh	0.0497 (0.0535)	-0.0476 (0.0493)	0.0567 (0.0476)	-0.0309 (0.0464)	0.0576 (0.0618)	-0.0450 (0.0557)	0.0495 (0.0381)	-0.0483 (0.0469)
Δu	-0.671*** (0.229)	-0.317* (0.185)	-0.808*** (0.229)	-0.482** (0.190)	-0.711*** (0.251)	-0.346* (0.194)	-0.832*** (0.249)	-0.525*** (0.201)
$\Delta r^{\text{NSW-EUR}}_{\text{all}}$	0.0532*** (0.0156)	0.0456*** (0.0163)	0.0595*** (0.0163)	0.0481** (0.0229)	0.0510*** (0.0156)	0.0436** (0.0171)	0.0561*** (0.0157)	0.0458* (0.0245)
$\Delta r^{\text{GER}}_{\text{all}}$	-0.00118 (0.0603)	-0.0263 (0.0478)	-0.0244 (0.0510)	-0.0530 (0.0483)				
$\Delta r^{\text{OST}}_{\text{all}}$	-0.000483 (0.0228)	-0.0189 (0.0173)	0.00497 (0.0265)	-0.00609 (0.0172)	-0.00247 (0.0206)	-0.0184 (0.0161)	0.00635 (0.0273)	-0.00487 (0.0166)
$\Delta r^{\text{NON-EUR}}_{\text{all}}$	0.174*** (0.0346)	0.126*** (0.0480)	0.198*** (0.0389)	0.153*** (0.0305)	0.169*** (0.0365)	0.121** (0.0509)	0.195*** (0.0392)	0.152*** (0.0306)
$D^{\text{NSW-EUR}}$	0.00850** (0.00411)	0.00129 (0.00437)	-0.00151 (0.00399)	-0.00463 (0.00408)	0.0220* (0.0132)	0.0186 (0.0139)	0.000287 (0.00675)	-0.00657 (0.00576)
D^{OST}	0.0259* (0.0139)	0.0320*** (0.00908)	0.0239*** (0.00483)	0.0221*** (0.00452)	0.0471*** (0.0180)	0.0514*** (0.0118)	0.0264*** (0.00671)	0.0208*** (0.00446)
$D^{\text{NON-EU}}$	-0.0136 (0.0105)	-0.0158 (0.0106)	-0.00293 (0.00874)	-0.00162 (0.00416)				
Jahres dummy	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja
Länder dummy	nein	nein	ja	ja	nein	nein	ja	ja
Konstante	0.0104*** (0.00381)	-0.00639 (0.00476)	0.00715* (0.00425)	-0.00980** (0.00482)	-0.00463 (0.0108)	-0.0238* (0.0136)	0.00462 (0.00967)	-0.00887 (0.00791)
N	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Dass die Koeffizienten für die drei osteuropäischen Länder nicht signifikant sind, bedarf einer Einordnung. Vermutlich erklärt sich dieses Ergebnis mit der besonderen Situation in diesen Ländern im Zuge des Umbaus der Wirtschaft in den 1990er Jahren. In dieser Phase war das Wirtschaftswachstum vor allem durch die Einbindung dieser Wirtschaftsräume in die europäischen Märkte und die europäische Wertschöpfungskette getrieben. Dies erfolgt nicht zuletzt durch Direktinvestitionen, dem Aufbau moderner Produktionsanlagen und einer massiven Bautätigkeit. Zugleich konnte durch das Adaptieren

³⁸ Die Ergebnisse aller übrigen Schätzungen mit Hilfe von System GMM finden sich in Tabelle 5-8 und Tabelle 5-9 in Abschnitt 5.3.

Die Dummyvariablen $D^{\text{NSW-EUR}}$ und folgende müssen in die Regressionen aufgenommen werden, da diese sonst ggf. unter dem omitted variable bias leiden. Zudem müssten die Koeffizienten der Dummyvariablen bei der Interpretation der die Koeffizienten von Δr^{all} berücksichtigt werden. Für den (Gesamt-)Effekt von x auf y im Falle der Interaktion von x mit z , also für $y = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 z + \beta_3 xz$, gilt, gegeben $z \neq 0$, dass eine Erhöhung von x um eine Einheit mit $\beta_1 + \beta_2 z$ auf y wirkt. Im vorliegenden Fall sind die Koeffizienten der Dummyvariablen jedoch i.d.R nicht von Null verschieden, wodurch sich die Interpretation auf den Koeffizienten von Δr^{all} reduziert.

vorhandenen Wissens und westlicher Technik enorme Produktivitätsfortschritte erzielt werden. Forschungsaktivitäten spielten dagegen eine untergeordnete Rolle.

Zusammenfassend kann damit festgehalten werden, dass im Rahmen der Panelmodelle keine Wirkung des Wachstums der deutschen gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum nachgewiesen werden konnte. Dies dürfte aber in erster Linie den Unzulänglichkeiten von Panelmodellen bezüglich der Quantifizierung länderspezifischer Effekte geschuldet sein. Wird Deutschland in die Gruppe der nord-, süd- und westeuropäischen Länder integriert, bestätigen die Schätzungen die Ergebnisse aus Abschnitt 3.1.1. Demnach führt der Anstieg des gesamtwirtschaftlichen FuE-Wachstums um einen Prozentpunkt zu einem Anstieg des BIP-Wachstums um etwa 0,045 Prozentpunkte. Die Schätzungen machen aber auch deutlich, dass es zwischen den Länder eine große Heterogenität hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen zusätzlichen FuE-Ausgaben und dem daraus generierten Wirtschaftswachstum gibt.

3.1.4 Zwischenfazit

Im Rahmen der ökonometrischen Untersuchungen steht die Frage im Mittelpunkt, ob es über alle Länder hinweg einen statistisch belastbaren, direkten Zusammenhang zwischen dem Wachstum der FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum gibt. Die Panelanalysen werden genutzt, um drei verschiedene Aspekte dieser generellen Fragestellung zu untersuchen. Zunächst wird geprüft, ob sich über alle Länder hinweg ein einfacher signifikanter Zusammenhang zwischen den gesamtwirtschaftlichen FuE und dem BIP finden lässt. Hierfür wird die Produktionsfunktion nach Griliches (Griliches 1979) zugrunde gelegt, welche auf die Cobb Douglas Produktionsfunktion aufbaut. Zudem wird geprüft, ob sich der Zusammenhang auch für die Unteraggregate von FuE finden lässt. Dafür werden die Schätzungen mit den Wachstumsraten der privatwirtschaftlichen und öffentlichen FuE-Ausgaben durchgeführt. In einem weiteren Schritt wird untersucht, ob zwischen den FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum anstelle eines linearen ein nichtlinearer Zusammenhang besteht. Zum Dritten wird geprüft, inwieweit sich der Effekt von FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum zwischen den Ländern bzw. Ländergruppen unterscheidet.

Die Analysen wurde mithilfe von OLS, dem Fixed-Effekt Ansatz, dem First-Difference Schätzer und dem System-GMM Ansatz durchgeführt. Letzterer weist die besten statischen Eigenschaften auf. Er ist weniger Anfällig für den Finite Sample Bias, ermöglicht dynamisch Schätzungen und Schätzungen mit endogenen Regressoren.

Die verschiedenen Untersuchungen kommen bezüglich der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben zu folgenden Ergebnis: Es findet sich ein deutlicher und signifikanter Zusammenhang zwischen den Veränderungsraten der FuE-Ausgaben und dem jährlichen Wirtschaftswachstum. Dieses Ergebnis gilt unabhängig davon, ob in den Schätzgleichungen ein einfacher linearer Zusammenhang oder ein nicht-linearer Zusammenhang unterstellt wird. Mit Ausnahme dreier osteuropäischer Länder findet sich auch dann ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem gesamtwirtschaftlichen FuE-Wachstum und dem Wachstum des BIPs, wenn die Schätzgleichung so gestaltet wird, dass sie die Effekte für verschiedene Ländergruppen misst.

Mit Blick auf die Unteraggregate, also der öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE, ist das Ergebnis weniger eindeutig. Für die öffentlichen FuE-Ausgaben findet sich sowohl in den einfachen Ansätzen (OLS, FE) als auch in den präferierten System-GMM Spezifikationen, welche sowohl Zeit- als auch Länderdummies enthalten, ein signifikanter Zusammenhang mit dem Wirtschaftswachstum. Für das Wachstum der privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben gilt dies nicht uneingeschränkt. Zwar ist der Koeffizient für diese FuE-Variable in den einfachen Ansätzen sowie in einer ganzen Reihe von Sys-

tem-GMM Spezifikationen positiv und signifikant, jedoch nicht in den präferierten Spezifikationen, also immer dann, wenn zusätzlich für Länder- und Zeiteffekt kontrolliert wird.

Obschon dieses Ergebnis zunächst überrascht, steht es doch mit einem Teil der Literatur zum direkten Zusammenhang zwischen FuE und Wirtschaftswachstum im Einklang (Pop-Silaghi, Alexa, et al. 2014, Eberhardt, Helmers und Strauss 2013a). Eberhardt et al. (2013a) führen die mangelnde Signifikanz auf die Existenz von Spillovereffekten zurück, die bis dato in der Untersuchung des direkten Zusammenhangs zwischen FuE und dem Wirtschaftswachstum nicht explizit modelliert werden. Existiert dieser Effekt, dann würde er ohne explizite Modellierung vom Störterm aufgefangen werden und zu einer Korrelation zwischen dem Störterm und der FuE-Variable führen. Dies wiederum verzerrt die Schätzungen. Wird jedoch System-GMM genutzt, welches verzögerte Variablen als Instrumente für die eigentlichen Variablen nutzen, können die lags so gewählt werden, dass es keine Korrelation zwischen Störterm und FuE-Variable gibt. Jedoch weisen die genutzten verzögerten FuE-Ausgaben ggf. eine geringere Erklärungskraft als die eigentliche FuE-Variable auf. Nach Eberhardt et al. (2013a) würde dies die geringere bis fehlende Signifikanz der geschätzten Koeffizienten erklären.

Die Ergebnisse sind gemischt für die Frage, ob der Zusammenhang zwischen den gesamtwirtschaftlichen FuE und dem Wirtschaftswachstum eher nichtlinear als linear ist. So gibt es eine Reihe von Spezifikationen, in denen die Koeffizienten der relevanten Variablen signifikant sind, was auf einen nicht-linearen Zusammenhang hindeutet. Dies gilt auch für den Fall, dass länder- und zeitspezifische Effekte berücksichtigt werden. Es gibt allerdings auch viele Spezifikationen in denen die relevanten Koeffizienten nicht signifikant von Null verschieden sind. Daher wird das Ergebnis bzgl. der Existenz von Nichtlinearitäten als nicht robust genug angesehen, um die Annahme eines einfachen linearen Zusammenhangs zwischen den gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben und dem BIP zugunsten eines nichtlinearen Zusammenhangs zu verwerfen.

Diese Ergebnisse der Panelanalysen machen somit in der Summe zweierlei deutlich: (a) Es gibt einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Wachstum der gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben und dem Wirtschaftswachstum; (b) Zur Frage der Nichtlinearität und der Modellierung von Spillovereffekten besteht weiterhin Forschungsbedarf.³⁹

3.2 Zeitreihenmodelle für Deutschland

Die gesamtwirtschaftliche Produktionsfunktion bildet auch das theoretische Fundament der hier verwendeten Zeitreihenmodelle (siehe Abschnitt 3.1). Entsprechend wird in der Schätzung des Einflusses der Ausgaben für FuE auf das Wirtschaftswachstum für potentielle Effekte durch die Variation der Inputfaktoren Kapital und Arbeit über die Zeit hinweg kontrolliert. Humankapital, eine Größe die gewöhnlich in Panelmodellen zur Schätzung der Produktionsfunktion Berücksichtigung findet, ist wegen der geringen Dynamik in der Zeitdimension für eine zeitreihenanalytische Untersuchung weniger interessant und bleibt im Folgenden unberücksichtigt.

Vor dem Hintergrund der vergleichsweise kurzen Zeitreihen, die als Grundlage für die zeitreihenökonomische Untersuchung zur Verfügung stehen, werden zunächst Eingleichungsmodelle geschätzt, die geringere Anforderungen an die Daten stellen und präzisere Schätzungen ermöglichen. Allerdings bieten diese Modelle nur unzureichende Möglichkeiten, potentielle Wechselwirkungen zwischen den Variablen zu berücksichtigen. Um diese Endogenität zwischen Wirtschaftswachstum und Forschungs-

³⁹ Es gibt bereits eine Reihe von Versuchen, den Effekt der Spillovereffekte zu messen. Dies aber in erster Linie mit Blick auf den Zusammenhang zwischen FuE und der Produktivitätsentwicklung (Belitz und Mölders 2013, Griffith, Redding und Van Reen 2004), nicht jedoch bzgl. des direkten Zusammenhangs mit dem Wirtschaftswachstum. Zudem ist die Frage der adäquaten Modellierung und der zu nutzenden Instrumente weiterhin offen.

investitionen explizit zu modellieren, werden multivariate, vektorautoregressive Modelle herangezogen.

3.2.1 Daten und deskriptive Analyse

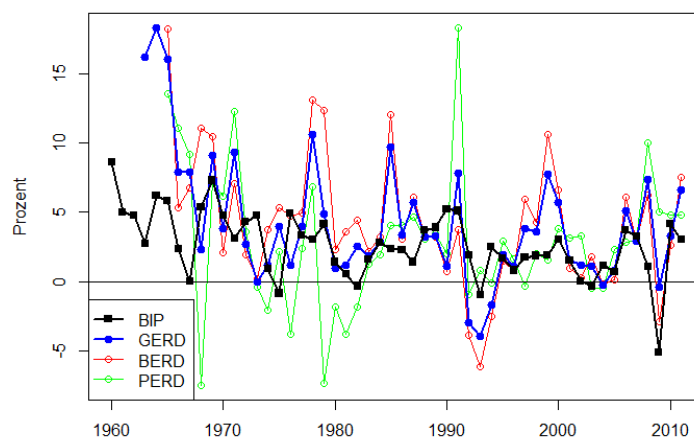
Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den FuE-Investitionen und dem Wirtschaftswachstum werden Bruttoinvestitionen als Approximation für die Intensität der Investitionstätigkeit herangezogen. Die Verwendung von Brutto- anstatt von Nettoinvestitionen, deren Verwendung die Bestimmung von FuE-Kapitalstöcken voraussetzt, stellt sicher, dass es zu keiner Verzerrung der Zeitreihendynamik durch die Datenkonstruktion kommt und stellt eine in der Literatur etablierte Approximation der Forschungsintensität dar.⁴⁰

Jährliche Daten zu den gesamten Forschungsausgaben (GERD), den Forschungsausgaben in der Wirtschaft (BERD) und den Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich (PERD) seit 1980 sind in der Datenbank der OECD verfügbar (siehe Abschnitt 2). Bis 1990 wird dabei allerdings nur das frühere Bundesgebiet (Westdeutschland) erfasst. In der vorliegenden Studie wurden diese Zeitreihen nach hinten verlängert. Dazu wurden für den öffentlichen Bereich Daten des Bundesforschungsberichts 2000 und für den Bereich der Wirtschaft ältere Daten des Stifterverbandes der Deutschen Wissenschaft herangezogen. Da der Stifterverband auch die Quelle für die in der OECD-Datenbank enthaltenen Zeitreihen zu BERD ist, sollten darin keine Probleme in Bezug auf die Konsistenz der Daten begründet sein. Die Preisbereinigung der nominalen Forschungsausgaben erfolgt mit dem BIP-Deflator aus der Datenbank der OECD und von AMECO für Beobachtungen vor 1970. Damit steht für die folgende Untersuchung eine hinreichend lange Zeitreihe von 1964 bis 2012 zur Verfügung. Die Investitionen in den physischen Kapitalstock, die Beschäftigtenzahlen und das reale Bruttoinlandsprodukt sind den Penn World Tables entnommen. Da Beschäftigtenzahlen erst seit 1970 in den Penn World Tables zu finden sind, reduziert sich der Beobachtungszeitraum um sechs Jahre für alle Schätzungen, die für die Beschäftigung kontrollieren.

Abbildung 3-2 plottet die Wachstumsraten des realen Bruttoinlandsprodukts sowie der gesamten FuE-Ausgaben und deren Unteraggregate. Zunächst fällt auf, dass die FuE-Investitionen der unterschiedlichen Bereiche sich relativ eng zusammenbewegen. Da die Forschungsinvestitionen in der privaten Wirtschaft den Großteil der Forschungsinvestitionen in Deutschland ausmachen, bilden die Wachstumsraten der Forschungsinvestitionen insgesamt (GERD) die Dynamik der FuE-Investitionen in der Wirtschaft (BERD) relativ deutlich nach. Etwas volatiler dagegen sind die Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich (PERD), die insbesondere nach der Wiedervereinigung im Jahr 1991 deutlich nach oben ausschlagen. Auch verweist die Abbildung darauf, dass sich die Wachstumsraten der realen Forschungsinvestitionen und des realen BIP gemeinsam bewegen, wobei dies dem Eindruck nach insbesondere für die Zeit seit der Wiedervereinigung gilt.

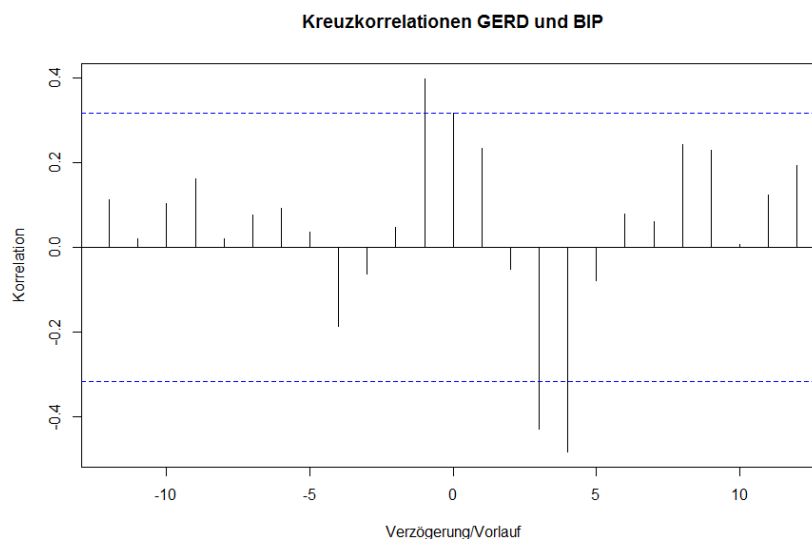
⁴⁰ Im Rahmen der Erstellung dieses Gutachtens wurde aus Gründen der Vollständigkeit auch der FuE-Kapitalstock als Maß für die Forschungsbemühungen verwendet. Wenngleich die Ergebnisse auch für solche Modelle, die einen unter Annahmen über die Abschreibungsrate konstruierten FuE-Kapitalstock als Maß verwenden, zumeist qualitativ vergleichbar sind, erscheint aus genannten Gründen eine Verwendung der Bruttoinvestitionen, die die Zeitreihendynamik nicht einer Annahme über gesamtwirtschaftliche FuE-Abschreibungsrate unterwirft, zielführender.

