

Deutscher Bundestag
Enquete-Kommission
Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität

Kommissionsmaterialie
M-17(26)14

12. Dezember 2011

Wachstum und Produktivität

Ein Gutachten im Auftrag der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“, Projektgruppe 1

München, November 2011

Prof. Dr. Tobias Kretschmer
Prof. Dr. Karen Pittel
Dr. Jutta Albrecht
Dr. Thomas Strobel
Christian Essling
Johannes Pfeiffer
Luise Röpke

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Produktion und Faktorverbrauch	3
2.1	Zusammenhang zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Faktorverbrauch	3
2.2	Triebkräfte von Struktur- und Technologieeffekten.....	4
3.	BIP-Wachstum und Produktivität	6
3.1	Zusammenhänge und Messkonzepte	6
3.1.1	<i>BIP-Wachstum und Produktivitätsmaße</i>	6
3.1.2	<i>Deutschlands Entwicklung im internationalen Vergleich</i>	7
3.2	Wichtige Determinanten des Produktivitätswachstums	9
3.2.1	<i>Steuern und Direktinvestitionen</i>	9
3.2.2	<i>Informations- und Kommunikationstechnologien</i>	10
3.2.3	<i>Innovationen</i>	11
3.2.4	<i>Humankapital</i>	12
3.2.5	<i>Internationaler Handel</i>	13
3.2.6	<i>Investitionsausgaben des Staates</i>	13
3.3	Arbeitsmarkt, BIP und Produktivität.....	14
4.	Ressourcenproduktivität und Wachstum	16
4.1	Ressourcenproduktivität	16
4.1.1	<i>Messkonzepte</i>	16
4.1.2	<i>Wichtige Determinanten der Ressourcenproduktivität</i>	18
4.1.3	<i>Entwicklung der Ressourcenproduktivität</i>	18
4.2	Recycling und Ressourcen	21
4.3	Wachstum und Ressourcenverbrauch	25
4.3.1	<i>Entwicklung von Wachstum und Ressourcenverbrauch</i>	25
4.3.2	<i>Triebkräfte der Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch</i>	29
5.	Umweltintensität und Wachstum	31
5.1	Umweltintensität	31
5.1.1	<i>Grundlegende Problematik</i>	31
5.1.2	<i>Entwicklung der CO₂-Intensität</i>	33
5.2	Recycling und Umwelt.....	34
5.3	Wachstum und Umweltverschmutzung.....	35
5.3.1	<i>Entwicklung von Wachstum und CO₂-Emissionen</i>	36
5.3.2	<i>Environmental Kuznets Curve (EKC)</i>	37
5.3.3	<i>Triebkräfte der Entkopplung von Wachstum und Umweltverschmutzung</i>	39
5.3.4	<i>Bedeutung von Marktpreisen, Regulierung und internationalen Märkten</i>	41
5.4	Grüne Investitionen	43
6.	Umwelt, Ressourcenproduktivität und internationale Wettbewerbsfähigkeit.....	47
6.1	Regulierung, Innovationen und Produktivität	47
6.1.1	<i>Die Porter-Hypothese</i>	47
6.1.2	<i>Empirische Evidenz</i>	47
6.2	Ressourcenproduktivität und Unternehmensrentabilität	48
6.2.1	<i>Wirkmechanismen</i>	48
6.2.2	<i>Empirische Evidenz</i>	49
7.	Zusammenfassung	50
8.	Literaturverzeichnis	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Wachstum von Bruttowertschöpfung (preisbereinigt, Kettenindex 2005=100), Arbeitsstunden und Arbeitsproduktivität in Deutschland, 1992–2010	7
Abbildung 3.2:	Arbeitsproduktivitätswachstum der EU-15, USA und Deutschland, 1980–2007	8
Abbildung 3.3:	Arbeitsproduktivitätswachstum der USA und Deutschland, 1991–2007	8
Abbildung 3.4:	IKT-Intensität der EU-15, USA und Deutschland, 1980–2007	10
Abbildung 3.5:	Anteil der Registrierten in tertiärer Bildung (ohne Forschungsqualifikation) an allen Bildungstufen, 1998–2009	13
Abbildung 4.1:	Entwicklung der Rohstoffproduktivität in Deutschland 1994 bis 2009	19
Abbildung 4.2:	Ressourcenproduktivität im internationalen Vergleich 1980 bis 2005. Inländischer Materialverbrauch pro Einheit BIP (in 2005-Werten, kaufkraftbereinigt), (a): geschätzte Werte	20
Abbildung 4.3:	Materialintensität nach Sektoren in Deutschland 2004. Kg Materialeinsatz (DMI) je 1000 EUR Bruttowertschöpfung (zu jeweiligen Preisen)	20
Abbildung 4.4:	Produktivität fossiler Energieträger im internationalen Vergleich 1980 bis 2009. Inländischer Verbrauch fossiler Rohstoffe pro BIP (in 2005-Werten, kaufkraftbereinigt), (a): geschätzte Werte	21
Abbildung 4.5:	Lebenszykluskette: Rohstoffgewinnung – Produktion – Verbrauch – Abfall – Recycling	21
Abbildung 4.6:	Abfallaufkommen in Deutschland, 2000–2008.	23
Abbildung 4.7:	Entsorgungspfade von Siedlungsabfall in einer Auswahl von EU-27-Ländern; Stand 2006	23
Abbildung 4.8:	Internationaler Vergleich von Recyclinganstrengungen am Beispiel von Glas und Altpapier	24
Abbildung 4.9:	Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch in Deutschland. BIP und unterschiedlicher Materialverbrauch	26
Abbildung 4.10:	Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch in der OECD. BIP und unterschiedlicher Materialverbrauch im OECD-Durchschnitt	26
Abbildung 4.11:	Nicht-energetischer Materialverbrauch versus BIP, OECD-Länder, 1990–2000. OECD-Durchschnitt ohne Luxemburg, Chile, Tschechien, Estland, Israel und Slowenien. Für Chile und Tschechien ist die erste Periode 1995 bis 2000, für Slowenien 1993 bis 2000	27
Abbildung 4.12:	Nicht-energetischer Materialverbrauch versus BIP, OECD-Länder, 2000–2008. OECD-Durchschnitt ohne Luxemburg	28
Abbildung 4.13:	Entwicklung des weltweiten Materialaufwands und des Bruttoweltprodukts, 1900–2009	28
Abbildung 5.1:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger weltweit und in einzelnen Weltregionen	32
Abbildung 5.2:	Entwicklung des GDP zwischen 1970 und 2009 (BRIC: Brasilien, Russland, Indien, China)	33
Abbildung 5.3:	Entwicklung der CO ₂ -Intensität global und im weltweiten Vergleich nach Regionen. Zugrunde liegen CO ₂ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger.	34