Abbildung 3-2: Wachstumsraten des realen BIP und der realen Forschungsinvestitionen nach Bereich



Eine erste Indikation über die dynamischen Beziehungen zwischen den Forschungsausgaben und dem Bruttoinlandsprodukt liefern die Kreuzkorrelationen, die in Abbildung 3-3 abgebildet sind. Dabei werden die Wachstumsraten des realen Bruttoinlandsprodukts festgehalten und Korrelationen mit verzögerten und vorlaufenden Wachstumsraten der Forschungsinvestitionen ermittelt. Abbildung 3-3 verweist auf einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen den Forschungsausgaben in der Vorperiode und dem Wirtschaftswachstum. Auch kontemporär, d.h. innerhalb desselben Jahres scheinen sich die beiden Größen gemeinsam zu bewegen, wenn auch knapp nicht signifikant. Insgesamt verweisen die Kreuzkorrelationen auf einen zyklischen Zusammenhang zwischen den Variablen. Dafür sprechen auch die deutlich negativen Korrelationen zwischen dem BIP-Wachstum und den Forschungsausgaben drei bis vier Jahre später, also in den Perioden $t+3$ und $t+4$. Eine mögliche Interpretation des negativen Zusammenhangs zwischen dem Wirtschaftswachstum und den FuE-Investitionen drei und vier Jahre verzögert könnte sein, dass die FuE-Ausgaben im Zuge eines Booms steigen und in der nachfolgenden Abkühlung zurückgefahren werden. Die Korrelation, deren zeitliche Verzögerung von drei bis vier Jahren etwa einen halben Konjunkturzyklus abbildet, könnte dementsprechend in den konjunkturellen Schwankungen begründet sein.

Abbildung 3-3: Kreuzkorrelationen zwischen den Wachstumsraten von GERD und BIP



Das Muster der Kreuzkorrelationen für die Forschungsausgaben in der privaten Wirtschaft bzw. im öffentlichen Bereich und dem BIP in Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 im Appendix ist dem oben beschriebenen sehr ähnlich. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen dem Wirtschaftswachstum und den Forschungsausgaben der privaten Wirtschaft in der Vorperiode schwächer und mit den Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich etwas stärker im Vergleich zu den gesamten Forschungsinvestitionen. Es sollte jedoch betont werden, dass es sich hierbei um bivariate Korrelationen handelt, die nicht für mögliche Effekte von anderen relevanten Variablen kontrollieren und auf deren Grundlage keine kausale Inferenz möglich ist.

3.2.2 Univariate Modelle

Die Produktionsfunktion, die in Gleichung 3 definiert ist, bildet die theoretische Grundlage für die Zeitreihenmodelle. In diesem Abschnitt wird sie zunächst über die Zeitdimension geschätzt, um dann als Grundlage für die Variablenauswahl in einem Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Modell zu dienen. Schließlich werden potentielle Zeitvarianzen durch die Schätzung der Produktionsfunktion in wachsenden und rollierenden Schätzfenstern untersucht.

Produktionsfunktion mit verzögerten FuE-Investitionen

Im Folgenden sollen Schätzungen der Produktionsfunktion, die für die Einflüsse der Faktoren Kapital und Arbeit im Produktionsprozess kontrollieren, herangezogen werden, um den Zusammenhang zwischen Forschungsaufwendungen und dem Wirtschaftswachstum genauer zu untersuchen. Die jüngsten Beobachtungen seit dem Beginn der Finanzkrise im Jahr 2008/09 bleiben in den Schätzungen unberücksichtigt, um Verzerrungen des Zusammenhangs zwischen den Variablen durch die Krise zu vermeiden. Ebenso geht in sämtliche Modelle eine Dummy-Variable für wiedervereinigungsbedingte Sprünge in die Zeitreihen ein. Diese Dummy-Variable nimmt für die Jahre 1990 und 1991 den Wert Eins an und hat für alle übrigen Perioden den Wert Null.

Tabelle 3-4 fasst die Ergebnisse der Schätzung der Produktionsfunktion zusammen. Dabei gehen die Forschungsinvestitionen mit einer Verzögerung in die Schätzung ein, um für potentielle Endogenität zu kontrollieren. Würden die Forschungsinvestitionen kontemporär in die Gleichung eingehen, würden

die Koeffizienten neben dem Einfluss von den Forschungsinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum potentiell Wechselwirkungen vom Bruttoinlandsprodukt auf die Forschungsausgaben auffangen. Zudem scheint dieses Vorgehen durch die oben betrachteten Kreuzkorrelationen legitimiert, die darauf verweisen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen den verzögerten Forschungsausgaben und dem Wirtschaftswachstum gemessen am Bruttoinlandsprodukt gibt. Dabei sind die Effekte, die von den gesamten Forschungsausgaben ausgehen mit einer Elastizität von 0.15 am stärksten und in etwa die Summe aus den Effekten der beiden Unteraggregate⁴¹, den Forschungsinvestitionen der privaten Wirtschaft und im öffentlichen Bereich.

Die beiden Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital gehen in die Gleichung ein, um für ihren Einfluss auf die Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts zu kontrollieren und stehen nicht im Fokus der Untersuchung. Die Koeffizienten liegen aber in einem plausiblen Bereich, wobei die Investitionen in den physischen Kapitalstock nicht immer signifikant sind. Der Koeffizient der Dummy-Variable zur Wiedervereinigung scheint deren Inklusion zu rechtfertigen. Er ist hoch-signifikant und verweist auf einen Wachstumsschub von knapp drei Prozent in der Folge der Wiedervereinigung. Insgesamt erklären Variationen in den Forschungsausgaben mit gut sechs Prozent einen nicht unerheblichen Teil der Variation in den Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts, wie aus der Differenz der R²-Werte der Spezifikation in Spalte (3) und Spalte (1) in Tabelle 3-4 deutlich wird.

Tabelle 3-4: Schätzungen der Produktionsfunktion mit verzögerten Forschungsinvestitionen.

	(1)	(2)	(3)
	ΔY_t	ΔY_t	ΔY_t
Konstante	0.549 (0.580)	0.618 (0.587)	0.762 (0.601)
$\Delta GERD_{t-1}$	0.147** (0.069)		
$\Delta BERD_{t-1}$		0.072 (0.053)	
$\Delta PERD_{t-1}$		0.086* (0.049)	
ΔL_t	0.352** (0.164)	0.374* (0.163)	0.453*** (0.165)
ΔK_t	0.304 (0.199)	0.278 (0.202)	0.368* (0.207)
Dummy (90/91)	2.926*** (0.915)	2.861*** (0.922)	2.714*** (0.955)
Sample	1971 2008	1971 2008	1971 2008
R ²	0.513	0.523	0.446
Adjusted R ²	0.454	0.448	0.397
Log likelihood	-59.501	-59.107	-61.945
F-statistic	8.689	7.016	9.127
Prob(F-statistic)	0.000	0.000	0.000

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-10 im Appendix fasst die Ergebnisse weiterer Schätzungen von Modellen in Anlehnung an die Produktionsfunktion zusammen, wobei hier auch die Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit ver-

⁴¹ Auf der Grundlage der logarithmierten und damit additiv verbundenen Produktionsfunktion wäre zu erwarten, dass die Summe der Koeffizienten der Unteraggregate der Forschungsinvestitionen in der privaten Wirtschaft und im öffentlichen Bereich in etwa der Output-Elastizität der gesamten Forschungsinvestitionen entspricht.

zögert in die Schätzung eingehen. Die Koeffizienten der Forschungsinvestitionen sind etwas höher als in der Basisspezifikation in Tabelle 3-4, wobei der Einfluss der Forschungsinvestitionen in der privaten Wirtschaft ebenfalls signifikant ist. Allerdings weist diese Spezifikation im Vergleich zur Basisspezifikation einen schlechteren Fit, gemessen am Bestimmtheitsmaß, und insignifikante Koeffizienten der verzögerten Produktionsfaktoren auf.

ARDL-Modell

Nachdem die einfachen Zeitreihenmodelle auf der Basis der Produktionsfunktion erste Evidenz für einen positiv signifikanten Einfluss von den Forschungsinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum liefern, entfernen sich die Schätzungen im Folgenden etwas von der Produktionsfunktion als theoretischem Fundament und stellen die Zeitreiheigenschaften in den Vordergrund. Dazu wird die Dynamik in den Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts zum Teil durch Wachstumsraten der Vorjahre, also eine autoregressive Komponente, erklärt.

Tabelle 3-5 berichtet die Ergebnisse von Schätzungen solcher Autoregressive Distributed Lag Modelle (ARDL). Für die Schätzungen in den Spalten (1) bis (3) wurden die Verzögerungen auf ein Jahr fixiert. Die Koeffizienten verweisen wieder auf einen signifikant positiven Zusammenhang von Forschungsinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum, der etwas größer ist als in der Spezifikation der Produktionsfunktion. Hierbei kommt der Effekt aus den Forschungsinvestitionen der privaten Wirtschaft, der mit einem Koeffizienten von 0.13 positiv signifikant ist, während die Investitionen in FuE im öffentlichen Bereich keinen signifikanten Einfluss haben.

Tabelle 3-5: Ergebnisse der Schätzungen von ARDL-Modellen mit fixierten Verzögerungen (Spalte 1–3) und mit Variablenauswahl nach der general-to-specific Methode (Spalte 4 und 5).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	ΔY_t	ΔY_t	ΔY_t	ΔY_t	ΔY_t
C	1.530 (0.434)	1.262*** (0.426)	1.296** (0.438)	2.181*** (0.419)	1.748*** (0.452)
$\Delta GERD_{t-1}$		0.175*** (0.061)		0.240*** (0.072)	
$\Delta BERD_{t-1}$			0.127* (0.063)		0.133** (0.059)
$\Delta PERD_{t-1}$			0.013 (0.054)		
ΔY_{t-1}	0.302** (0.141)	0.164 (0.148)	0.153 (0.156)		0.288* (0.155)
ΔY_{t-2}				-0.324*** (0.137)	-0.306** (0.133)
Dummy (90/91)	2.269* (1.294)	2.786** (1.278)	2.901*** (1.295)	3.709*** (1.197)	3.017** (1.215)
Sample	1966-2008	1966-2008	1966-2008	1966-2008	1966-2008
R ²	0.2	0.339	0.281	0.322	0.368
Adjusted R ²	0.16	0.29	0.206	0.27	0.301
Log likelihood	-83.172	-85.21	-80.871	-79.616	-78.118
F-statistic	5.002	6.997	3.718	6.175	5.524
Prob(F-statistic)	0.012	0.001	0.012	0.002	0.001

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Weitere Schätzungen lassen den Daten einige Freiheit in der Wahl der Spezifikation. Nach der General-To-Specific Methode⁴² werden von einem vollständig spezifizierten Modell mit jeweils vier Verzögerungen der abhängigen Variable, der beiden Produktionsfaktoren und der FuE-Investitionen sowie der kontemporären Dummy-Variablen und einer Konstanten solange die jeweils ineffizienteste verzögerte Variable entfernt, bis eine Spezifikation mit einem vollständig signifikanten Set von Koeffizienten erreicht ist. Die Ergebnisse dieser Schätzungen sind in Spalte (5) und (6) von Tabelle 3-5 berichtet. Obwohl der Algorithmus zur Eliminierung einzelner verzögerter Variablen auch ein vollständiges Herausfallen der Forschungsinvestitionen aus der jeweiligen Spezifikation erlauben würde, ist dies nicht der Fall. Im Gegenteil, in beiden Modellen bleiben die Forschungsinvestitionen neben der zweiten Verzögerung der abhängigen Variable, der Konstante und der Dummy-Variablen erhalten. Dabei ist zu bemerken, dass in der Ausgangsspezifikation, die sowohl beide Unteraggregate der FuE-Investitionen beinhaltet (Spalte (6) von Tabelle 3-5), die Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich durch das algorithmische Eliminieren von insignifikanten Variablen herausfallen. Auch ihre Koeffizienten verweisen auf einen signifikant positiven Zusammenhang der von den Forschungsinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum ausgeht, mit Koeffizienten von 0.24 für die gesamten und 0.13 für die privaten Forschungsausgaben.

Der robuste Einfluss der gesamten Forschungsinvestitionen in Verbindung mit den weniger klaren Ergebnissen für die Unteraggregate der gesamten Forschungsausgaben verweist darauf, dass die Wirkungsweise der FuE im privaten und im öffentlichen Bereich schwierig zu trennen ist. Dies dürfte zum einen damit zusammenhängen, dass beide Bereiche in den nationalen Innovationssystemen der untersuchten Industrieländer eng zusammenwirken, wenn auch in den einzelnen Ländern und über die Zeit in unterschiedlicher Form. Zum anderen dürften die privaten FuE-Ausgaben angesichts der Globalisierung der Wertschöpfungsketten auf andere Länder ausstrahlen. Diese Spillovereffekte sind – auch mangels geeigneter Daten – nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, dürften aber die präzise Zuordnung nationaler privater FuE-Ausgaben und die Bestimmung ihrer Effekte erschweren.

Zeitvariation der Koeffizienten

Im Folgenden soll die mögliche Zeitvarianz des Zusammenhangs zwischen Forschungsinvestitionen und dem Wirtschaftswachstum genauer untersucht werden. Dazu wird die Produktionsfunktion aus Tabelle 3-4 für verschiedene Subsamples mit wachsendem und rollierendem Fenster geschätzt. Das wachsende Fenster beginnt mit einer Schätzung für die Periode 1972 bis 1990 und fügt dieser dann jeweils eine weitere Beobachtung hinzu. Die rollierenden Schätzungen bewegen sich mit einem 20-Jahres-Fenster über den gesamten Schätzzeitraum, so dass im Gegensatz zu den Schätzungen mit wachsenden Fenstern ältere Beobachtungen wieder aus der Schätzung herausfallen.

⁴² Die Methode, die auf Davidson et al. (1978) zurückgeht und seither vielfach weiterentwickelt wurde, findet hier in ihrer einfachsten Form Anwendung in der mögliche kointegrierende Beziehungen in den Levels unberücksichtigt bleiben und nur die t-Statistiken der jeweiligen Koeffizienten bei der Modellreduktion herangezogen werden.

Abbildung 3-4: Koeffizient der gesamten FuE-Investitionen aus der Schätzung der Produktionsfunktion – wachsendes Fensters mit 90%-Konfidenzintervall.

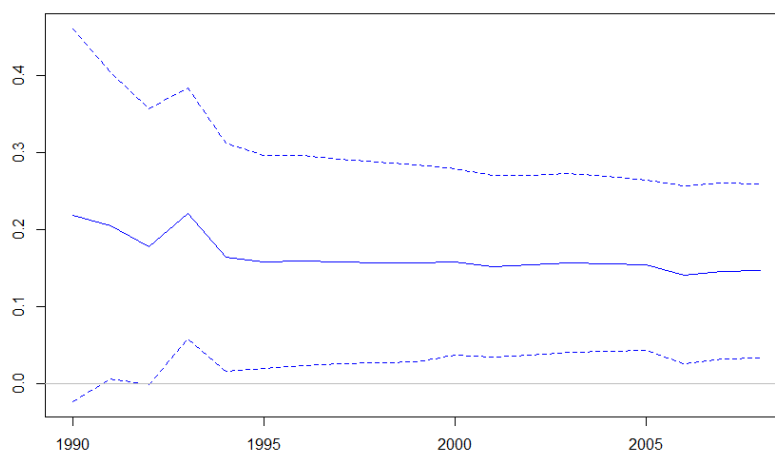
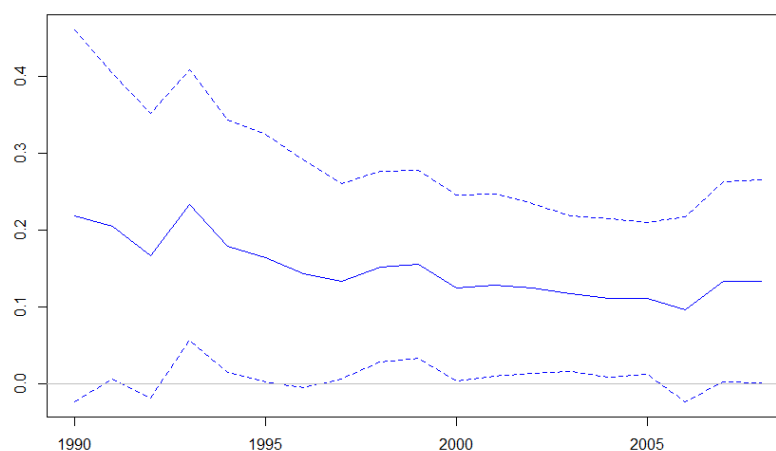


Abbildung 3-5: Koeffizient der gesamten FuE-Investitionen aus der Schätzung der Produktionsfunktion – rollierendes Fensters mit 90%-Konfidenzintervall.



Die Entwicklung der Koeffizienten über den Zeitverlauf auf der Basis eines wachsenden und eines rollierenden Fensters, die in Abbildung 3-4 und Abbildung 3-5 abgetragen sind, verweisen auf einen signifikant positiven, wenn auch im Zeitverlauf leicht nachlassenden Effekt von den Forschungsausgaben auf das Wirtschaftswachstum. Für die Unteraggregate, also die privaten und öffentlichen Forschungsausgaben, gilt dies nur mit Einschränkungen. Ihre Koeffizienten variieren stärker über die Zeit (siehe Abbildung 5-4 bis Abbildung 5-7 im Appendix). Die Schätzungen, die auf rollierenden Fenstern basieren, deuten darauf hin, dass die Forschungsinvestitionen der privaten Wirtschaft im Vergleich zu den Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich in den 2000er Jahren an Bedeutung als Wachstumsfaktor gewonnen haben, wenngleich die beiden Unteraggregate deutlich seltener signifikant sind, als dies für die gesamten Forschungsinvestitionen der Fall ist.

Zwischenfazit

Univariate Modelle, die den Einfluss der Inputfaktoren der Produktionsfunktion schätzen, verweisen auf einen positiven Zusammenhang zwischen FuE und Wirtschaftswachstum. In der Spezifikation wird der Einfluss von FuE-Investitionen auf das Wirtschaftswachstum isoliert von möglichen Feed-

back-Effekten vom Wachstum auf die FuE-Investitionen. Der Effekt liegt in der Größenordnung von etwa 0,15 Prozentpunkten des BIP-Wachstums in der Folge einer einmaligen Ausweitung der FuE-Investitionen um einen Prozentpunkt in Relation zur Wirtschaftsleistung.

In weiteren Schätzungen wurde getestet, inwieweit der Zusammenhang über die Zeit variiert. Dabei findet sich ein robust positiver, wenn auch nicht immer signifikanter Effekt von den gesamten FuE-Investitionen auf das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts. Der Punktschätzer ist zu Beginn des Untersuchungszeitraums etwas größer als 0,2 Prozentpunkte und sinkt am Ende leicht auf etwa 0,15. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Wirkung von FuE-Investitionen auf das Wachstum in Deutschland im Zeitverlauf etwas verringert hat.

3.2.3 Multivariate Modelle

Dieser Teil der zeitreihenanalytischen Untersuchung widmet sich dem Zusammenhang zwischen den FuE-Investitionen und dem Wirtschaftswachstum in einem multivariaten Kontext. Hierbei wird die Wechselwirkung zwischen FuE und Wirtschaftswachstum in sogenannten vektorautoregressiven Modellen (Lütkepohl 2007) explizit modelliert. In diesem Modellansatz hängen gegenwärtige Realisierungen der Wachstumsraten von BIP und Forschungsinvestitionen jeweils von den eigenen verzögerten Realisierungen und denen der anderen Variablen ab. So bildet das Modell potentiell auch Effekte ab, die von der Veränderung der Forschungsinvestitionen mit einer Verzögerung auf das Wirtschaftswachstum wirken und dann wieder auf die Forschungsinvestitionen. Die folgende Gleichung beschreibt ein solches Modell:

$$5 \quad y_t = v + A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} \\ + \Gamma_1 x_{t-1} + \Gamma_2 x_{t-2} + \dots + \Gamma_p x_{t-p} + u_t$$

wobei y_t ein $(k \times 1)$ Vektor endogener Variablen und die A_i 's $(k \times k)$ die dazugehörigen Parameter-Matrizen sowie x_t ein $(n \times 1)$ Vektor exogener Variablen und die Γ_i 's $(k \times n)$ Matrizen mit Parametern sind. v ist ein Vektor mit k Parametern der deterministischen Terme, u_t ein $(k \times 1)$ Vektor mit Residuen und p gibt die Anzahl der Verzögerungen an, die in das Modell eingehen. In den folgenden Schätzungen sind das BIP und die FuE-Investitionen als endogene Variablen modelliert, während der Vektor exogener Variablen die Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit als Kontrollvariablen enthält.

Ausgehend von dieser Modellstruktur lassen sich die Beziehungen zwischen beiden Variablen, den Forschungsinvestitionen und dem Wirtschaftswachstum, durch Granger-Kausalitäts-Tests und Impuls-Antwort-Analysen untersuchen. Um das Modell zu den Daten zu bringen, ist es nötig, die Anzahl der Verzögerungen zu bestimmen, die modelliert werden müssen. Auf der Basis von Informationskriterien und mit Rücksicht darauf, dass die Residuen keine Autokorrelation aufweisen, gehen zwei Verzögerungen in das Modell ein.⁴³ Dies stellt sicher, dass systematische Beziehungen auch von den in das Modell eingehenden verzögerten Variablen abgebildet werden.

Im Rahmen dieses Gutachtens wurden auch mögliche langfristige Gleichgewichtsbeziehungen zwischen den FuE-Investitionen bzw. den FuE-Kapitalstöcken und dem Bruttoinlandsprodukt untersucht, mit dem Ziel potenzielle kointegrierende Beziehungen in Form von Fehlerkorrekturmodellen abzubilden. Solche kointegrierende Beziehung beschreiben langfristige Gleichgewichte zwischen den Niveaus von Variablen. So kann zwar beispielsweise der Konsum für eine gewisse Zeitspanne die Ein-

⁴³ Während das Schwarz Kriterium eine Verzögerung als optimal anzeigt, weisen andere Kriterien auf längere Verzögerungen hin. Bei zwei Verzögerungen sind die Fehler frei von Autokorrelation und multivariat normalverteilt, weshalb dies die präferierte Spezifikation ist. Ergebnisse von Tests auf Autokorrelation und Normalverteilung der Residuen sind auf Anfrage von den Autoren verfügbar.

kommensentwicklung übertreffen, ist aber langfristig in eine Gleichgewichtsbeziehung gezwungen. Ein solches Verhalten lässt sich ökonometrisch mit Kointegrationstests untersuchen. Eine mögliche Hypothese in Bezug auf den hier untersuchten Gegenstand wäre, dass eine solche langfristige Gleichgewichtsbeziehung zwischen dem Level des Bruttoinlandsprodukts und den Forschungsinvestitionen besteht. Allerdings gibt es im Einklang mit der Literatur keine Hinweise auf kointegrierende Beziehungen weder zwischen den FuE-Investitionen und dem BIP, noch zwischen den FuE-Kapitalstöcken und dem BIP.⁴⁴

Granger Kausalität

Um die Wechselwirkungen zwischen den Investitionen für FuE auf der einen Seite und den Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts auf der anderen Seite zu untersuchen, eignen sich Granger-Kausalitäts-Tests (Granger, 1969). Ein Test auf Granger-Kausalität indiziert, ob eine Variable einen Informationsgehalt für zukünftige Ausprägungen einer anderen Variable hat. Oder mit anderen Worten: Lässt sich das Wirtschaftswachstum genauer prognostizieren, wenn man Informationen über die Investitionen in Forschung und Entwicklung in den Vorperioden berücksichtigt und umgekehrt?

Tabelle 3-6 gibt einen Überblick über die Resultate von Granger-Kausalitäts-Tests in unterschiedlichen Spezifikationen. So wurden aus Gründen der Robustheit Modelle mit und ohne Kontrollvariablen zugrunde gelegt und für das gesamte Sample und ohne die zehn ältesten Beobachtungen geschätzt.⁴⁵ Über alle Spezifikationen hinweg wird die Nullhypothese, dass die Wachstumsraten der gesamten Forschungsausgaben nicht Granger-kausal für das Wirtschaftswachstum sind, abgelehnt. Zugleich gilt dies in keiner Spezifikation in umgekehrter Richtung. Dies ist ein klarer Hinweis darauf, dass es nicht das Wirtschaftswachstum ist, das die Forschungsausgaben treibt, sondern umgekehrt, dass die Forschungsausgaben ein Treiber der Wachstumsraten des BIP sind.

Tabelle 3-6: Granger-Kausalitäts-Tests für die gesamten Forschungsausgaben.

Spezifikation	Exkludiert	Sample: 1965 2008		Sample: 1975 2008	
		χ^2	Prob.	χ^2	Prob.
Ohne	GERD	5.732	0.06	6.185	0.05
	Y	2.548	0.28	1.272	0.53
Dummy	GERD	9.063	0.01	12.296	0.00
	Y	2.234	0.33	0.914	0.63
Dummy, K und L	GERD	7.677	0.02	11.110	0.00
	Y	1.134	0.57	1.050	0.59

Tabelle 5-11 und Tabelle 5-12 im Appendix präsentieren Ergebnisse der Granger-Kausalitäts-Tests für die Unteraggregate der Forschungsausgaben. Auch hier gibt es deutliche, wenn auch weniger robuste Evidenz dafür, dass die privaten und öffentlichen Forschungsausgaben die Wachstumsraten des Brut-

⁴⁴ Im Einklang mit den Ergebnissen dieses Gutachtens finden weder Santos und Catalão-Lopes (2014) noch Estrada und Montero (2009) Hinweise auf kointegrierende Beziehungen zwischen den Investitionen in Forschung und Entwicklung und dem Bruttoinlandsprodukt für ein Sample europäischer Länder. Ergebnisse des Johansen Trace Tests und des Johansen Maximum Eigenvalue Tests sind auf Anfrage verfügbar.

⁴⁵ Die ältesten zehn Beobachtungen sind potentiell am anfälligsten für Messfehler, da sie nicht der OECD Datenbank entnommen sind, sondern aus Veröffentlichungen des Stifterverband der Deutschen Wissenschaft stammen und zur Verlängerung der Zeitreihen verwendet worden sind.

toinlandsprodukts beeinflussen. Die Tests deuten zudem auf eine Reaktion der Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich auf die konjunkturelle Lage hin. Insbesondere für jene Schätzungen, die auch für den Einfluss der Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit kontrollieren, deuten die Ergebnisse der Granger-Kausalitäts-Test auf eine beidseitige Abhängigkeit zwischen Wirtschaftswachstum und öffentlichen Forschungsinvestitionen hin. Dies deutet auf eine Prozyklizität in den Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich hin. So ist es möglich, dass die öffentlichen Haushalte Budgetspielräume in konjunkturell günstigen Zeiten – stärker als dies in der privaten Wirtschaft der Fall ist – dazu nutzen, um die Forschungsinvestitionen auszuweiten.

Alles in allem verweisen die bisherigen Ergebnisse auf einen signifikanten Einfluss von Investitionen in Forschung und Entwicklung auf das Wirtschaftswachstum. Im Folgenden soll das multivariate Vektorautoregressive Modell genutzt werden, um zu sehen, wie sich Schocks in den Forschungsinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum auswirken.

Impuls-Antwort-Analysen

Impuls-Antwort-Analysen quantifizieren die Reaktion der Variablen im Modell auf einen exogenen Schock im System über den Zeitverlauf. So lässt sich beispielsweise die Reaktion der Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts auf einen Schock in den Forschungsausgaben simulieren. Allerdings ist für eine solche Untersuchung eine Identifikation des vektorautoregressiven Modells erforderlich. Bei dieser Modellklasse handelt es sich im weiteren Sinne um simultan bestimmte Gleichungssysteme.

Um einzelne Effekte zu isolieren, benötigen solche Systeme identifizierende Annahmen. Ohne eine solche Identifikation bleiben die Fehlerterme u_t aus Gleichung 5 aus den verschiedenen strukturellen, ökonomisch interpretierbaren Schocks zusammengesetzt und werden daher als nicht identifiziert bezeichnet. Man spricht daher von einem vektorautoregressiven Modell, wie es Gleichung 5 beschreibt, als Modell in reduzierter Form, in der der Fehlerterm keine strukturelle Interpretation hat und keine ökonomisch interpretierbaren Impuls-Antworten konstruiert werden können. Eine Identifikation zerlegt die Fehlerterme u_t aus Gleichung 5 in sogenannte strukturelle Shocks, die miteinander unkorreliert sind. Mit anderen Worten: Das Ziel der Identifikation ist das Residuum der Vektorautoregression in reduzierter Form als eine lineare Kombination der strukturellen Fehler ϵ_t zu identifizieren, so dass

$$u_t = B\epsilon_t$$

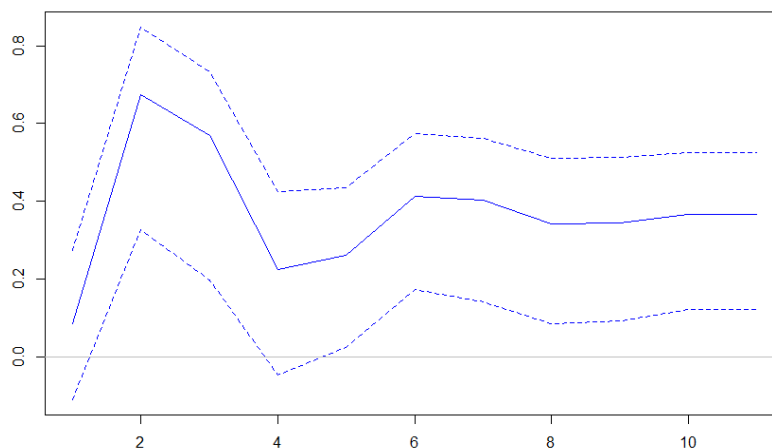
eine eindeutige Lösung hat. Für diese Identifikation sind Annahmen über die Struktur der Matrix B notwendig.

Im Folgenden werden zwei mögliche Strategien zur Identifikation verwendet und deren Ergebnisse zum Zwecke der Robustheit miteinander verglichen. Die erste Identifikation folgt Blanchard und Perotti (1999) in ihrer Argumentation in Bezug auf Staatsausgaben und nimmt an, dass FuE-Investitionen keine kontemporäre Reaktion auf einen angebots- oder nachfrageseitigen Schock auf das Wirtschaftswachstum zeigen. Blanchard und Perotti nutzen diese Annahme zur Identifikation von Staatsausgabenschocs indem sie argumentieren, dass die Fiskalpolitik nicht innerhalb eines Quartals auf veränderte makroökonomische Bedingungen reagieren kann. Diese identifizierende Annahme lässt sich vor dem Hintergrund der zumeist langfristig geplanten Forschungsbudgets, deren längerfristiger Ausrichtung und des hohen Anteils an Personalkosten in den Forschungsausgaben auch für die FuE-Ausgaben rechtfertigen, ist aber sicherlich nicht unangreifbar. Daher folgt eine zweite, alternative Identifikationsstrategie Estrada und Montero (2009), die in einem sehr stilisierten Modell endogenen Wachstums die identifizierende Annahme rechtfertigen, dass weder angebots- noch nachfrageseitige

Schocks auf die Produktion einen langfristigen Effekt auf die Forschungsausgaben haben. Diese Form der Identifikation über die langfristigen Effekte geht auf Blanchard und Quah (1989) zurück.

Die kumulierten Impuls-Antworten aus beiden Modellen auf der Grundlage der unterschiedlichen Identifikationsstrategien sind quantitativ und qualitativ sehr ähnlich, was auf die Robustheit der Ergebnisse hinsichtlich der Identifikationsstrategie hindeutet. Abbildung 3-6 plottet die kumulierten Impuls-Antworten des über langfristige Restriktionen identifizierten Modells nach Blanchard und Quah (1989), das für eine vergleichbare Analyse bereits in der Literatur Verwendung gefunden hat (Estrada und Montero, 2009). In Abbildung 5-8 im Appendix sind die kumulierten Impuls-Antworten des über kontemporäre Restriktionen nach Blanchard und Perotti (1999) identifizierten Modells geplottet. In der Reaktion auf einen einmaligen positiven Impuls in den Wachstumsraten der gesamten Forschungsausgaben in Höhe von einer Standardabweichung, also gut 3 Prozentpunkten, kommt es zu einer signifikant positiven Reaktion des Bruttoinlandsprodukts.⁴⁶ In der gleichen Periode reagiert die Volkswirtschaft noch nicht auf den Impuls. Im folgenden Jahr erreicht die Reaktion dann ihren Höhepunkt mit einem signifikant höheren Wachstum von etwa 0,6 Prozentpunkten. Langfristig liegt der kumulierte Effekt bei knapp 0,4 Prozentpunkten. Hierbei sollte bemerkt sein, dass dieses Überschießen ein Ergebnis der Kumulation der Impuls-Antwort in den Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts ist. In den Wachstumsraten erfolgt die einzige signifikante Reaktion in der ersten Periode nach dem Auftreten des Impulses. Die statistisch insignifikante negative Reaktion der Wachstumsraten in der zweiten Periode nach dem Impuls findet sich ungeachtet ihrer Insignifikanz in der kumulierten Impuls-Antwort wieder und reduziert den kumulierten Effekt. Auch Estrada und Montero (2009) finden eine vergleichbare überschießende Dynamik des US-amerikanischen Bruttoinlandsprodukts auf einen Impuls in den Forschungsausgaben. Eine mögliche Erklärung für ein solch überschießendes Verhalten wäre, dass sich nur ein Teil der entstehenden Innovationen mittelfristig auf dem Markt durchsetzen kann und es so in der kurzen Frist zu einer überschießenden Reaktion des Bruttoinlandsprodukts kommt.

Abbildung 3-6: Kumulierte Impuls-Antwort basierend auf der Identifikation nach Blanchard und Quah (1989)¹⁾



¹⁾ Impuls-Antwort des realen BIP in Levels (kumulierte Wachstumsraten) auf einen Impuls in den gesamten Forschungsausgaben (GERD) in Höhe von einer Standardabweichung. 68 % Konfidenzintervalle basierend auf 1000 Bootstrapping-Iterationen.

⁴⁶ Da die betrachteten Variablen in Wachstumsraten eingehen, um die Stationarität des Modells sicherzustellen, handelt es sich um einen einmaligen Schock in den Wachstumsraten der gesamten Forschungsausgaben, der sich als Niveauverschiebung in den Forschungsinvestitionen (also deren kumulierten Wachstumsraten) niederschlägt.

Abbildung 5-9 bis Abbildung 5-12 im Appendix zeigen die Impuls-Antworten für die Forschungsausgaben in der privaten Wirtschaft (BERD) und im öffentlichen Bereich (PERD). Die Impulsreaktionen des Bruttoinlandsprodukts auf Schocks in den beiden Unteraggregaten der gesamten Forschungsausgaben ähneln qualitativ stark den Reaktionen auf Schocks in den gesamten Forschungsausgaben. Quantitativ sind die Effekte allerdings etwas schwächer und weniger signifikant, was sich mit den übrigen Befunden in diesem Gutachten deckt und darauf hinweist, dass die Wirkungsweise der FuE im privaten und im öffentlichen Bereich weniger robust zu bestimmen ist, als dies für die gesamten Forschungsinvestitionen der Fall ist.

Um die Robustheit der Ergebnisse der Impuls-Antwort-Analysen zu überprüfen, wurde die Sensitivität der Ergebnisse gegenüber verschiedenen Änderungen an der Spezifikation des Modells überprüft. Insgesamt sind die Ergebnisse der Impuls-Antwort-Analyse robust gegenüber Veränderungen in der Lag-Struktur des Modells, dem Weglassen der Inputfaktoren als Kontrollvariablen im Modell und dem Weglassen einzelner Beobachtungen am Anfang und Ende des Samples.

Zwischenfazit

Granger-Kausalitätstests bestätigen die Ergebnisse der univariaten Zeitreihenanalyse und verweisen darauf, dass die gesamten Investitionen in FuE das Wirtschaftswachstum treiben, aber nicht umgekehrt. Dies legt nahe, dass in der wechselseitigen Beziehung zwischen Forschung und Wachstum die wachstumsfördernde Wirkung von FuE im Vordergrund steht.

Analysen der Impuls-Antworten im Rahmen des vektorautoregressiven Modells zeigen, dass ein Impuls in den FuE-Investitionen zu einer signifikanten Erhöhung der Wachstumsrate des Bruttoinlandsprodukts führt: wachsen die FuE-Investitionen um eine Standardabweichung (gut 3 Prozentpunkte) kräftiger, führt dies zu einem Anstieg des Wachstums in der Folgeperiode um etwa 0,6 Prozentpunkte und einem langfristigen kumulierten Wachstumseffekt von knapp 0,4 Prozentpunkten. Dieser Effekt entspricht in etwa einer Elastizität von 0,2 in der kurzen Frist und 0,12 in der langen Frist und bestätigt damit die Ergebnisse der univariaten Schätzungen.

Alles in allem kann festgehalten werden, dass auf Basis der Zeitreihenanalyse des Zusammenhangs zwischen FuE-Investitionen und Bruttoinlandsprodukt in Deutschland klare Evidenz für einen signifikanten positiven Effekt besteht, der von den FuE-Investitionen ausgeht. Zudem verweisen die Ergebnisse darauf, dass sich die Wirkung von FuE-Investitionen auf das Bruttoinlandsprodukt schneller materialisiert, als angesichts ihrer häufig langfristigen Ausrichtung zu erwarten wäre.

3.3 Einordnung der Ergebnisse

Insgesamt verweist die Studie auf einen deutlich positiven Effekt von FuE-Investitionen auf das Wirtschaftswachstum, gemessen am Bruttoinlandsprodukt (BIP). So ergeben die Panelanalysen, dass eine Erhöhung des Wachstums der gesamtwirtschaftlichen Forschungsausgaben in den untersuchten OECD-Ländern um einen Prozentpunkt im Mittel zu einer Erhöhung des BIP-Wachstums um 0,05 Prozentpunkte führt. In den Zeitreihenmodellen für Deutschland findet sich ein entsprechender Effekt zwischen 0,15 und 0,24 in der kurzen Frist und von etwa 0,12 in der längeren Frist. Die Effekte lassen sich unter Rückgriff auf eine Produktionsfunktion, die FuE berücksichtigt, mit folgender Beispielrechnung für Deutschland im Jahr 2012 illustrieren (siehe auch Tabelle 3-7): Bei Koeffizienten von 0,15 würde eine Ausweitung der FuE-Ausgaben um eine Mrd. Euro zu einer Erhöhung des BIP im folgenden Jahr führen, die – je nach unterstellter Abschreibungsrate der FuE-Investitionen – zwischen 470 Mio. bei einer Abschreibungsrate von 5 Prozent und gut einer Mrd. Euro bei einer unterstellten Abschreibungsrate von 15 Prozent liegt; folglich läge die Rendite je nach Abschreibungsrate etwa zwi-

schen 40 und 90 Prozent.⁴⁷ Dabei deuten die Ergebnisse der Zeitreihenanalysen darauf hin, dass die Stärke des Wirkungszusammenhangs in Deutschland im Zeitverlauf abgenommen hat. Anzumerken ist dabei aber, dass die Schätzung des Zusammenhangs für Deutschland auf einem relativ kleinen Sample basiert und mit erheblicher Unsicherheit verbunden ist. In Tabelle 3-7 sind daher auch die Schätzergebnisse für die oberen und unteren Grenzen des 90 Prozent Konfidenzintervalls angegeben. An der unteren Grenze des Konfidenzintervalls, d.h. noch innerhalb der Grenzen der Schätzunsicherheit des Modells, würde die Rendite der Forschungsinvestitionen, basierend auf einem Wert von 0,03 für die Output-Elastizität, je nach unterstellter Abschreibungsrate zwischen 6 und 9 Prozent ergeben.

Tabelle 3-7: Wirkung der Ausweitung der FuE-Investitionen um eine Mrd. Euro auf das BIP bei unterschiedlichen Output-Elastizitäten basierend auf der Schätzung der Produktionsfunktion in Tabelle 3-4.