Abbildung 5.4:	Entwicklung der CO ₂ -Intensitäten im Vergleich ausgewählter Länder zwischen 1971 und 2009. Zugrunde liegen allein die CO ₂ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger.....	34
Abbildung 5.5:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger in Deutschland und im internationalen Vergleich	36
Abbildung 5.6:	Entwicklung des GDP zwischen 1970 und 2009 in Deutschland und im internationalen Vergleich	37
Abbildung 5.7:	Vergleich zwischen der Entwicklung des realen Bruttoinlandprodukts und den CO ₂ -Emissionen verschiedener Sektoren in Deutschland	37
Abbildung 5.8:	Veränderung der CO ₂ -Emissionen gemäß nachfragebasiertem Berechnungsansatz gegenüber der Veränderung des verfügbaren Netto-Einkommens zwischen 2000 und 2005.....	43
Abbildung 5.9:	Veränderung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen gemäß produktionsbasiertem Berechnungsansatz vs. Veränderung des GDP zwischen 2000 und 2008. Quelle: OECD (2011a).	43
Abbildung 5.10:	Umweltschutzausgaben des öffentliche Sektors und der Industrie in den EU-27-Ländern (in Mrd. €)	44
Abbildung 5.11:	Entwicklung der Umweltschutzausgaben in Deutschland, 1996–2007 (Mrd. €).....	45
Abbildung 5.12:	Umweltschutzinvestitionen für den Klimaschutz im Produzierenden Gewerbe (verschiedene Maßnahmen in % der Investitionsausgaben).....	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Verschiedene Messkonzepte des Ressourceneinsatzes im Vergleich. Quelle: Umweltbundesamt (2008), Box 1.	17
Tabelle 4.2:	Wiederverwertung von Bau- und Abbruchabfällen im europäischen Vergleich. Quelle: European Commission (DG ENV) (2011).	24
Tabelle 5.1:	Umweltschutzinvestitionen des Produzierenden Gewerbes in Deutschland nach Umweltbereichen (2009, in Mill. EUR, Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe). Quelle: Statistisches Bundesamt (2011e).	45