	Output Elastizität	unterstellte Abschreibungsrate	BIP Erhöhung	Rendite
obere Grenze des 90 Prozent Konfidenzintervalls	0.26	15 %	1.88 Mrd. Euro	172.8 %
		10 %	1.35 Mrd. Euro	124.7 %
		5 %	0.82 Mrd. Euro	76.8 %
Mittelwert des Schätzers	0.15	15 %	1.08 Mrd. Euro	90.9 %
		10 %	0.78 Mrd. Euro	66.0 %
		5 %	0.47 Mrd. Euro	41.1 %
Untere Grenze des 90 Prozent Konfidenzintervalls	0.03	15 %	0.24 Mrd. Euro	9.1 %
		10 %	0.17 Mrd. Euro	7.3 %
		5 %	0.10 Mrd. Euro	5.5 %

Die ökonometrischen Analysen zeigen somit, dass FuE-Investitionen in Industrieländern ein zentraler Treiber für das Wachstum sind. Diese Wachstumserträge sind allerdings dadurch begrenzt, dass zu ihrer Realisierung aussichtsreiche Innovationsprojekte entwickelt werden müssen; dies kann nicht allein durch Finanzierung sichergestellt werden; dabei spricht die hohe Rentabilität von FuE-Ausgaben dafür, dass ihre Finanzierung im Bedarfsfall erhebliche Wachstumsimpulse generieren kann.

⁴⁷ Die Berechnung von Wachstumseffekten erfolgt im Rahmen der im Abschnitt 3.1 diskutierten Cobb-Douglas Produktionsfunktion. Für die Schätzungen hat sich die Einbeziehung der Wachstumsrate der FuE-Ausgaben als zweckmäßig herausgestellt, da hierfür keine Berechnung des FuE-Kapitalstocks erforderlich ist. Diese benötigt explizite Annahmen, wie etwa die Konstanz der Abschreibungsquote und eine Quantifizierung derselben. Mit der hier verfolgten Vorgehensweise werden Ergebnisse vermieden, die maßgeblich auf die Konstruktion dieser Kapitalstockreihe zurückgehen.

Für die Berechnung der Rendite von FuE-Investitionen im Rahmen des Gutachtens werden drei Annahmen aufgestellt: (1) Die Elastizität mit der FuE-Investitionen auf das BIP wirken, (2) die Rate mit der FuE-Investitionen abgeschrieben werden und (3) die Levels von FuE-Kapitalstock und BIP in einem Referenzjahr (wobei das Verhältnis von FuE-Kapitalstock zum BIP zur Berechnung der Rendite ausreichen würde). Die Tabelle 3-4 illustriert, wie diese Annahmen auf die Rendite wirken. Hier eine Beispielrechnung in der wir von einer Elastizität von 15 Prozent und einer Abschreibungsrate von 10 Prozent ausgehen und uns auf das Referenzjahr 2012 beziehen. Zunächst ergibt sich aus der Annahme über die Abschreibungsrate auf Grundlage der Zeitreihen der Bruttoinvestitionen ein FuE-Kapitalstock von etwa 575 Mrd. Euro. Eine Erhöhung des FuE-Kapitalstocks um ein Prozent entspräche damit 5,75 Mrd. Euro. Das BIP lag im Referenzjahr bei knapp 2892 Mrd. Euro, so dass es bei einer Elastizität von 15 Prozent um 4,3 Mrd. Euro steigen würde in der Reaktion auf eine Ausweitung des FuE-Kapitalstocks um ein Prozent. Bei einer Abschreibungsrate von 10 Prozent blieben von der Ausweitung des FuE-Kapitalstocks um 5,75 Mrd. Euro noch 5,15 Mrd. Euro in der nächsten Periode übrig. Die Summe aus dem zusätzlichen Kapitalstock (der immer noch wachstumswirksam, aber durch die Abschreibung kleiner geworden ist) und dem zusätzlich generierten Wachstum im Verhältnis zur Investition bestimmt die Rendite: $(5,15 \text{ Mrd.} + 4,3 \text{ Mrd.})/5,75 \text{ Mrd.} = 66 \text{ Prozent}$.

Abbildung 3-7: Häufigkeit von geschätzten Output-Elastizitäten von Forschungsinvestitionen in der Forschungsliteratur (Quelle: Hall et al., 2010)

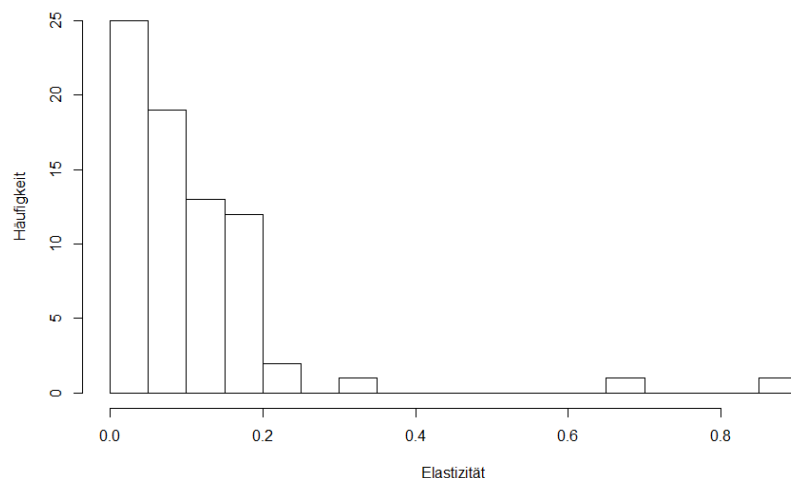
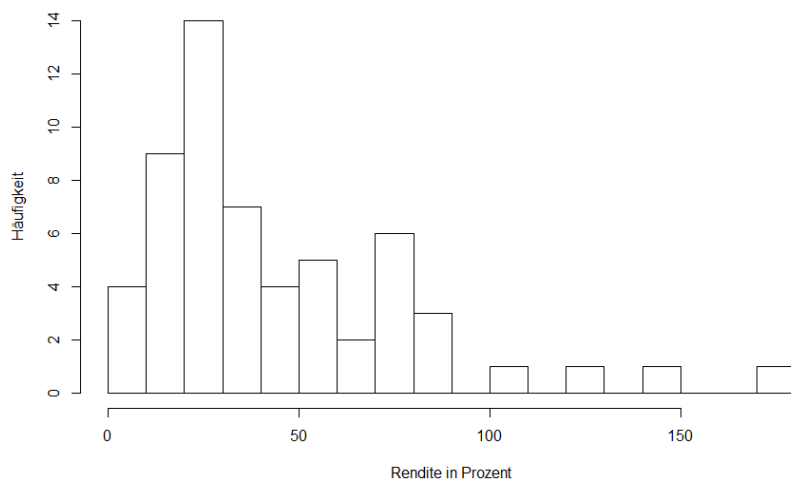


Abbildung 3-8: Häufigkeit von geschätzten Renditen von Forschungsinvestitionen in der Forschungsliteratur (Quelle: Hall et al., 2010)



Wenngleich die geschätzten Elastizitäten vor dem Hintergrund der Illustration aus Tabelle 3-7 eher hoch erscheinen, liegen sie klar im Bereich der Ergebnisse in der Literatur, die bemüht ist, Wachstumseffekte von Forschungsinvestitionen in Unternehmen, Sektoren und Ländern zu bestimmen. Hall et al. (2010) bieten eine umfassende Übersicht über Renditen von FuE-Investitionen, die in der Literatur bestimmt worden sind. Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 geben eine Übersicht über die Streuung der in der Literatur geschätzten Output-Elastizitäten und Renditen.⁴⁸ Dabei handelt es sich methodisch

⁴⁸ In der Konstruktion der Histogramme wurden die Angaben zu Output-Elastizitäten und Renditen aus den Tabellen 2a, 2b und 3 aus Hall et al. (2010) zugrundegelegt, da diese mit den Ergebnissen des vorliegenden Gutachtens vergleichbar sind. In jenen Fällen in denen ein Intervall angegeben ist, gehen die beiden Pole des Intervalls in die Konstruktion des Histogramms ein.

und inhaltlich um sehr heterogene Studien, die von Untersuchungen auf Unternehmenslevel bis zu Panelmodellen über Länder hinweg reichen. Es wird deutlich, dass die Streuung der geschätzten Output-Elastizitäten und Renditen von FuE-Investitionen sehr hoch ist. Die in diesem Gutachten geschätzten Intervalle liegen dabei zwar im oberen Mittelfeld, aber deutlich im Rahmen der Schätzungen in der Literatur.

Mit Blick auf die Unteraggregate, also der öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE, ist das Ergebnis weniger eindeutig. Abweichend von den Ergebnissen für die FuE-Ausgaben insgesamt zeigt sich hier ein uneinheitliches Bild: Für die öffentlichen FuE-Ausgaben findet sich in den Panel-Schätzungen sowie den meisten Zeitreihen-Regressionen ein signifikanter Zusammenhang mit dem Wirtschaftswachstum. Auch für das Wachstum der privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben ist bei den Panel-Schätzungen der Koeffizient für diese FuE-Variable in den einfachen Ansätzen sowie in einer ganzen Reihe von System-GMM Spezifikationen positiv und signifikant. Dies gilt jedoch nicht in den präferierten Spezifikationen. Bei den Zeitreihen-Modellen ermitteln die ARDL-Modelle, die Impuls-Antworten-Analysen sowie zum Teil die Granger-Kausalitätstests einen signifikanten Einfluss der privaten FuE-Investitionen, während sich bei der Schätzung der Produktionsfunktion die privaten FuE-Ausgaben hingegen als insignifikant erweisen.

Der robuste Einfluss der gesamten Forschungsinvestitionen in Verbindung mit den weniger klaren Befunden für die Unteraggregate der gesamten Forschungsausgaben verweist darauf, dass die Wirkungsweise der FuE im privaten und im öffentlichen Bereich schwierig zu trennen ist. Dies dürfte zum einen damit zusammenhängen, dass beide Bereiche in den nationalen Innovationssystemen der untersuchten Industrieländer eng zusammenwirken, wenn auch in den einzelnen Ländern und über die Zeit in unterschiedlicher Form. Auch dürften die privaten FuE-Ausgaben angesichts der Globalisierung der Wertschöpfungsketten auf andere Länder ausstrahlen. Diese Spillovereffekte sind – auch mangels geeigneter Daten – nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, dürften aber die präzise Zuordnung nationaler privater FuE-Ausgaben und die Bestimmung ihrer Effekte zusätzlich erschweren.

Nicht zuletzt können für die Uneinheitlichkeit der Ergebnisse methodische Gründe herangezogen werden: Signifikante Koeffizienten für privatwirtschaftliche FuE-Ausgaben finden sich bei den Panelregressionen in einfachen Modellen – wie OLS und in Fixed-Effekt Schätzungen – bei denen die potentielle Endogenität der Regressoren nicht berücksichtigt wird. Robuste Schätzmethode – wie der System GMM-Schätzer – vermeiden derartige Verzerrungen, nehmen dafür jedoch in Kauf, dass die in der Schätzung genutzten verzögerten FuE-Ausgaben häufig eine geringere Erklärungskraft als die eigentlichen FuE-Variablen aufweisen. Auch dies kann die teilweise fehlende Signifikanz der geschätzten Koeffizienten erklären.

Hinsichtlich einer getrennten Betrachtung privater und öffentlicher FuE-Ausgaben sind auch die Ergebnisse in der Literatur gemischt:

- So findet Pop-Silaghi et al. (2014) eine signifikante Wirkung privater FuE-Ausgaben: eine zehnpromzentige Ausweitung privater FuE-Ausgaben fördert das Wachstum kurzfristig um 0,5 Prozent;⁴⁹ die Koeffizienten öffentlicher Ausgaben sind dort dagegen insignifikant. Allerdings beschränken sich die Autoren auf mittel- und osteuropäische Volkswirtschaften.⁵⁰

⁴⁹ "...a 10% increase in the business R&D intensity should generate an increase of 0.5% in the short run growth" (Pop-Silaghi et al. 2014, 112). Der Koeffizient liegt bei knapp 0,05.

⁵⁰ Die Studie nutzt Daten von 10 mittel- und osteuropäischen Ländern und untersucht den Zeitraum 1998 bis 2008. Obschon die Autoren als Basis der Schätzungen die theoretische Herleitung von Goel und Ram (1994) angegeben, lehnt sich der Schätzansatz doch eher an das klassische Solow-Modell an, welches von Mankiw, Romer und Weil (1992) sowie Nonneman und Vanhoudt (1996) für die Untersuchung des Wirtschaftswachstums unter Berücksichtigung von Humankapital und FuE weiterentwickelt wurde.

Während im standardmäßig gewählten Solow-Modell die Bruttoinvestitionen relativ zum BIP betrachtet werden, unterscheiden Pop-Silaghi et al. zwischen ausländischen Direktinvestitionen und den um diese „bereinigten“ Investitionen ins Bruttoanlagevermögen.⁵¹ Zudem schätzen die Autoren auch langfristige Effekte; bezüglich privater FuE-Ausgaben fallen diese höher als in der kurzen Frist aus: eine zehnpromtente Ausweitung fördert das Wachstum langfristig um gut zwei Prozent.⁵² Die Koeffizienten der öffentlichen FuE-Intensität bleiben insignifikant.

Die abweichenden Ergebnisse für die privaten FuE-Ausgaben sind auch auf die angewandte Schätzmethode, den First-Difference Ansatz des GMM Modells (FD-GMM) anstelle des System GMM (SYS-GMM) Schätzers, zurückzuführen.⁵³ In vorliegender Studie wurde der SYS-GMM Ansatz gewählt, um Verzerrungen des FD-GMM Schätzers zu überwinden.⁵⁴ Außerdem spielen auch der betrachtete Zeitraum und die Behandlung von Ausreißern eine Rolle: so sind etwa die Koeffizienten der FuE-Ausgaben in einer kürzeren Stichprobe erheblich geringer.⁵⁵ Überraschend ist zudem, dass die Koeffizienten des physischen Kapitalstocks bei Pop-Silagi et al. insignifikant sind.

- Die Studie von Falk (2007) untersucht ebenfalls den Einfluss von privaten FuE-Ausgaben auf das Pro-Kopf-Wachstum; betrachtet werden (14 bis 19) OECD Länder im Zeitraum von 1970 bis 2004.⁵⁶ Es werden Fünfjahresdurchschnitte der Variablen genutzt; entsprechend gelten die Effekte nur im Mittel und im Rahmen dieser Zeiträume. Wie in vorliegender Studie verwendet Falk den SYS-GMM Schätzer; allerdings wird die Ausgangsgleichung durch vorherige Differenzenbildung modifiziert. Mittels eines Quotienten aus FuE-Ausgaben in High-Tech-Sektoren und den gesamten privaten FuE-Ausgaben wird zudem abgeschätzt, inwieweit FuE-Ausgaben in FuE-intensiven Branchen einen eigenen und ggf. zusätzlichen Effekt auf das Wirtschaftswachstum haben.⁵⁷ Sowohl für private FuE-Ausgaben allgemein als auch für diejenigen in FuE-intensiven Branchen weist Falk einen kurzfristigen Wachstumsschub von gut einem Viertel Prozent nach.⁵⁸ Allerdings sind auch diese Koeffizienten nur schwach (zum 10% Niveau) signifikant.⁵⁹ Hinzu kommt, dass Falk weder das Bevölkerungswachstum, die Abschreibungsrate des Kapitalstocks noch den technischen Fortschritt explizit berücksichtigt.⁶⁰

⁵¹ Dabei vernachlässigen sie, dass die in den Direktinvestitionen erfassten Finanzströme nicht identisch sind mit der Finanzierung von Investitionen in Sachkapital.

⁵² „...a 10% permanent increase in the R&D intensity should generate in the long run a 2.13% increase in the growth of the GDP per working age population“ (Pop-Silaghi et al. 2014, 112). Der Koeffizient liegt zwischen 0,10 und 0,21.

⁵³ Eine Schätzung mittels SYS-GMM liefert ebenfalls keine signifikanten Koeffizienten: „...all the explanatory variables of interest from the main specification prove to be insignificant and the estimation becomes not reportable“ (Pop-Silaghi, Alexa, et al. 2014, 111).

⁵⁴ Der Finite Sample Bias tritt auf, wenn die verwendeten Instrumente schwach sind (weak instrument problem) und die Stichprobe nicht genügend Beobachtungen umfasst (Bound, Jaeger und Baker 1995).

⁵⁵ Pop-Silagi et al. (2012) finden Koeffizient der privaten FuE-Intensität von etwa 0,025 (Pop-Silaghi, Alexa, et al. 2012, 24); dabei wird eine um neun Beobachtungen kürzere Stichprobe verwendet. Ebenfalls einen Einfluß auf das Ergebnis hat eventuell, dass eine bessere Identifikation von Ausreißern in Pop-Silagi et al. (2014) zum Verzicht auf das Löschen einiger Beobachtungen geführt hat. Dies ist eine legitime Vorgehensweise, die notwendig ist, um einerseits potentiellen Verzerrungen durch Outlier vorzubeugen sowie andererseits, um wichtige Informationen nicht durch eine zu umfangreiche Datenbereinigung zu verlieren. Es zeigt aber auch, dass die Stärke des Effekts durchaus Schwankungen unterliegt und schon durch leicht abweichende Beobachtungszahlen beeinflusst wird.

⁵⁶ Die deutschen Daten der Jahre 1990-1994 werden vernachlässigt.

⁵⁷ Hierfür wird jedoch keine theoretische Fundierung entwickelt.

⁵⁸ „...an increase of 10% in the share of R&D performed in the high-tech sector amounts to a 0.26% increase in the GDP per capita in the short term“ (Falk 2007, 144). Die Koeffizienten liegen zwischen 0,024 und 0,026 bzw. bei 0,027 für die FuE-intensiven Sektoren.

⁵⁹ Problematisch sind die schlechten Werte des Sargan/Hansen Tests, denen zufolge die verwendeten Lagstrukturen nicht ausreichen, um die Exogenität der Instrumente sicher zu stellen: „In all cases, the Sargan test of overidentifying restrictions cannot reject the null hypothesis that the instruments are uncorrelated with the error term at the 5% level.“ (Falk 2007, 143). Der Schätzansatz leidet damit zumindest zum 5% Niveau unter dem Endogenitätsproblem. In den angefügten Robustness checks fallen die H Sargan/Hansen Tests jedoch deutlich besser aus.

⁶⁰ Aufgrund der Schwierigkeiten, den technischen Fortschritt direkt zu beobachten, wird diese Variable auch bei anderen Untersuchungen vernachlässigt. Gleiches gilt jedoch nicht für die beiden erstgenannten Variablen. In gewisser Weise kann der Autor jedoch geltend machen, dass es sich bei diesen beiden Variablen um kurzfristig exogene Größen handelt, deren Einfluss zumindest teilweise auch über die

- Auch Wang, Yu und Liu (2013) untersuchen den Einfluss privater FuE-Ausgaben und betrachten dabei ebenfalls die Ausgaben in High-Tech-Sektoren. Dabei verzichten sie auf die Berücksichtigung der Investitionsquote, der verzögerten abhängigen Variablen oder zeitvarianter Effekte; diese Vereinfachung kann vor dem Hintergrund der Wachstumstheorie zu Verzerrungen führen.⁶¹ Der verwendete Datensatz beinhaltet Beobachtungen für 23 OECD Länder und Taiwan für den Zeitraum 1991 bis 2006. In einer OLS Schätzung finden die Autoren keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Anteil der FuE-Ausgaben in den Hochtechnologiesektoren und dem Wirtschaftswachstum pro Kopf. Der Koeffizient der privaten FuE-Intensität ist zwar zum 10% Niveau signifikant, allerdings ist er negativ. Untersuchungen mittels einer Quantil Regression liefern ebenfalls über fast alle Perzentile hinweg einen insignifikanten Einfluss des Anteil der Hightech-FuE-Ausgaben an den gesamten FuE-Ausgaben. Für das 95er Perzentil finden die Autoren jedoch einen positiven und zum 1% Niveau signifikanten Koeffizienten. Dies impliziert, dass FuE-Ausgaben in Hightech-Branchen einen signifikant positiven Wachstumseffekt haben, wenngleich dies vor allem für die fortgeschrittensten Volkswirtschaften gilt.⁶² Für das Verhältnis der privaten FuE-Ausgaben zum BIP findet sich zwar für alle Perzentile ein negativer Koeffizient, jedoch ist er nur für den Median signifikant zum 5% Niveau. Zudem wird durch die Verwendung einer einfachen Quantilregression die Zeitdimension nicht berücksichtigt. Zyklische Entwicklungen und exogene Schocks, für die zumindest teilweise durch Einsatz von Zeitdummies kontrolliert werden kann, wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für zeitinvariante länderspezifische Effekte, die etwa über Länderdummies abgefangen werden könnten.
- Eberhardt, Helmers und Strauss (2013a) zeigen, dass ein signifikanter Einfluss vom FuE-Kapitalstock verschiedener Industriesektoren auf die jeweilige Wertschöpfung nur unter Einschränkungen nachweisbar ist.⁶³ Sie nutzen eine Vielzahl von Ansätzen⁶⁴, die zwar teilweise zu signifikanten Koeffizienten führen; jedoch liefern gerade diejenigen Schätzer insignifikante Ergebnisse, die nach statistischen Diagnosetests (Autokorrelation, Endogenität der Regressoren, Root Mean Square Error etc.) unproblematisch sind.⁶⁵

Dabei gehen die Autoren konkret der Frage nach, ob unbeobachtete Effekte, insbesondere Spillovereffekte die Schätzungen der *private returns*⁶⁶ der FuE-Ausgaben beeinflussen. Die Studie nutzt Daten von 12 Industriesektoren („DA - Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung“ bis „DN - Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten nach WZ 2003) im Zeitraum 1980 bis 2005 für 8 westeuropäische Länder und die USA. In der ökonometrischen Untersuchung werden jedoch keine Variablen berücksichtigt, die Spillovereffekte messen. Vielmehr nutzten die Autoren ökonometrische Verfahren, um Aussagen dazu zu machen, ob die Schätzungen durch unbeobachtete Effekte beeinträchtigt sind.

verzögerte endogene Variable abgefangen wird.

⁶¹ Der Term *omitted variable bias* bezeichnet Verzerrungen von Schätzergebnissen aufgrund des wissentlichen oder unwissentlichen Auslassens von Variablen. Die Verzerrung entsteht, wenn das Schätzmodell versucht, den fehlenden Einfluss durch das über- oder unterschätzen des Einflusses der übrigen Variablen zu kompensieren. Voraussetzung ist, dass die ausgelassene Variable sowohl mit der abhängigen als auch mit einer oder mehreren erklärenden Variablen korreliert ist.

⁶² „high-tech R&D expenditures have a statistically significant positive and highest effect on the countries with the highest income per capita.“ (Wang, Yu und Liu 2013, 1991).

⁶³ „conventional approaches imply large and significant private returns to R&D, while specifications accounting for cross-section dependence imply relatively limited private returns to R&D“ (Eberhardt, Helmers und Strauss 2013a, 447).

⁶⁴ Zu den verwendeten Verfahren gehören: Pooled OLS, 2-way Fixed Effekt, First Difference, der Common Correlated Effects Pooled (CCEP) Schätzer, System GMM, und diverse Varianten des Mean Group Schätzers.

⁶⁵ „In contrast, once our diagnostic tests are more favorable, the coefficient of own-R&D always drops considerably and becomes statistically insignificant.“ (Eberhardt, Helmers und Strauss 2013a, 446)

⁶⁶ Private returns beziehen sich hier auf den direkten Effekt der eigenen FuE auf die Beobachtungseinheit (z.B. Unternehmen, Branchen, Regionen, Länder). Social returns umfassen alle Effekte der von anderen Beobachtungseinheiten durchgeführten FuE.

Zusätzlich zu den statischen Ansätzen, bei Annahme einheitlicher Parameter, wurden auch dynamische Ansätze mit einheitlichen Parametern untersucht. Die Schätzungen mit den bereits genannten Methoden liefern mit Ausnahme des einfachen OLS-Modells keine signifikanten Parameter für FuE-Kapital. Auch die Koeffizienten für Arbeit und Kapital sind zum Teil insignifikant. Zusätzlich zu den ökonometrischen Methoden, die einheitliche Parameter über Länder hinweg unterstellen, nutzen die Autoren diverse ökonometrische Ansätze, die diese Annahme aufheben, und schätzen wieder sowohl statische als auch dynamische Modelle. Doch auch wenn länder- und industriespezifische Koeffizienten zugelassen werden, finden sich nur in wenigen Fällen signifikante Parameter für FuE-Kapital.

Zeitreihenmodelle finden in der Literatur zur Untersuchung des Einflusses von Ausgaben für Forschung und Entwicklung auf das Wirtschaftswachstum verschiedentlich Anwendung, allerdings – gegeben die eingeschränkte Verfügbarkeit ausreichend langer Zeitreihen – deutlich weniger häufig als Panel-Modelle. Während die Mehrzahl der Autoren den Effekt von Forschungsinvestitionen auf die Faktorproduktivität untersucht, analysieren nur wenige Papiere den Zusammenhang zwischen Forschungsausgaben und dem Wirtschaftswachstum auf der Grundlage von Zeitreihenmodellen. Unter Berücksichtigung der Fragestellung des vorliegenden Gutachtens beschränkt sich die folgende Diskussion der Literatur auf jene Papiere, die den Einfluss von Forschungsaufwendungen auf das Wirtschaftswachstum empirisch untersuchen.

- Für ein Sample von europäischen Staaten mit Fokus auf Spanien untersuchen Estrada und Montero (2009) den Einfluss von Forschungsinvestitionen auf das Wirtschaftswachstum unter Verwendung eines strukturellen vektorautoregressiven (SVAR) Modells. Die Identifikation des Modells basiert auf einem stark stilisierten Modell einer Volkswirtschaft basierend auf Bartelsman (1990) und Park (1998). In diesem Modell haben weder nachfrageseitige noch angebotsseitige Schocks auf das Bruttoinlandsprodukt einen langfristigen Effekt auf die Forschungsausgaben. Das SVAR Modell schätzen die Autoren für verschiedene europäische Länder auf der Grundlage von vierteljährlich interpolierten Daten von 1970 bis 2006. Zur Interpolation werden Daten zur Industrieproduktion in den fünf forschungsintensivsten Industriezweigen herangezogen. Die Autoren finden einen positiven Effekt von FuE-Innovationen auf das Bruttoinlandsprodukt für sämtliche untersuchte Länder. Für Deutschland finden die Autoren eine langfristige Anpassung des BIP-Wachstums von etwa 0,7 Prozentpunkten in Reaktion auf einen Schock in den gesamten Forschungsausgaben in Höhe von einer Standardabweichung. Dabei ist das Niveau dieses langfristigen Effekts bereits nach etwa sechs Quartalen erreicht. In dem gleichen Modellrahmen untersuchen die Autoren den Einfluss von privaten und öffentlichen Forschungsinvestitionen und kommen zu dem Ergebnis, dass Forschungsinvestitionen der Privatwirtschaft einen größeren Effekt auf das Wirtschaftswachstum haben als solche aus dem öffentlichen Bereich. Einschränkend sollte darauf hingewiesen werden, dass die Interpolation der Daten unter Zuhilfenahme der Industrieproduktion den Zusammenhang zwischen dieser interpolierten Größe und dem Bruttoinlandsprodukt, das seinerseits stark mit der Industrieproduktion zusammenhängt, möglicherweise qua Konstruktion treibt.
- Goel et al. (2007) untersuchen die langfristige Beziehung zwischen Forschungsausgaben und Wirtschaftswachstum für die USA und verwenden ein sogenanntes Autoregressive Distributed Lag Model (ARDL). Im Fokus steht dabei die Evaluierung der Wirkung von Forschungsinvestitionen auf der föderalen Ebene und der Ebene der Bundesstaaten sowie von Forschungsinvestitionen im Verteidigungssektor. Die Autoren finden einen besonders deutlichen Effekt von Rüstungsforschung auf das Wirtschaftswachstum. Santos und Cataloa-Lopez (2014) verwenden ein Fehlerkorrekturmodell zur Analyse desselben Zusammenhangs in einer Reihe von europäischen Ländern darunter auch Deutschland. Dabei setzen die Autoren ihre Modelle auf der Grundlage von 22 Beobachtungen für den Zeitraum 1987 bis 2008 auf. Die Autoren finden keine kointegrierende Be-

ziehung zwischen den betrachteten Variablen in Deutschland und können auch keinen Granger-kausalen Zusammenhang für Deutschland identifizieren. Vergleichbar untersuchen Wu et al. (2007) den Einfluss von FuE auf das Wirtschaftswachstum in China zwischen 1953 und 2004 unter Verwendung eines Vektor-Fehlerkorrekturmodells und finden einen langfristigen positiven Zusammenhang zwischen beiden.

Insgesamt stehen die in dieser Studie vorgelegten Ergebnisse somit im Einklang mit vergleichbaren Analysen in der Literatur. Vor allem tritt der positive Effekt der FuE-Ausgaben auf das Wirtschaftswachstum hervor. Eine getrennte Betrachtung privater und öffentlicher Ausgaben liefert dagegen oftmals keine eindeutigen Resultate. Dies muss auch vor dem Hintergrund der engen Verzahnung beider Bereiche in nationalen Forschungssystemen gesehen werden.

4 Literaturverzeichnis

- Adler, Walther, Nadin Gühler, Erich Oltmanns, Daniel Schmidt, Pascal Schmidt, und Ingeborg Schulz. *Forschung und Entwicklung in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen*. Wirtschaft und Statistik, Statistisches Bundesamt, 2014, 703-717.
- Aghion, Philippe, und Peter Howitt. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge : MIT Press, 1998.
- Arellano, M., and O. Bover. "Another look at the instrumental variable estimation of error-components models." *Journal of Econometrics*, 1995: 29-51.
- Arellano, M., and S. Bond. "Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations." *Review of Economic Studies*, 1991: 277-297.
- Arnold, Jens Matthias. *Productivity Estimation at the Plant level: A practical guide*. Mimeo, Milan: Bicconi University, 2005.
- Bartelsman, Eric J. „Federally sponsored R&D and productivity growth.“ Herausgeber: Board of Governors of the Federal Reserve System (US). Nr. 121 (1990).
- Belitz, Heike, und Florian Mölders. „International Knowledge Spillovers through High-tech Imports and R&D of Foreign-owned Firms.“ *DIW Discussion Paper No.1276*, 2013.
- Belitz, Heike, und Vaishali Zambre. „Forschen deutsche Großunternehmen zu wenig?“ *DIW Wochenbericht Nr. 32/2011*, 11-19.
- Blanchard, Oliver, and Roberto Perotti. "An Empirical Characterization of the Dynamic Effects of Changes in Government Spending and Taxes on Output." *Quarterly Journal of Economics*, 2002: 1329-1368.
- Blanchard, Olivier, und Danny Quah. „The Dynamic Effects of Aggregate Demand and Supply Disturbances.“ *American Economic Review*, 1989.
- Blundell, R., and S. Bond. "Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models." *Journal of Econometrics*, 1998: 115-143.
- Blundell, Richard, und Stephen Bond. „GMM Estimation with persistent panel data: an application to production functions.“ *Econometric Reviews* 19, Nr. 3 (2000): 321-340.
- Bond, Stephen, Anke Hoefler, und Jonathan Temple. „GMM Estimation of Empirical Growth Models.“ *CEPR Discussion Papers 3048*, 2001.
- Bound, John, David A. Jaeger, und Regina M. Baker. „Problems with Instrumental Variables Estimation When the Correlation between the Instruments and the Endogeneous Explanatory Variable is Weak.“ *Journal of the American Statistical Association*, 1995: 443-450.
- Bravo-Ortega, Claudio, und Álvaro Garcia Marin. „R&D and Productivity: A Two Way Avenue?“ *World Development*, 2011: 1090-1107.
- Caselli, Francesco, Gerardo Esquivel, und Fernando Lefort. „Reopening the Convergence Debate: A New Look at Cross-Country Growth Empirics.“ *Journal of Economic Growth*, 1996: 363-389.
- Davidson, J., D. F. Hendry, F. Saba, und S. Yeo. „Econometric Modelling of the Aggregate Time Series Relationships between Consumers Expenditure and Income in the United Kingdom.“ *Economic Journal* 88 (1978): 661-92.
- Denton, Frank T. "Adjustment of monthly or quarterly series to annual totals: an approach based on quadratic minimization." *Journal of the American Statistical Society*, 1971: 99-102.
- Eberhardt, Markus, Christian Helmers, und Hubert Strauss. „Do Spillovers Matter When Estimating Private Returns to R&D?“ *Review of Economics and Statistics* 95, Nr. 2 (2013a): 436-448.
- Eberhardt, Markus, Christian Helmers, und Hubert Strauss. „Online Appendix - Do Spillovers Matter When Estimating Private Returns to R&D?“ *Review of Economics and Statistics* 95, Nr. 2 (2013b): 436-448.
- EFI. „Jahresgutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015.“ Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation, 2015.

4 Literaturverzeichnis

- Estrada, Á., and J. M. Montero. "R&D investment and endogenous growth: a SVAR approach." *Banco de Espana Working Paper*, 2009.
- Falk, Martin. „R&D spending in the high-tech sector and economic growth.“ *Research in Economics* 61 (2007): 104-147.
- Gehrke, Birgit, Rainer Frietsch, Christian Rammer, and Peter Neuhäusler. „Neuabgrenzung forschungintensiver Industrien und Güter.“ *NIW/ISI/ZEW-Listen 2012. Studien zum deutschen Innovationssystem 8-13*. Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), 2013.
- Gehrke, Birgit, und Alexander Schiersch. *Globale Wertschöpfungsketten und ausgewählte Standardindikatoren zur Wissenswirtschaft*. Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 10-2015, Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), 2015.
- Goel, Rajeev G., und Rati Ram. „Research and Development Expenditures and Economic Growth: A Cross-Country Stud.“ *Economic Development and Cultural Change*, 1994: 403-411.
- Granger, Clive W. J. „Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods.“ *Econometrica* 37, Nr. 3 (1969): 424–438.
- Greene, William H. *Econometric Analysis*. 7. Prentice Hall, 2012.
- Griffith, Rachel, Stephen Redding, und John Van Reen. „Mapping the Two Faces of R&D: Productivity Growth in a Panel of OECD Industries.“ *The Review of Economics and Statistics*, 2004: 883–895.
- Griliches, Zvi. „Research expenditures, education and the aggregate agricultural production function.“ *American Economic Review* 54, Nr. 6 (1964): 961-974.
- . „Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth.“ *The Bell Journal of Economics*, 1979: 92-116.
- Hall, Bronwyn H., Jacques Mairesse, und Pierre Mohnen. „Measuring the Returns to R&D.“ In *Handbook of the Economics of Innovation*, von Bronwyn H. Hall und Nathan Rosenberg, 1033- 1082. Elsevier B.V., 2010.
- Hall, Bronwyn H., Jacques Mairesse, und Pierre Mohnen. „Measuring the Returns to R&D.“ In *Handbook of the Economics of Innovation*, von Bronwyn H. Hall und Nathan Rosenberg, 1033–1082. Elsevier B.V., 2010.
- Hall, Bronwyn H., und Jacques Mairesse. „Exploring the Relationship between R&D and Productivity in French Manufacturing Firms.“ *Journal of Econometrics* 65 (1995): 263-293.
- Kommission, Enquete. *Schlussbericht der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität – Wege zu nachhaltigem Wirtschaften und gesellschaftlichem Fortschritt in der Sozialen Marktwirtschaft“*. – 17. Wahlperiode – 43 – Drucksache 17/13300. Berlin: Deutscher Bundestag, 2013.
- Lee, Jeong Hyop. „Evolution of Republic of Korea's R&D System in a Global Economy. Proceedings and papers presented at the Consultative workshop on the Promotion of National Innovation Systems in Countries with Special Needs of the Asia-Pacific Region.“ Vers. APCTT-ESCAP. 2011. http://nis.apctt.org/PDF/CSN_Workshop_Report_Final.pdf (Zugriff am 27. 02 2015).
- Lütkepohl, Helmut. *New introduction to multiple time series analysis*. Berlin, Florence: Springer Science & Business Media, 2007.
- Mankiw, N. Gregory, David Romer, und N. David Weil. „A contribution to empirics of economic growth.“ *The Quarterly Journal of Economics*, 1992: 407-437.
- Nielsen, Sebastian, and Alexander Schiersch. "Temporary Agency Work and Firm Competitiveness: Evidence from German Manufacturing Firms." *Industrial Relations* 53, no. 3 (2014): 365-393.
- Nonneman, Walter, und Patrick Vanhoudt. „A further augmentation of the Solow model and the empirics of economic growth for OECD countries.“ *The Quarterly Journal of Economics*, 1996: 943-953.
- Park, Walter G. „A theoretical model of government research and growth.“ *Journal of economic behavior & organization*, Nr. 34.1 (1998): 69-85.
- Pop-Silaghi, Monica Iona, Diana Alexa, Cristina Jude, and Cristian Litan. "Do business and public sector

4 Literaturverzeichnis

- research and development expenditures contribute to economic growth in Central and Eastern European Countries? A dynamic panel estimation." *Economics Discussion Papers 2012-4*, 2012.
- Pop-Silaghi, Monica Iona, Diana Alexa, Cristina Jude, und Cristian Litan. „Do business and public sector research and development expenditures contribute to economic growth in Central and Eastern European Countries? A dynamic panel estimation.“ *Economic Modelling*, 2014: 108-119.
- Roodman, D. "How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata." *Stata Journal*, 2009: 86-136.
- Santos, João F., und Margarida Catalão-Lopes. „Does R&D Matter for Economic Growth or Vice-Versa? An application to Portugal and other European Countries.“ *Archives of Business Research*, 2014: 1-17.
- Wang, David Han-Min, Tiffany Hui-Kuang Yu, und Hong-Quan Liu. „Heterogeneous effect of high-tech industrial R&D spending on economic growth.“ *Journal of Business Research* 66 (2013): 1990-1993.
- Wu, Y. M., L. Zhou, und X. L. Jian. „Co-integration and Causality between R&D Expenditure and Economic Growth in China: 1953–2004.“ *International Conference on Public Administration*, 2007.

5 Anhang

5.1 Methodische Anmerkungen

5.1.1 Berechnung von FuE-Kapitalstöcken

Hier werden FuE-Kapitalstöcke entsprechend den in der Literatur verwendeten Methoden geschätzt (Hall, Mairesse und Mohnen 2010). Der FuE-Kapitalstock FK eines Landes i zum Zeitpunkt t wird nach der Perpetual-Inventory-Methode berechnet:

$$6 \quad FK_{i,t} = (1 - a)FK_{i,t-1} + f_{i,t}$$

wobei $FK_{i,t}$ für den FuE-Kapitalstock, $f_{i,t}$ für die FuE-Investitionen und a für die Abschreibungsrate des FuE-Kapitalstocks stehen. Für die Abschreibungsrate wird hier ein Wert von 15 Prozent für alle Länder angenommen. Dies ist allerdings eine vereinfachende Annahme, die den unterschiedlichen Nutzungsdauern von FuE-Ergebnissen in verschiedenen Technologiebereichen nur ungefähr gerecht werden kann. Nach einer Umfrage bei mehr als 1500 Unternehmen in Deutschland beträgt die Nutzungsdauer von FuE-Investitionen hier in der Chemieindustrie zur Zeit etwa 21 Jahre, im Automobilbau jedoch nur 8 Jahre (Adler, et al. 2014).

Da bei der OECD für die meisten Länder Daten zu den FuE-Investitionen erst ab Anfang der 1980er Jahre, für Südkorea sogar erst ab 1991 zur Verfügung stehen, müssen Anfangswerte für den FuE-Kapitalstock geschätzt werden. Dies geschieht, wie in der Literatur üblich (Hall, Mairesse und Mohnen 2010). Danach berechnet sich der Startwert für den FuE-Kapitalstock $FK_{i,0}$ aus:

$$7 \quad FK_{i,0} = \frac{f_{i,0}}{(a+w)}$$

mit $f_{i,0}$ für die FuE-Investitionen in $t = 0$ mit a als Abschreibungsrate des FuE-Kapitals (hier 15%) und w_i für die geschätzte durchschnittliche Wachstumsrate der FuE-Investitionen der Vorperioden (hier geschätzt mit der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate der ersten zehn verfügbaren Jahre).