1. Einleitung

Die Frage, ob Wachstum langfristig aufrechterhalten werden kann, hat Wirtschaftsforscher und Politiker bereits seit Malthus' Bevölkerungstheorie im 18. Jahrhundert beschäftigt. In das Bewusstsein einer breiten Öffentlichkeit gelangt ist die Frage spätestens mit dem Erscheinen des Buches *Limits to Growth* (Meadows et al. 1972). Der Club of Rome prognostizierte damals angesichts steigender Umweltverschmutzung und Ressourcennutzung, dass nicht nur das Wirtschaftswachstum mittelfristig zum Stillstand kommen, sondern auch das Niveau wirtschaftlicher Aktivität aufgrund der Übernutzung von natürlichen Ressourcen einbrechen würde. Vierzig Jahre später ist dieses Szenario zwar noch nicht eingetreten, aber die Frage, ob Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch auf lange Sicht entkoppelt werden können, steht nach wie vor im Raum. Ob und inwieweit eine Entkopplung gelingen wird, hängt in hohem Maße von der Geschwindigkeit und der Richtung technologischer Entwicklung ab. Nur wenn technischer Fortschritt eine ausreichende Erhöhung der Ressourcenproduktivität bewirkt und eine Substitution knapper Faktoren ermöglicht, wird langfristiges Wachstum möglich sein.

Inwieweit konventionelle Wachstumsmaße geeignet sind, die langfristige Wohlfahrtsperspektive von Volkswirtschaften widerzuspiegeln, muss allerdings kritisch diskutiert werden. Die in den letzten Jahrhunderten vorangeschrittene Industrialisierung hat in einem nicht unerheblichen Maß zu einer exzessiven Ausbeute natürlicher Ressourcen sowie steigender Umweltbelastung geführt, die sich unter anderem in Form des Klimawandels bemerkbar macht. Herkömmliche Maße des Wachstums erfassen diese negativen Rückwirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten nur unvollständig und sind daher nur beschränkt geeignet, die Nachhaltigkeit wirtschaftlicher Entwicklung zu reflektieren.

Nachhaltige Entwicklung, im Sinne der Definition der Brundtland-Kommission 1982, setzt voraus, dass heutige wirtschaftliche Aktivitäten zukünftige Generationen nicht der Grundlage berauben, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen (WCED 1982). Was im Speziellen für die Befriedigung zukünftiger Bedürfnisse notwendig sein wird, ist aus heutiger Perspektive nicht mit Sicherheit zu sagen. Essentiell ist daher die Erhaltung der Produktionskapazität, für die Umwelt- und Ressourcenproduktivität ebenso wie die Produktivität von Arbeit und Kapital eine wichtige Rolle spielen.

Vor 50 Jahren, nach Ende des zweiten Weltkriegs, übertraf das Wachstum der Arbeitsproduktivität in Europa das der Vereinigten Staaten jährlich um etwa einen Prozentpunkt. Viele Kommentatoren dachten damals, dass dieser Prozess andauern würde, bis sich schließlich das europäische Niveau der Arbeitsproduktivität an das der Vereinigten Staaten angleicht. Dies war jedoch nicht der Fall. Seit Mitte der 1990er Jahre beschleunigte sich stattdessen das Wachstum der Arbeitsproduktivität der Vereinigten Staaten und erfuhr darüber hinaus eine zweite Beschleunigung in der Zeit nach 2000. Europa, und speziell auch Deutschland, ließen eine derartige Entwicklung nicht erkennen. Im Gegenteil, Deutschland erlebte in den Jahren nach 1991 einen stetigen Rückgang in den Wachstumsraten der Arbeitsproduktivität.

Hinsichtlich der Entwicklung der Ressourcen- und Umweltintensität ist das Bild im internationalen Vergleich ähnlich heterogen. Während die deutsche Produktion von Gütern und Dienstleistungen eine absolute Entkopplung von Ressourcenverbrauch und verschiedenen Indikatoren für Umweltverschmutzung (so z.B. CO₂-Emissionen) aufzuweisen scheint, ist Wachstum in vielen anderen Ländern weiterhin durch eine Steigerung von Emissionen und Ressourcennutzung gekennzeichnet. Da die Knappheit natürlicher Ressourcen ebenso wie der Klimawandel globale Phänomene sind, muss hier insbesondere die weltweite Entwicklung berücksichtigt werden. Nicht zu vernachlässigen ist überdies, dass Reduktionen von Umweltverschmutzung und Ressourcenverbrauch in der Produktion zumindest teilweise durch Auslagerungen ins Ausland möglich werden, die in den amtlichen Statistiken nur unvollkommen erfasst werden.

Dieses Gutachten soll zur Beantwortung der Frage nach der Nachhaltigkeit der Entwicklung insbesondere Deutschlands aber auch international beitragen, indem es Produktivitätssteigerungen bei den verschiedenen essentiellen Inputfaktoren sowie deren Treiber in den Mittelpunkt stellt. Die Aufarbeitung dieser Fragestellung setzt voraus, dass zunächst die Faktoren, die die Ressourcenproduktivität und deren Entwicklung über die Zeit

bestimmen, systematisch identifiziert werden. Da diese Einflussfaktoren grundsätzlicher Natur sind und für verschiedene Produktionsfaktoren Gültigkeit besitzen, werden sie zunächst kurz in Kapitel 2 des Gutachtens vorgestellt.

Aufbauend auf dieser Darstellung beschäftigen sich die nachfolgenden Kapitel speziell mit der Produktivitätsentwicklung der primären Produktionsfaktoren Arbeit (Kapitel 3) und natürliche Ressourcen (Kapitel 4) sowie der Intensität der Umweltnutzung (Kapitel 5). Der Schwerpunkt von Kapitel 3 liegt dabei insbesondere auf der Arbeitsproduktivitätsentwicklung und der Analyse der Kanäle, welche die Arbeitsproduktivität beeinflussen. Kapitel 4 und 5 beschäftigen sich ebenfalls mit der Entwicklung von Ressourcen- und Umweltintensitäten und widmen sich darüber hinaus der Frage, inwieweit bereits eine Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch bzw. Umweltverschmutzung erreicht wurde. In allen Kapiteln wird die deutsche Entwicklung im internationalen Vergleich betrachtet. Aufgrund der starken Verflechtung der deutschen Volkswirtschaft mit den globalen Märkten widmet sich Kapitel 6 noch einmal gesondert der Interaktion von Umweltintensität, Ressourcenproduktivität und internationaler Wettbewerbsfähigkeit. Kapitel 7 fasst die wichtigsten Erkenntnisse zusammen.