5.1.2 Nichtparametrische Oaxaca-Blinder-Zerlegung bzw. Shift-Share-Analyse⁶⁷

Die Differenz in den privaten FuE-intensitäten zwischen zwei Ländern ($FI^{DEU} - FI^{Vergleichsland}$) wird in zwei Komponenten zerlegt, die Strukturkomponente (Δ_{ST}) und die Verhaltenskomponente (Δ_{VH}):

$$8 \quad FI^{DEU} - FI^{Vergleichsland} = \Delta_{ST} + \Delta_{VH}$$

⁶⁷ Die Zerlegung geht auf die Arbeiten von Ronald Oaxaca und Alan Blinder zu Lohndifferenzierungen zurück. Oaxaca, R. (1973). Male-female wage differentials in urban labor markets. *International Economic Review*, 14(3), 693–709. Blinder, A. (1973). Wage Discrimination: Reduced Form and Structural Estimates. *Journal of Human Resources*, VII(4), 436–455. Das Verfahren wurde u.a. auch zur Erklärung der Unterschiede der FuE-Intensitäten zwischen Ländern und Unternehmensgruppen (Belitz, Zambre 2011) genutzt.

5 Anhang

Die Strukturkomponente Δ_{ST} erfasst den Teil der Differenz, der auf die unterschiedliche Bedeutung von Sektoren in den beiden Vergleichsländer bzw. -regionen zurückgeht. Er ergibt sich somit aus der Differenz in den Sektorgewichten, hier gemessen anhand des Anteils des jeweiligen Sektors an der Wertschöpfung, und der jeweiligen sektoralen FuE-Intensität im Vergleichsland. Die gewichteten FuE-Intensitäten werden über alle verfügbaren Sektoren aggregiert:

$$9 \quad \Delta_{ST} = \sum_i FI_i^{\text{Vergleichsland}} \left(\text{SHARE}_i^{\text{DEU}} - \text{SHARE}_i^{\text{Vergleichsland}} \right)$$

mit i = Branchen, 2-Steller WZ

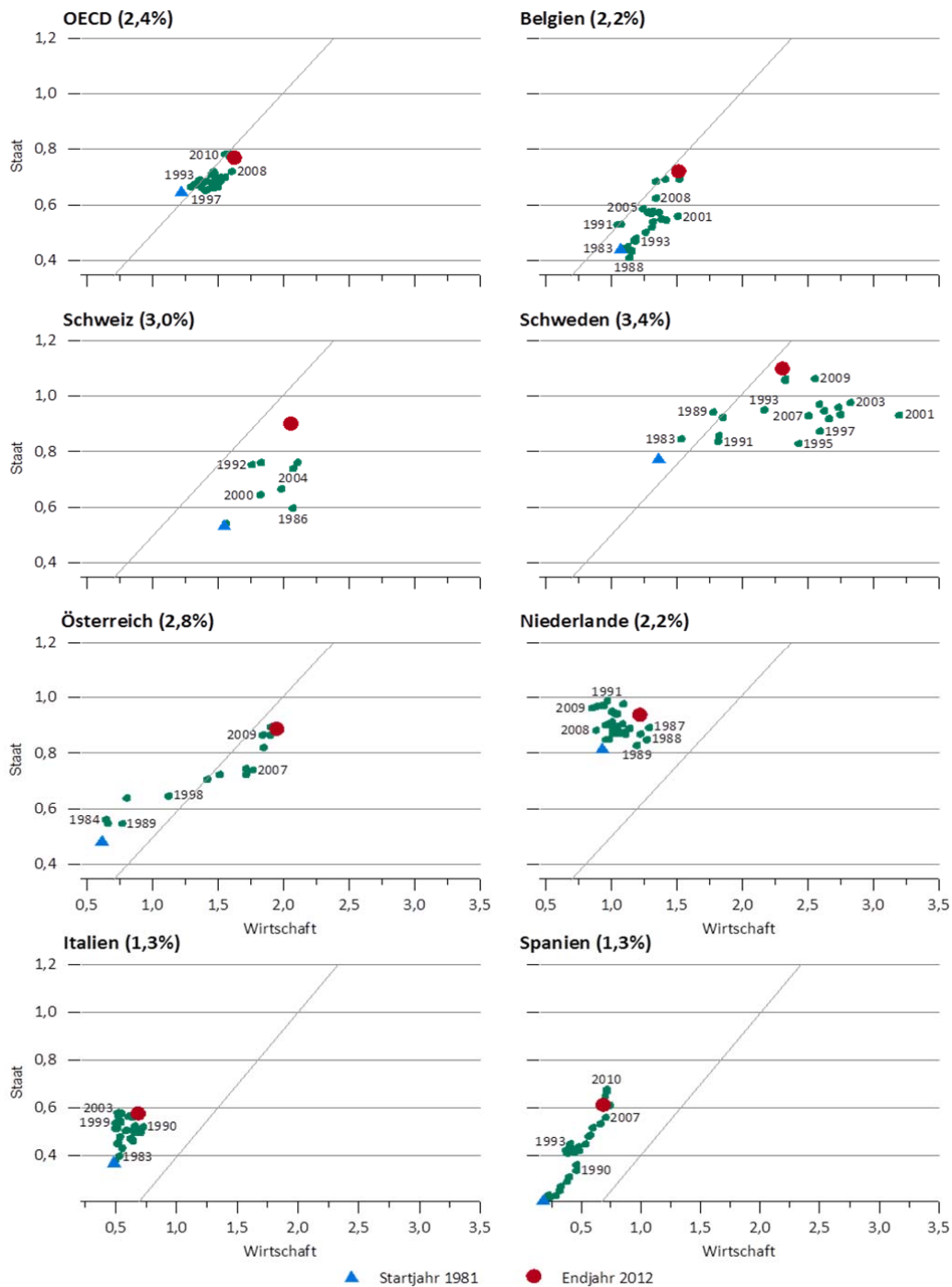
Die Verhaltenskomponente Δ_{VH} misst den Teil der Gesamtdifferenz, der auf abweichendes FuE-Verhalten (FuE-Intensität) innerhalb eines Sektors zurückgeht. Er ergibt sich aus der sektoralen Differenz in der FuE-Intensität zwischen zwei Ländern, die mit dem Gewicht des deutschen Sektors an der Wertschöpfung gewichtet wird. Die sektoralen gewichteten Differenzen werden über alle verfügbaren Sektoren aggregiert.

$$10 \quad \Delta_{VH} = \sum_i \text{SHARE}_i^{\text{DEU}} \left(FI_i^{\text{DEU}} - FI_i^{\text{Vergleichsland}} \right)$$

mit i = Branchen, 2-Steller WZ.

5.2 Abbildungen

Abbildung 5-1: FuE-Intensität in Wirtschaft und Staat 1981–2012



In Klammern gesamt FuE-Intensität 2012.

Quelle: OECD; Berechnungen des DIW Berlin.

Abbildung 5-2: Kreuzkorrelationen zwischen den Wachstumsraten von BERD und BIP

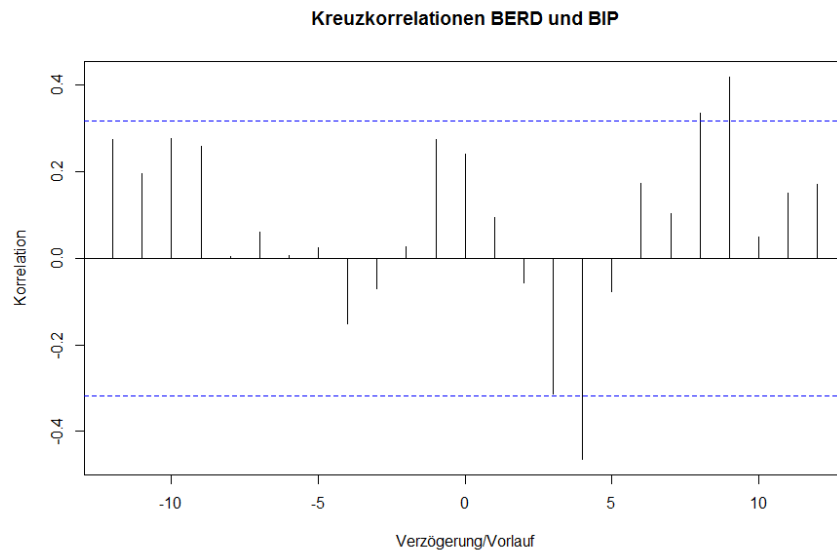


Abbildung 5-3: Kreuzkorrelationen zwischen den Wachstumsraten von PERD und BIP

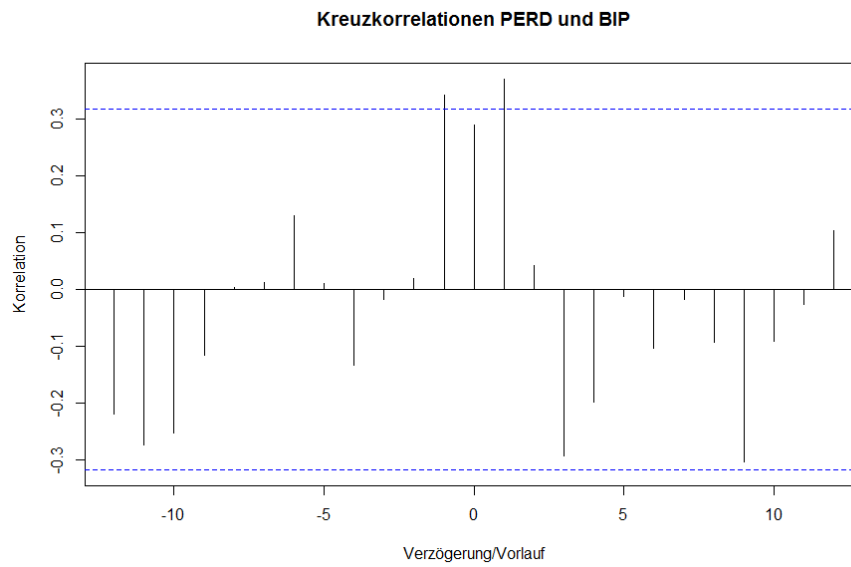


Abbildung 5-4: Koeffizient der Forschungsinvestitionen in der Wirtschaft (BERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines wachsenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)

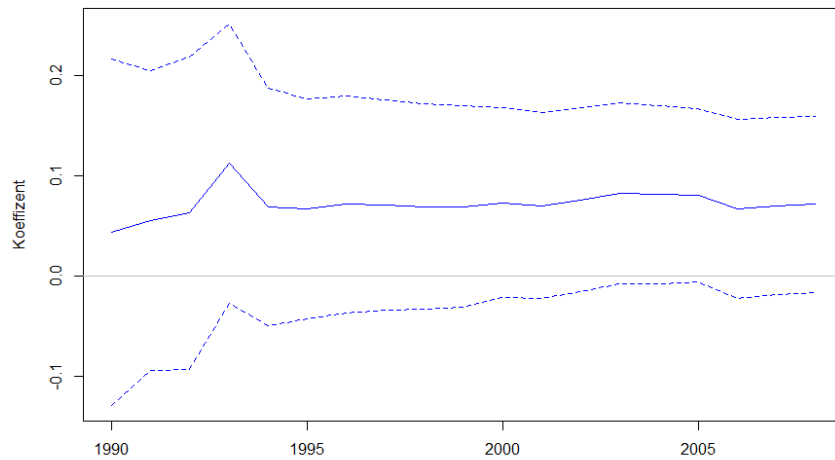


Abbildung 5-5: Koeffizient der Forschungsinvestitionen in der Wirtschaft (BERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines rollierenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)



Abbildung 5-6: Koeffizient der Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich (PERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines wachsenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)

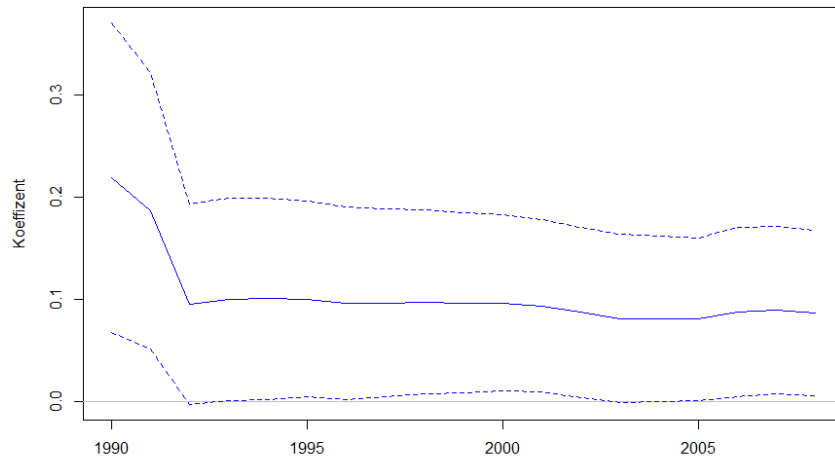


Abbildung 5-7: Koeffizient der Forschungsinvestitionen im öffentlichen Bereich (PERD) aus der Schätzung der Produktionsfunktion auf der Grundlage eines rollierenden Fensters (90%-Konfidenzintervalle als gestrichelte Linien)



Abbildung 5-8: Identifikation à la Blanchard und Perotti (1999) – GERD

Impuls-Antwort des realen BIP in Levels (kumulierte Wachstumsraten) auf einen Impuls in den gesamten Forschungsausgaben (GERD) in Höhe von einer Standardabweichung. 68 % Konfidenzintervalle basierend auf 1000 Bootstrap-Iterationen.

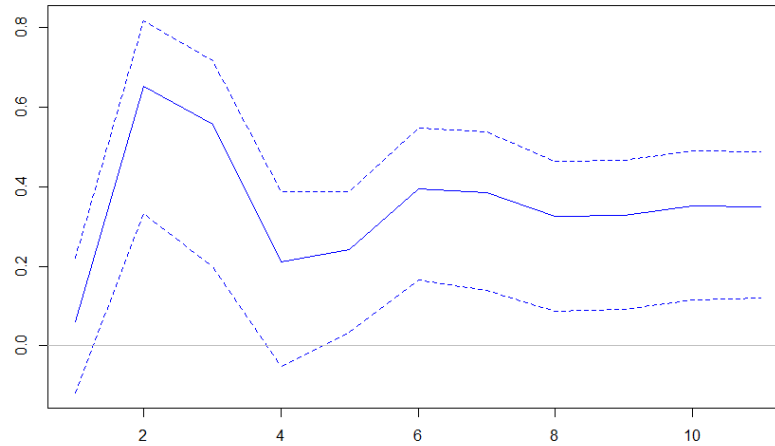


Abbildung 5-9: Identifikation à la Blanchard und Perotti (1999) – BERD

Impuls-Antwort des realen BIP in Levels (kumulierte Wachstumsraten) auf einen Impuls in den Forschungsausgaben in der Wirtschaft (BERD) in Höhe von einer Standardabweichung. 68 % Konfidenzintervalle basierend auf 1000 Bootstrap-Iterationen.

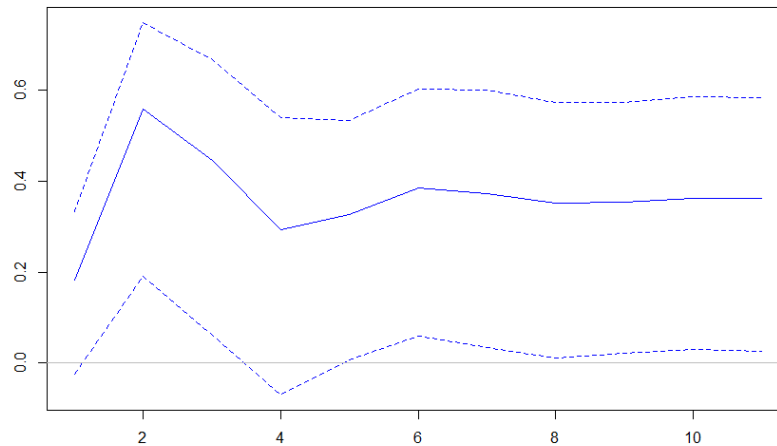


Abbildung 5-10: Identifikation à la Blanchard und Quah (1988) – BERD

Impuls-Antwort des realen BIP in Levels (kumulierte Wachstumsraten) auf einen Impuls in den Forschungsausgaben in der Wirtschaft (BERD) in Höhe von einer Standardabweichung. 68 % Konfidenzintervalle basierend auf 1000 Bootstrap-Iterationen.

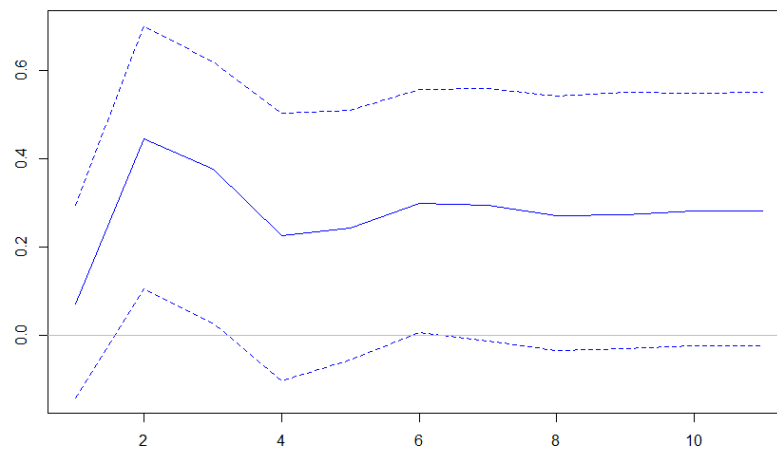


Abbildung 5-11: Identifikation à la Blanchard und Perotti (1999) – PERD

Impuls-Antwort des realen BIP in Levels (kumulierte Wachstumsraten) auf einen Impuls in den Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich (PERD) in Höhe von einer Standardabweichung. 68 % Konfidenzintervalle basierend auf 1000 Bootstrap-Iterationen.

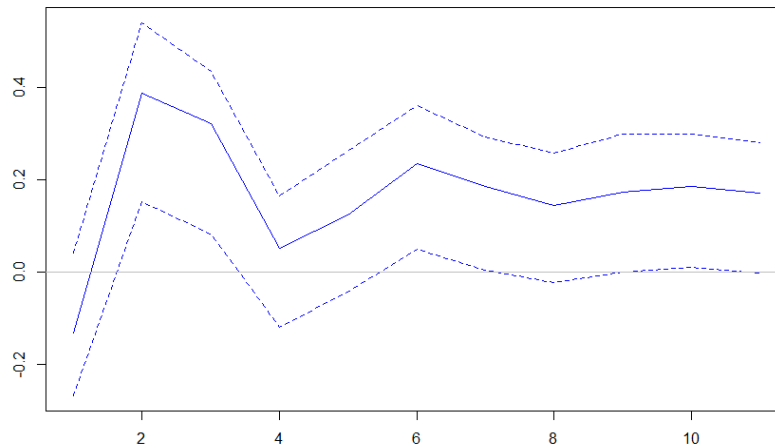
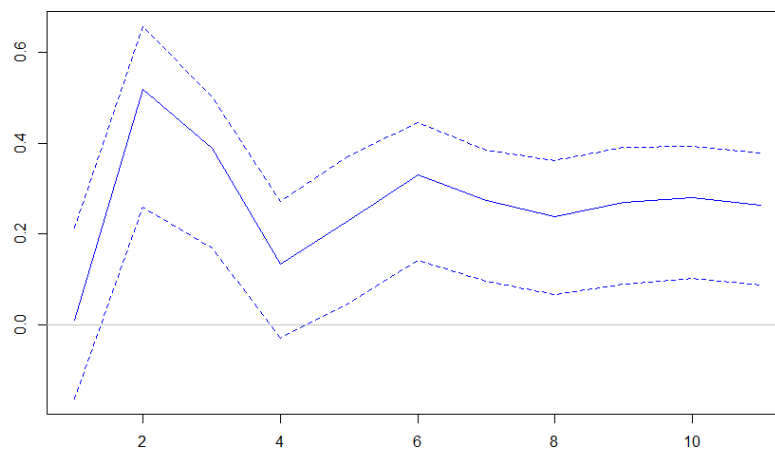


Abbildung 5-12: Identifikation à la Blanchard und Quah (1988) – PERD

Impuls-Antwort des realen BIP in Levels (kumulierte Wachstumsraten) auf einen Impuls in den Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich (PERD) in Höhe von einer Standardabweichung. 68 % Konfidenzintervalle basierend auf 1000 Bootstrap-Iterationen.