2. Produktion und Faktorverbrauch

Für eine systematische Betrachtung der Zusammenhänge von Wachstum, Produktivität und Ressourcenbedarf es einer konzeptionellen Darstellung, wie Ressourcen im Allgemeinen und bestimmte Inputfaktoren im Speziellen zur Herstellung wirtschaftlicher Outputgrößen verwendet werden. Eine derartige Darstellung liefert die Produktionsfunktion. Die Transformation von Inputfaktoren in Output lässt sich daher wie folgt darstellen:

$$Y = F(K, L, R, P, A)$$

Gleichung 1: Produktionsfunktion

Dabei wird unterstellt, dass der produzierte Output Y durch den Einsatz von fünf Inputfaktoren generiert wird. Diese umfassen die im Produktionsprozess eingesetzten klassischen Inputfaktoren von Kapital, K , und Arbeit, L , die beide in qualitätsadjustierten Größen gemessen werden. Zudem werden die beiden Faktoren natürliche Ressourcen, R , und Verschmutzung (*pollution*), P , berücksichtigt, welche in Effizienzeinheiten dargestellt werden. Die Größe A misst die totale Faktorproduktivität (TFP), die den residualen Beitrag zum Output nach Berücksichtigung der vier Inputfaktoren widerspiegelt. Oft wird sie als ein Maß für den technologischen Fortschritt betrachtet, sie beinhaltet darüber hinaus aber auch andere, in den Inputfaktoren nicht explizit berücksichtigte Einflüsse. So haben beispielsweise Ausgaben für Forschung und Entwicklung oder Innovationen (gemessen über Patentstatistiken) einen positiven Einfluss auf das TFP-Residuum.

Eine Darstellung mittels Produktionsfunktion hat den Vorteil, dass alle zur Bestimmung des Outputs und der Produktivität relevanten Kanäle in einem ökonomisch konsistenten Konzept berücksichtigt werden können. Die relevanten Kanäle umfassen dabei Skaleneffekte, strukturelle Anpassungen in der Intensität der Inputfaktoren sowie Technologieeffekte. Im Folgenden wird zu den einzelnen Kanälen genauer Stellung genommen.

2.1 Zusammenhang zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Faktorverbrauch

Es sollen zunächst auf theoretischer Ebene drei Effekte unterschieden werden, aus denen sich der Zusammenhang zwischen der wirtschaftlichen Entwicklung und dem Einsatz der im vorigen Abschnitt beschriebenen Produktionsfaktoren ergibt.¹ Die beschriebenen Effekte und ihre Implikationen für Faktorproduktivität und Faktorverbrauch werden im Anschluss in den folgenden Kapiteln konkret bzgl. des Einsatzes der verschiedenen, in Gleichung 1 beschriebenen, Inputs erläutert.

Grundsätzlich bewirkt eine Ausweitung der wirtschaftlichen Aktivitäten einen erhöhten Einsatz der Produktionsfaktoren. Dieser sogenannte *Skaleneffekt* geht von unveränderten Rahmenbedingungen aus und vernachlässigt dabei strukturelle und technologische Entwicklungen in einer Ökonomie.

Von diesem reinen Skaleneffekt wirtschaftlichen Wachstums auf den Faktorverbrauch ist zunächst der *Struktureffekt (composition effect)* zu unterscheiden. Der Struktureffekt umfasst zum einen den sogenannten intersektoralen Wandel, d.h. eine Verlagerung wirtschaftlicher Aktivitäten zwischen den Sektoren einer Volkswirtschaft. So ist empirisch beobachtbar, dass die wirtschaftliche Entwicklung von Volkswirtschaften durch eine kontinuierliche Verschiebung von agrarwirtschaftlichen zu industriell geprägten Sektoren und schlussendlich zu Dienstleistungssektoren geprägt ist.² Zum anderen umfasst der Struktureffekt den intrasektoralen Strukturwandel, das heißt Änderungen der Produktionsstrukturen innerhalb der einzelnen Wirtschaftssektoren. Für die Faktorproduktivität ist der Struktureffekt von Bedeutung, da sich die Intensität des Einsatzes der unterschiedlichen Faktoren in den jeweiligen Sektoren zum Teil erheblich unterscheiden kann. Entsprechend ist die Auswirkung des Struktureffektes auf den Faktorverbrauch nicht einheitlich und kann sich für die verschiedenen Faktoren unterscheiden. Ursächlich für Struktureffekte sind vor allem Änderungen der Präferenzen bei steigendem Einkommen, aber auch technologische Entwicklungen können eine Verschiebung der inter- und intrasektoralen

¹ Vgl. zu dieser grundsätzlichen analytischen Diskussion Copeland und Taylor (2004).