5.3 Tabellen

Tabelle 5-1: OLS-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δl	0.665*** (0.0624)	0.662*** (0.0631)	0.289*** (0.0945)	0.289*** (0.0946)	0.595*** (0.0691)	0.591*** (0.0688)	0.299*** (0.0916)	0.302*** (0.0907)	0.725*** (0.0635)	0.732*** (0.0644)	0.398*** (0.105)	0.403*** (0.106)	0.695*** (0.0697)	0.695*** (0.0698)	0.460*** (0.103)	0.461*** (0.102)
Δc	0.260*** (0.0510)	0.263*** (0.0522)	0.357*** (0.0538)	0.357*** (0.0545)	0.268*** (0.0480)	0.274*** (0.0490)	0.347*** (0.0483)	0.350*** (0.0489)	0.175*** (0.0651)	0.165** (0.0661)	0.255*** (0.0670)	0.245*** (0.0679)	0.146** (0.0626)	0.148** (0.0630)	0.207*** (0.0649)	0.207*** (0.0651)
Δh		-0.0229 (0.0351)		-0.00625 (0.0340)			-0.0808** (0.0354)			0.0627 (0.0416)		0.0699* (0.0406)		-0.0330 (0.0408)		-0.0217 (0.0399)
Δu			-0.686*** (0.117)	-0.685*** (0.117)			-0.580*** (0.112)	-0.566*** (0.113)			-0.558*** (0.126)	-0.563*** (0.126)			-0.417*** (0.116)	-0.414*** (0.116)
Δr_{all}	0.0803*** (0.0174)	0.0797*** (0.0175)	0.0718*** (0.0175)	0.0716*** (0.0176)	0.0766*** (0.0158)	0.0753*** (0.0156)	0.0698*** (0.0159)	0.0689*** (0.0157)	0.0748*** (0.0173)	0.0761*** (0.0173)	0.0695*** (0.0174)	0.0709*** (0.0174)	0.0641*** (0.0164)	0.0636*** (0.0163)	0.0608*** (0.0164)	0.0606*** (0.0164)
Jahres- dummies	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länder- dummies	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Kon- stante	0.00910*** (0.00140)	0.00944*** (0.00151)	0.00931*** (0.00134)	0.00940*** (0.00143)	7.29e-05 (0.00477)	0.00109 (0.00493)	0.00456 (0.00437)	0.00527 (0.00448)	0.00771*** (0.00268)	0.00707*** (0.00268)	0.00715*** (0.00263)	0.00643** (0.00265)	0.00184 (0.00497)	0.00211 (0.00499)	0.00406 (0.00482)	0.00422 (0.00483)
N	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471	471
ID	0.526	0.527	0.568	0.568	0.645	0.649	0.671	0.673	0.605	0.606	0.628	0.630	0.730	0.730	0.742	0.742

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-2: OLS-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δl	0.683*** (0.0645)	0.679*** (0.0649)	0.304*** (0.0971)	0.305*** (0.0970)	0.612*** (0.0712)	0.608*** (0.0707)	0.317*** (0.0939)	0.323*** (0.0928)	0.743*** (0.0658)	0.748*** (0.0665)	0.416*** (0.108)	0.419*** (0.108)	0.713*** (0.0725)	0.712*** (0.0725)	0.483*** (0.106)	0.485*** (0.106)
Δc	0.226*** (0.0611)	0.228*** (0.0614)	0.334*** (0.0647)	0.334*** (0.0648)	0.241*** (0.0566)	0.241*** (0.0566)	0.330*** (0.0578)	0.327*** (0.0577)	0.136* (0.0726)	0.132* (0.0732)	0.223*** (0.0752)	0.219*** (0.0756)	0.116* (0.0693)	0.116* (0.0692)	0.180** (0.0723)	0.179** (0.0721)
Δh		-0.0391 (0.0357)		-0.0184 (0.0346)			-0.0952*** (0.0358)		-0.0756** (0.0350)		0.0495 (0.0417)		0.0591 (0.0407)		-0.0434 (0.0404)	
Δu			-0.683*** (0.118)	-0.680*** (0.118)			-0.573*** (0.115)	-0.554*** (0.115)			-0.554*** (0.127)	-0.559*** (0.127)			-0.406*** (0.119)	-0.401*** (0.119)
Δr_{privat}	0.0322** (0.0132)	0.0314** (0.0131)	0.0292** (0.0125)	0.0288** (0.0125)	0.0269** (0.0125)	0.0256** (0.0121)	0.0253** (0.0119)	0.0243** (0.0116)	0.0296*** (0.00983)	0.0306*** (0.00993)	0.0278*** (0.00976)	0.0288*** (0.00991)	0.0220** (0.00905)	0.0216** (0.00894)	0.0213** (0.00893)	0.0210** (0.00886)
Δr_{public}	0.0383*** (0.0117)	0.0384*** (0.0117)	0.0330*** (0.0113)	0.0330*** (0.0113)	0.0384*** (0.0101)	0.0387*** (0.00998)	0.0332*** (0.00983)	0.0335*** (0.00976)	0.0370*** (0.0111)	0.0368*** (0.0111)	0.0333*** (0.0109)	0.0331*** (0.0109)	0.0340*** (0.00941)	0.0341*** (0.00937)	0.0307*** (0.00940)	0.0309*** (0.00937)
Jahres- dummies	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länder- dummies	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Kon- stante	0.0105*** (0.00163)	0.0112*** (0.00178)	0.0104*** (0.00158)	0.0107*** (0.00170)	0.00162 (0.00484)	0.00302 (0.00502)	0.00575 (0.00445)	0.00672 (0.00459)	0.00887*** (0.00276)	0.00827*** (0.00279)	0.00815*** (0.00271)	0.00743*** (0.00274)	0.00299 (0.00504)	0.00341 (0.00506)	0.00508 (0.00490)	0.00535 (0.00491)
N	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467
ID	0.506	0.507	0.548	0.548	0.628	0.633	0.654	0.657	0.588	0.589	0.612	0.614	0.719	0.719	0.730	0.730

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-3: FE-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δl	0.707*** (0.0907)	0.710*** (0.0911)	0.349*** (0.105)	0.353*** (0.106)	0.660*** (0.0969)	0.652*** (0.0953)	0.394*** (0.115)	0.396*** (0.114)
Δc	0.207** (0.0913)	0.204** (0.0889)	0.304*** (0.0843)	0.297*** (0.0839)	0.197*** (0.0675)	0.210*** (0.0661)	0.270*** (0.0713)	0.271*** (0.0703)
Δh		0.0371 (0.0408)		0.0414 (0.0367)		-0.0491 (0.0479)		-0.0348 (0.0455)
Δu			-0.612*** (0.142)	-0.614*** (0.144)			-0.479*** (0.142)	-0.473*** (0.144)
Δr_{all}	0.0773*** (0.0132)	0.0783*** (0.0132)	0.0716*** (0.0143)	0.0725*** (0.0145)	0.0700*** (0.0131)	0.0704*** (0.0131)	0.0661*** (0.0112)	0.0657*** (0.0114)
Jahres- dummies	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länder- dummies	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Kon- stante	0.0113*** (0.00323)	0.0107*** (0.00330)	0.0110*** (0.00293)	0.0104*** (0.00307)	0.00458 (0.00538)	0.00461 (0.00524)	0.00743 (0.00515)	0.00784 (0.00505)
N	471	471	471	471	471	471	471	471
ID	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-4: FE-Schätzungen für Produktionsfunktionen mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δl	0.725*** (0.0923)	0.726*** (0.0921)	0.368*** (0.109)	0.370*** (0.110)	0.680*** (0.0982)	0.671*** (0.0964)	0.415*** (0.118)	0.420*** (0.116)
Δc	0.170* (0.102)	0.171* (0.101)	0.274*** (0.0983)	0.271*** (0.0995)	0.165** (0.0762)	0.174** (0.0732)	0.246*** (0.0811)	0.243*** (0.0795)
Δh		0.0225 (0.0414)		0.0310 (0.0382)		-0.0598 (0.0496)		-0.0446 (0.0475)
Δu			-0.607*** (0.148)	-0.609*** (0.151)			-0.469*** (0.149)	-0.460*** (0.151)
Δr_{privat}	0.0308*** (0.0112)	0.0313*** (0.0115)	0.0288** (0.0116)	0.0294** (0.0119)	0.0242*** (0.00852)	0.0239*** (0.00847)	0.0235*** (0.00863)	0.0230*** (0.00850)
Δr_{public}	0.0378*** (0.00653)	0.0378*** (0.00658)	0.0336*** (0.00607)	0.0335*** (0.00618)	0.0361*** (0.00788)	0.0366*** (0.00813)	0.0324*** (0.00695)	0.0326*** (0.00722)
Jahres- dummies	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länder- dummies	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Kon- stante	0.0128*** (0.00350)	0.0123*** (0.00366)	0.0123*** (0.00328)	0.0118*** (0.00353)	0.00632 (0.00540)	0.00663 (0.00525)	0.00878* (0.00516)	0.00941* (0.00506)
N	467	467	467	467	467	467	467	467
ID	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-5: System GMM Schätzung für Produktionsfunktionen mit gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.237** (0.0994)	-0.237** (0.0979)	-0.227** (0.101)	-0.227** (0.0993)	-0.0667 (0.141)	-0.0760 (0.138)	-0.0568 (0.135)	-0.0658 (0.132)	-0.232** (0.0972)	-0.231** (0.0968)	-0.224** (0.0981)	-0.223** (0.0978)	-0.0762 (0.127)	-0.0781 (0.126)	-0.0750 (0.122)	-0.0769 (0.121)
Δl	0.975*** (0.0794)	0.970*** (0.0812)	0.698*** (0.0980)	0.691*** (0.0953)	0.827*** (0.110)	0.825*** (0.109)	0.600*** (0.0984)	0.605*** (0.0958)	0.938*** (0.0905)	0.941*** (0.0909)	0.632*** (0.114)	0.634*** (0.113)	0.849*** (0.123)	0.847*** (0.123)	0.641*** (0.119)	0.644*** (0.118)
Δc	0.233 (0.171)	0.234 (0.174)	0.202 (0.166)	0.202 (0.167)	0.124 (0.156)	0.131 (0.162)	0.128 (0.164)	0.132 (0.171)	0.466** (0.219)	0.465** (0.220)	0.462** (0.194)	0.460** (0.194)	0.288** (0.139)	0.292** (0.137)	0.290** (0.124)	0.291** (0.122)
Δh		-0.0363 (0.0427)		-0.0297 (0.0491)		-0.0860** (0.0382)		-0.0759* (0.0434)		0.0322 (0.0425)		0.0361 (0.0350)		-0.0529 (0.0358)		-0.0449 (0.0322)
Δu			-0.438*** (0.165)	-0.443*** (0.165)			-0.353** (0.142)	-0.345** (0.145)			-0.465*** (0.166)	-0.468*** (0.169)			-0.317** (0.151)	-0.311** (0.150)
Δr_{all}	0.0649*** (0.0160)	0.0641*** (0.0164)	0.0568*** (0.0157)	0.0559*** (0.0160)	0.0518*** (0.0162)	0.0508*** (0.0182)	0.0465*** (0.0164)	0.0454** (0.0179)	0.0764*** (0.0167)	0.0772*** (0.0160)	0.0712*** (0.0154)	0.0721*** (0.0152)	0.0525*** (0.0184)	0.0520*** (0.0195)	0.0495*** (0.0157)	0.0488*** (0.0165)
Jahresd.	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länderd.	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Konstante	0.0150*** (0.00524)	0.0157*** (0.00529)	0.0182*** (0.00493)	0.0189*** (0.00517)	0.0167*** (0.00502)	0.0179*** (0.00511)	0.0189*** (0.00481)	0.0199*** (0.00500)	0.00256 (0.00511)	0.00210 (0.00502)	0.00439 (0.00449)	0.00388 (0.00443)	0.00910** (0.00426)	0.00948** (0.00416)	0.0105*** (0.00376)	0.0109*** (0.00370)
N	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-6: System GMM Schätzung für Produktionsfunktionen mit öffentlichen und privatwirtschaftlichen FuE-Ausgaben

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.225** (0.104)	-0.222** (0.103)	-0.217** (0.103)	-0.213** (0.102)	-0.0423 (0.144)	-0.0512 (0.141)	-0.0366 (0.136)	-0.0459 (0.133)	-0.216** (0.104)	-0.216** (0.104)	-0.212** (0.104)	-0.212** (0.104)	-0.0631 (0.132)	-0.0652 (0.131)	-0.0620 (0.127)	-0.0640 (0.126)
Δl	0.977*** (0.0885)	0.967*** (0.0903)	0.702*** (0.100)	0.698*** (0.0984)	0.813*** (0.122)	0.809*** (0.121)	0.588*** (0.105)	0.597*** (0.103)	0.940*** (0.102)	0.944*** (0.101)	0.635*** (0.111)	0.635*** (0.111)	0.850*** (0.131)	0.848*** (0.130)	0.641*** (0.119)	0.646*** (0.118)
Δc	0.237 (0.178)	0.238 (0.176)	0.221 (0.147)	0.222 (0.146)	0.177 (0.143)	0.172 (0.136)	0.170 (0.136)	0.165 (0.131)	0.430 (0.262)	0.432 (0.265)	0.439* (0.225)	0.442* (0.228)	0.295* (0.172)	0.297* (0.167)	0.284* (0.153)	0.283* (0.149)
Δh		-0.0509 (0.0383)		-0.0459 (0.0440)		-0.0986*** (0.0357)		-0.0885** (0.0401)		0.0309 (0.0473)		0.0334 (0.0403)		-0.0575 (0.0395)		-0.0487 (0.0348)
Δu			-0.434** (0.169)	-0.431** (0.172)			-0.360** (0.140)	-0.343** (0.145)			-0.469*** (0.171)	-0.474*** (0.174)			-0.316** (0.146)	-0.306** (0.145)
Δr_{privat}	0.0224* (0.0124)	0.0218* (0.0123)	0.0200* (0.0115)	0.0194* (0.0114)	0.0103 (0.00814)	0.00900 (0.00825)	0.00870 (0.00800)	0.00742 (0.00815)	0.0262** (0.0112)	0.0267** (0.0113)	0.0250** (0.0111)	0.0256** (0.0114)	0.0121 (0.00816)	0.0116 (0.00842)	0.0117 (0.00830)	0.0112 (0.00848)
Δr_{public}	0.0356*** (0.00754)	0.0358*** (0.00777)	0.0302*** (0.00798)	0.0304*** (0.00812)	0.0341*** (0.00874)	0.0344*** (0.00956)	0.0297*** (0.01000)	0.0301*** (0.0106)	0.0398*** (0.00895)	0.0398*** (0.00878)	0.0334*** (0.00892)	0.0334*** (0.00882)	0.0359*** (0.0104)	0.0362*** (0.0109)	0.0306*** (0.0110)	0.0308*** (0.0112)
Jahresd.	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länderd.	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Konstante	0.0149*** (0.00498)	0.0158*** (0.00509)	0.0176*** (0.00413)	0.0184*** (0.00437)	0.0161*** (0.00390)	0.0178*** (0.00370)	0.0186*** (0.00347)	0.0200*** (0.00339)	0.00346 (0.00608)	0.00294 (0.00625)	0.00506 (0.00510)	0.00450 (0.00527)	0.00939** (0.00417)	0.00989** (0.00411)	0.0112*** (0.00353)	0.0116*** (0.00349)
N	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429	429
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-7: Schätzung für Produktionsfunktionen mit Polynomen für gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben – Teil A

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.237** (0.0994)	-0.218** (0.0959)	-0.208** (0.100)	-0.230** (0.0976)	-0.210** (0.0918)	-0.202** (0.0954)	-0.227** (0.101)	-0.210** (0.0962)	-0.202** (0.102)	-0.215** (0.0980)	-0.191** (0.0903)	-0.190** (0.0958)	-0.0667 (0.141)	-0.0442 (0.131)	-0.00377 (0.127)	-0.0638 (0.137)	-0.0464 (0.127)	-0.00396 (0.126)
Δl	0.975*** (0.0794)	0.934*** (0.0759)	0.919*** (0.0826)	0.962*** (0.0805)	0.921*** (0.0758)	0.905*** (0.0835)	0.698*** (0.0980)	0.655*** (0.117)	0.645*** (0.122)	0.674*** (0.0954)	0.618*** (0.113)	0.615*** (0.120)	0.827*** (0.110)	0.790*** (0.101)	0.741*** (0.0989)	0.798*** (0.109)	0.778*** (0.101)	0.722*** (0.0986)
Δc	0.233 (0.171)	0.201 (0.178)	0.164 (0.157)	0.257 (0.178)	0.233 (0.180)	0.193 (0.163)	0.202 (0.166)	0.181 (0.175)	0.154 (0.174)	0.206 (0.165)	0.187 (0.172)	0.164 (0.171)	0.124 (0.156)	0.109 (0.155)	0.0752 (0.147)	0.190 (0.157)	0.177 (0.154)	0.144 (0.149)
Δh				-0.0427 (0.0590)	-0.0350 (0.0578)	-0.0288 (0.0577)												
Δu																		
							-0.438*** (0.165)	-0.450** (0.182)	-0.455** (0.181)	-0.448*** (0.167)	-0.473*** (0.183)	-0.469** (0.183)						
Δr_{all}	0.0649*** (0.0160)	0.127*** (0.0272)	0.118*** (0.0281)	0.0629*** (0.0159)	0.124*** (0.0268)	0.116*** (0.0282)	0.0568*** (0.0157)	0.115*** (0.0243)	0.109*** (0.0257)	0.0558*** (0.0156)	0.116*** (0.0256)	0.109*** (0.0264)	0.0518*** (0.0162)	0.0963*** (0.0328)	0.0964** (0.0374)	0.0596*** (0.0172)	0.0924*** (0.0331)	0.0941** (0.0383)
Δr_{all}^2		-0.493*** (0.129)	-0.175 (0.319)		-0.483*** (0.121)	-0.170 (0.309)		-0.473*** (0.117)	-0.203 (0.291)		-0.474*** (0.115)	-0.215 (0.272)		-0.308** (0.154)	-0.375 (0.384)		-0.259* (0.151)	-0.321 (0.400)
Δr_{all}^3			-1.362 (1.230)			-1.308 (1.175)			-1.239 (1.154)			-1.143 (1.084)			0.310 (1.305)			0.236 (1.324)
Jahres dummy	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Länder dummy	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Konstante	0.0150*** (0.00524)	0.0152*** (0.00490)	0.0159*** (0.00411)	0.0150*** (0.00484)	0.0148*** (0.00466)	0.0155*** (0.00418)	0.0182*** (0.00493)	0.0182*** (0.00472)	0.0187*** (0.00435)	0.0187*** (0.00451)	0.0183*** (0.00438)	0.0186*** (0.00413)	0.0167*** (0.00502)	0.0162*** (0.00498)	0.0169*** (0.00462)	0.0160*** (0.00485)	0.0155*** (0.00477)	0.0159*** (0.00457)
N	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5–7: Schätzung für Produktionsfunktionen mit Polynomen für gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben – Teil B

	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.0568 (0.135)	-0.0340 (0.127)	0.00562 (0.126)	-0.0524 (0.130)	-0.0324 (0.123)	0.0125 (0.125)	-0.232** (0.0972)	-0.208** (0.0939)	-0.193* (0.100)	-0.225** (0.0979)	-0.196** (0.0947)	-0.188* (0.101)	-0.224** (0.0981)	-0.198** (0.0962)	-0.176* (0.0979)	-0.208** (0.0984)	-0.176* (0.0982)	-0.168* (0.0982)
Δl	0.600*** (0.0984)	0.540*** (0.104)	0.494*** (0.113)	0.559*** (0.0928)	0.523*** (0.0997)	0.467*** (0.112)	0.938*** (0.0905)	0.881*** (0.0828)	0.868*** (0.0885)	0.935*** (0.0936)	0.873*** (0.0861)	0.865*** (0.0916)	0.632*** (0.114)	0.572*** (0.110)	0.544*** (0.111)	0.618*** (0.113)	0.550*** (0.110)	0.533*** (0.109)
Δc	0.128 (0.164)	0.125 (0.169)	0.0821 (0.166)	0.201 (0.157)	0.164 (0.166)	0.134 (0.166)	0.466** (0.219)	0.402* (0.209)	0.331 (0.208)	0.462* (0.236)	0.390* (0.217)	0.335 (0.219)	0.462** (0.194)	0.410** (0.191)	0.347* (0.186)	0.421** (0.203)	0.353* (0.193)	0.330* (0.181)
Δh				-0.0729 (0.0516)	-0.0617 (0.0579)	-0.0469 (0.0513)				0.0173 (0.0602)	0.00703 (0.0565)	0.0290 (0.0541)				0.0161 (0.0461)	0.0177 (0.0459)	0.0314 (0.0438)
Δu	-0.353** (0.142)	-0.399*** (0.152)	-0.408*** (0.153)	-0.387*** (0.140)	-0.407*** (0.148)	-0.414*** (0.147)							-0.465*** (0.166)	-0.478*** (0.165)	-0.495*** (0.158)	-0.476*** (0.169)	-0.493*** (0.164)	-0.506*** (0.159)
Δr_{all}	0.0465*** (0.0164)	0.0849*** (0.0326)	0.0852** (0.0357)	0.0528*** (0.0161)	0.0842** (0.0340)	0.0870** (0.0379)	0.0764*** (0.0167)	0.166*** (0.0219)	0.154*** (0.0273)	0.0750*** (0.0159)	0.150*** (0.0242)	0.139*** (0.0282)	0.0712*** (0.0154)	0.159*** (0.0190)	0.149*** (0.0259)	0.0696*** (0.0151)	0.146*** (0.0215)	0.137*** (0.0254)
Δr_{all}^2		-0.283* (0.146)	-0.389 (0.370)		-0.258* (0.147)	-0.351 (0.373)		-0.762*** (0.161)	-0.455 (0.482)		-0.619*** (0.124)	-0.164 (0.459)		-0.756*** (0.105)	-0.622 (0.426)		-0.641*** (0.0944)	-0.369 (0.416)
Δr_{all}^3			0.437 (1.296)			0.351 (1.300)			-1.152 (1.919)			-1.905 (1.784)			-0.177 (1.570)			-0.953 (1.484)
Jahres dummy	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Länder dummy	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Konstante	0.0189*** (0.00481)	0.0184*** (0.00499)	0.0195*** (0.00458)	0.0178*** (0.00452)	0.0182*** (0.00496)	0.0186*** (0.00476)	0.00256 (0.00511)	0.00295 (0.00459)	0.00465 (0.00449)	0.00235 (0.00515)	0.00323 (0.00471)	0.00406 (0.00445)	0.00439 (0.00449)	0.00440 (0.00401)	0.00604 (0.00396)	0.00514 (0.00439)	0.00570 (0.00399)	0.00595 (0.00364)
N	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5–7: Schätzung für Produktionsfunktionen mit Polynomen für gesamtwirtschaftlichen FuE-Ausgaben – Teil C

	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.0762 (0.127)	-0.0455 (0.118)	-0.0101 (0.114)	-0.0851 (0.123)	-0.0488 (0.116)	-0.0239 (0.109)	-0.0750 (0.122)	-0.0447 (0.114)	-0.00285 (0.110)	-0.0708 (0.120)	-0.0382 (0.115)	-0.00253 (0.108)
Δl	0.849*** (0.123)	0.791*** (0.104)	0.752*** (0.0944)	0.846*** (0.121)	0.783*** (0.105)	0.747*** (0.0937)	0.641*** (0.119)	0.577*** (0.111)	0.525*** (0.104)	0.637*** (0.118)	0.567*** (0.109)	0.520*** (0.104)
Δc	0.288** (0.139)	0.251* (0.129)	0.169 (0.127)	0.307** (0.149)	0.269** (0.132)	0.207 (0.128)	0.290** (0.124)	0.267** (0.119)	0.195 (0.120)	0.276** (0.123)	0.243** (0.120)	0.208* (0.116)
Δh				-0.0754 (0.0569)	-0.0793 (0.0545)	-0.0884* (0.0489)				-0.0680 (0.0500)	-0.0649 (0.0492)	-0.0759* (0.0449)
Δu							-0.317** (0.151)	-0.340** (0.147)	-0.355** (0.143)	-0.308** (0.147)	-0.333** (0.142)	-0.343** (0.138)
Δr_{all}	0.0525*** (0.0184)	0.118*** (0.0220)	0.131*** (0.0241)	0.0537*** (0.0189)	0.103*** (0.0232)	0.121*** (0.0247)	0.0495*** (0.0157)	0.111*** (0.0217)	0.124*** (0.0235)	0.0481*** (0.0168)	0.0988*** (0.0242)	0.119*** (0.0223)
Δr_{all}^2		-0.526** (0.261)	-1.186*** (0.434)		-0.373* (0.193)	-1.022*** (0.370)		-0.498** (0.210)	-1.157*** (0.417)		-0.390** (0.181)	-1.102*** (0.362)
Δr_{all}^3			2.920* (1.524)			2.648** (1.262)			3.007** (1.486)			3.019** (1.318)
Jahres dummy	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Länder dummy	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Konstante	0.00910** (0.00426)	0.00883** (0.00375)	0.0115*** (0.00359)	0.00927** (0.00430)	0.00928** (0.00379)	0.0113*** (0.00349)	0.0105*** (0.00376)	0.0101*** (0.00338)	0.0125*** (0.00330)	0.0115*** (0.00352)	0.0114*** (0.00329)	0.0128*** (0.00317)
N	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-8: Schätzung für Produktionsfunktionen mit länderspezifischen Variablen für die gesamtwirtschaftliche FuE-Ausgaben und vier Regionen

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	
Δy_{t-1}	-0.214*** (0.0683)	-0.206*** (0.0695)	-0.211*** (0.0757)	-0.211*** (0.0746)	-0.116 (0.0862)	-0.109 (0.0839)	-0.0984 (0.0901)	-0.108 (0.0882)	-0.166* (0.0860)	-0.160* (0.0874)	-0.164* (0.0884)	-0.175* (0.0909)	-0.0314 (0.119)	-0.0339 (0.116)	-0.0319 (0.115)	-0.0400 (0.119)	
Δl	0.892*** (0.0822)	0.885*** (0.0876)	0.593*** (0.116)	0.500*** (0.113)	0.816*** (0.0942)	0.806*** (0.0903)	0.618*** (0.101)	0.627*** (0.0992)	0.856*** (0.0969)	0.842*** (0.0993)	0.535*** (0.124)	0.379*** (0.113)	0.771*** (0.114)	0.763*** (0.112)	0.549*** (0.121)	0.488*** (0.110)	
Δc	0.169 (0.115)	0.174 (0.121)	0.197 (0.127)	0.286** (0.133)	0.0807 (0.0760)	0.0998 (0.0753)	0.121 (0.0790)	0.162* (0.0851)	0.330** (0.147)	0.340** (0.168)	0.354** (0.141)	0.452*** (0.165)	0.219** (0.0945)	0.221** (0.101)	0.242*** (0.0914)	0.294** (0.116)	
Δh		0.0389 (0.0621)		0.0497 (0.0535)		-0.0573 (0.0520)		-0.0476 (0.0493)		0.0449 (0.0582)		0.0567 (0.0476)		-0.0465 (0.0503)		-0.0309 (0.0464)	
Δu			-0.503*** (0.178)	-0.671*** (0.229)			-0.333** (0.149)	-0.317* (0.185)				-0.501*** (0.173)	-0.808*** (0.229)			-0.347** (0.144)	-0.482** (0.190)
$\Delta r^{NSW-EUR}_{all}$	0.0610*** (0.0163)	0.0605*** (0.0134)	0.0484*** (0.0173)	0.0532*** (0.0156)	0.0478** (0.0195)	0.0472** (0.0184)	0.0410** (0.0174)	0.0456*** (0.0163)	0.0670*** (0.0196)	0.0682*** (0.0156)	0.0588*** (0.0188)	0.0595*** (0.0163)	0.0530** (0.0267)	0.0511* (0.0263)	0.0510** (0.0226)	0.0481** (0.0229)	
Δr^{GER}_{all}	0.00959 (0.0222)	0.0448 (0.0589)	-0.0331 (0.0301)	-0.00118 (0.0603)	0.0257 (0.0383)	-0.0113 (0.0483)	-0.00261 (0.0358)	-0.0263 (0.0478)	-0.00461 (0.0174)	0.0305 (0.0466)	-0.0427 (0.0277)	-0.0244 (0.0510)	0.0143 (0.0398)	-0.0296 (0.0469)	-0.0133 (0.0379)	-0.0530 (0.0483)	
Δr^{OST}_{all}	0.0132 (0.0196)	0.0171 (0.0202)	0.000901 (0.0259)	-0.000483 (0.0228)	-0.0124 (0.0155)	-0.0111 (0.0157)	-0.0189 (0.0153)	-0.0189 (0.0173)	0.0257 (0.0221)	0.0263 (0.0224)	0.0163 (0.0216)	0.00497 (0.0265)	0.00217 (0.0124)	0.00450 (0.0137)	-0.00393 (0.0149)	-0.00609 (0.0172)	
$\Delta r^{NON-EUR}_{all}$	0.175*** (0.0422)	0.180*** (0.0392)	0.173*** (0.0418)	0.174*** (0.0346)	0.121** (0.0559)	0.128** (0.0526)	0.123** (0.0508)	0.126*** (0.0480)	0.200*** (0.0381)	0.205*** (0.0394)	0.206*** (0.0348)	0.198*** (0.0389)	0.153*** (0.0326)	0.156*** (0.0322)	0.155*** (0.0306)	0.153*** (0.0305)	
$D^{NSW-EUR}$	0.00698 (0.00539)	0.00978** (0.00459)	0.00747 (0.00551)	0.00850** (0.00411)	0.00608 (0.00405)	0.00184 (0.00475)	0.00548 (0.00386)	0.00129 (0.00437)	-0.00186 (0.00278)	0.000593 (0.00461)	-0.00224 (0.00281)	-0.00151 (0.00399)	-0.00250 (0.00246)	-0.00420 (0.00434)	-0.00221 (0.00242)	-0.00463 (0.00408)	
D^{OST}	0.0358 (0.0395)	0.0296** (0.0148)	0.0326 (0.0403)	0.0259* (0.0139)	0.0393*** (0.0100)	0.0334*** (0.00901)	0.0344*** (0.00841)	0.0320*** (0.00908)	0.0268*** (0.00277)	0.0293*** (0.00536)	0.0235*** (0.00278)	0.0239*** (0.00483)	0.0275*** (0.00329)	0.0248*** (0.00496)	0.0254*** (0.00287)	0.0221*** (0.00452)	
D^{NON-EU}	-0.0158 (0.0116)	-0.0141 (0.0118)	-0.0160 (0.0110)	-0.0136 (0.0105)	-0.0139 (0.0125)	-0.0162 (0.0112)	-0.0122 (0.0109)	-0.0158 (0.0106)	-0.00176 (0.00757)	-0.000709 (0.00952)	-0.00164 (0.00711)	-0.00293 (0.00874)	-0.000552 (0.00211)	-0.00324 (0.00431)	0.000576 (0.00213)	-0.00162 (0.00416)	
Jahres dummy	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	
Länder dummy	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Konstante	0.0124*** (0.00172)	0.00963** (0.00433)	0.0142*** (0.00196)	0.0104*** (0.00381)	-0.0104*** (0.00328)	-0.00663 (0.00505)	-0.00928*** (0.00323)	-0.00639 (0.00476)	0.00933*** (0.00214)	0.00579 (0.00495)	0.0112*** (0.00203)	0.00715* (0.00425)	-0.0133*** (0.00379)	-0.0105* (0.00536)	-0.0120*** (0.00360)	-0.00980** (0.00482)	
N	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-9: Schätzung für Produktionsfunktionen mit länderspezifischen Variablen für die gesamtwirtschaftliche FuE-Ausgaben und drei Regionen

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t	Δy_t
Δy_{t-1}	-0.228*** (0.0708)	-0.212*** (0.0733)	-0.216*** (0.0760)	-0.214*** (0.0776)	-0.125 (0.0886)	-0.118 (0.0864)	-0.102 (0.0903)	-0.114 (0.0912)	-0.182** (0.0842)	-0.170* (0.0886)	-0.175** (0.0855)	-0.178* (0.0920)	-0.0395 (0.119)	-0.0427 (0.118)	-0.0396 (0.114)	-0.0461 (0.121)
Δl	0.907*** (0.0786)	0.892*** (0.0879)	0.613*** (0.119)	0.480*** (0.123)	0.829*** (0.0976)	0.816*** (0.0928)	0.641*** (0.106)	0.617*** (0.105)	0.868*** (0.0952)	0.856*** (0.0976)	0.555*** (0.126)	0.373*** (0.122)	0.778*** (0.114)	0.772*** (0.112)	0.563*** (0.124)	0.469*** (0.110)
Δc	0.187* (0.109)	0.196* (0.117)	0.214* (0.120)	0.303** (0.130)	0.0964 (0.0732)	0.103 (0.0705)	0.146** (0.0617)	0.167** (0.0806)	0.367** (0.152)	0.347** (0.170)	0.385*** (0.139)	0.455*** (0.163)	0.239** (0.100)	0.230** (0.106)	0.266*** (0.0942)	0.306** (0.119)
Δh		0.0387 (0.0745)		0.0576 (0.0618)		-0.0620 (0.0575)		-0.0450 (0.0557)		0.0252 (0.0495)		0.0495 (0.0381)		-0.0691 (0.0520)		-0.0483 (0.0469)
Δu			-0.483*** (0.182)	-0.711*** (0.251)			-0.312** (0.150)	-0.346* (0.194)			-0.488*** (0.174)	-0.832*** (0.249)			-0.338** (0.146)	-0.525*** (0.201)
$\Delta r^{NSW-EUR}_{all}$	0.0580*** (0.0154)	0.0600*** (0.0137)	0.0452*** (0.0160)	0.0510*** (0.0156)	0.0467** (0.0202)	0.0454** (0.0193)	0.0409** (0.0187)	0.0436** (0.0171)	0.0664*** (0.0197)	0.0649*** (0.0151)	0.0569*** (0.0179)	0.0561*** (0.0157)	0.0534* (0.0277)	0.0493* (0.0280)	0.0508** (0.0234)	0.0458* (0.0245)
Δr^{OST}_{all}	0.0155 (0.0158)	0.0153 (0.0187)	0.00190 (0.0246)	-0.00247 (0.0206)	-0.0123 (0.0161)	-0.0100 (0.0150)	-0.0165 (0.0147)	-0.0184 (0.0161)	0.0271 (0.0222)	0.0284 (0.0233)	0.0186 (0.0216)	0.00635 (0.0273)	0.00341 (0.0111)	0.00673 (0.0122)	-0.000834 (0.0121)	-0.00487 (0.0166)
$\Delta r^{NON-EUR}_{all}$	0.169*** (0.0425)	0.175*** (0.0406)	0.169*** (0.0418)	0.169*** (0.0365)	0.116** (0.0585)	0.123** (0.0555)	0.120** (0.0508)	0.121** (0.0509)	0.197*** (0.0402)	0.201*** (0.0400)	0.203*** (0.0367)	0.195*** (0.0392)	0.151*** (0.0326)	0.154*** (0.0325)	0.154*** (0.0308)	0.152*** (0.0306)
$D^{NSW-EUR}$	0.0241* (0.0145)	0.0230 (0.0146)	0.0239* (0.0136)	0.0220* (0.0132)	0.0219 (0.0163)	0.0193 (0.0149)	0.0191 (0.0143)	0.0186 (0.0139)	-0.000431 (0.00675)	-0.000327 (0.00697)	-0.00112 (0.00611)	0.000287 (0.00675)	-0.000662 (0.00582)	-0.00766 (0.00550)	-0.00667 (0.00530)	-0.00657 (0.00576)
D^{OST}	0.0505 (0.0464)	0.0523*** (0.0191)	0.0533 (0.0477)	0.0471*** (0.0180)	0.0609*** (0.0160)	0.0531*** (0.0115)	0.0546*** (0.0135)	0.0514*** (0.0118)	0.0298*** (0.00618)	0.0296*** (0.00655)	0.0263*** (0.00559)	0.0264*** (0.00671)	0.0238*** (0.00436)	0.0225*** (0.00430)	0.0217*** (0.00385)	0.0208*** (0.00446)
Jahres dummy	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Länder dummy	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Konstante	-0.00476 (0.0118)	-0.00551 (0.0116)	-0.00336 (0.0114)	-0.00463 (0.0108)	-0.0273* (0.0163)	-0.0242* (0.0140)	-0.0249* (0.0145)	-0.0238* (0.0136)	0.00568 (0.00985)	0.00572 (0.0101)	0.00776 (0.00886)	0.00462 (0.00967)	-0.0100 (0.00836)	-0.00816 (0.00764)	-0.00892 (0.00744)	-0.00887 (0.00791)
N	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432
ID	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-10: Schätzungen der Produktionsfunktion mit verzögerten Produktionsfaktoren

	(1)	(2)	(3)
	ΔY_t	ΔY_t	ΔY_t
Konstante	0.588 (0.702)	0.559 (0.708)	1.197 (0.746)
$\Delta GERD_{t-1}$	0.237*** (0.080)		
$\Delta BERD_{t-1}$		0.125** (0.059)	
$\Delta PERD_{t-1}$		0.136** (0.063)	
ΔL_{t-1}	-0.137 (0.198)	-0.198 (0.213)	0.108 (0.200)
ΔK_{t-1}	0.265 (0.229)	0.282 (0.233)	0.255 (0.255)
Dummy (90/91)	3.294*** (1.019)	3.178*** (1.034)	3.203*** (1.133)
Sample	1972 2008	1972 2008	1972 2008
R ²	0.399	0.409	0.234
Adjusted R ²	0.324	0.313	0.164
Log likelihood	-62.148	-61.849	-66.652
F-statistic	5.315	4.287	3.353
Prob(F-statistic)	0.002	0.004	0.031

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabelle 5-11: Granger-Kausalitäts-Tests für die Forschungsausgaben in der Wirtschaft

Spezifikation	Exkludiert	Sample: 1965 2008		Sample: 1975 2008	
		χ^2	Prob.	χ^2	Prob.
Ohne	BERD	4.826	0.09	2.821	0.24
	Y	0.644	0.72	0.083	0.96
Dummy	BERD	7.057	0.03	6.327	0.04
	Y	0.533	0.77	0.059	0.97
Dummy, K und L	BERD	3.313	0.19	6.425	0.04
	Y	0.125	0.94	0.053	0.97

Tabelle 5-12: Granger-Kausalitäts-Tests für die Forschungsausgaben im öffentlichen Bereich

Spezifikation	Exkludiert	Sample: 1965 2008		Sample: 1975 2008	
		χ^2	Prob.	χ^2	Prob.
Ohne	PERD	3.252	0.2	4.554	0.10
	Y	9.848	0.01	3.988	0.14
Dummy	PERD	3.999	0.14	6.627	0.04
	Y	6.911	0.03	1.752	0.42
Dummy, K und L	PERD	6.778	0.03	5.805	0.05
	Y	8.995	0.01	13.814	0.00