² Vgl. zur Bedeutung des Strukturwandels auch Grossmann und Krueger (1995).

Struktur bewirken. Entsprechend ergeben sich Struktureffekte zum Teil als Konsequenz der im Folgenden beschriebenen Technologieeffekte.

Die Wirkungsrichtung dieser *Technologieeffekte* auf den Faktorverbrauch ist dabei grundsätzlich ebenso offen wie bei dem zuvor beschriebenen Struktureffekt. Technischer Fortschritt kann sich in Prozess- oder Produktinnovationen widerspiegeln. Prozessinnovationen betreffen Änderungen in der Produktionstechnologie existierender Produkte. Sie können beispielsweise die Effizienz, mit der Faktoren in der Produktion eingesetzt werden, sowie Möglichkeiten zur Faktorsubstitution erhöhen. Die Erweiterung und Verbesserung von Substitutionsmöglichkeiten ist dabei besonders in Bezug auf knappe Faktoren von Bedeutung, die durch weniger knappe Faktoren ersetzt werden können. Allerdings verbessern technologisch bedingte Effizienzgewinne nicht nur die Faktorintensität, sondern unter Umständen auch die Wettbewerbsfähigkeit. Eine geringere Faktorintensität und die Substitution hin zu günstigeren Faktoren reduzieren die Produktionskosten und können damit Preissenkungen induzieren. Führen diese zu einem erhöhten Absatz, wird die ursprüngliche Reduktion des Faktoreinsatzes zumindest partiell kompensiert (*Rebound-Effekt*).³ Neben Prozessinnovationen umfasst technischer Fortschritt auch die Entwicklung neuer Produkte, also Produktinnovationen. Die Einführung dieser Produkte in den Markt kann sich erhöhend auf den Faktorverbrauch auswirken, wenn die neuen Produkte z.B. faktorintensiver sind oder sich die Einführung dieser Produkte positiv auf das Wachstum einer Volkswirtschaft auswirkt (Technologieeffekt induziert Skaleneffekt). Sind die neuen Produkte weniger faktorintensiv, so können Produktinnovationen allerdings auch zu einem Rückgang des Faktorverbrauchs führen. Abhängig von der Zusammensetzung der Produkte kann der Technologieeffekt sich damit unterschiedlich auf den Verbrauch der verschiedenen Inputfaktoren auswirken.

Während der Skaleneffekt lediglich die Auswirkung einer Erhöhung der wirtschaftlichen Aktivitäten bei gegebener Wirtschaftsstruktur und Technologie beschreibt, können Struktur- und Technologieeffekte als treibende endogene Faktoren für Wirtschaftswachstum angesehen werden. Auf die Kräfte, die diese dynamischen Effekte treiben, wird in allgemeiner Form im folgenden Abschnitt eingegangen. Insgesamt ergibt sich der Zusammenhang zwischen einer Ausweitung der wirtschaftlichen Aktivitäten einer Ökonomie und dem Faktorverbrauch jeweils erst aus dem Zusammenspiel der Skalen-, Struktur- und Technologieeffekte, die in unterschiedliche Richtungen weisen und sich gegenseitig überlagern können. Zu beachten ist, dass eine relative Entkopplung von Wachstum und Faktoreinsatz lediglich effizienzsteigernde Technologie- und/oder Struktureffekte voraussetzt, eine absolute Entkopplung dagegen Technologie- und/oder Struktureffekte, die den mit realem Wachstum einhergehenden Skaleneffekt überkompensieren.⁴ Von relativer Entkopplung wird dabei gesprochen, wenn der Ressourcenverbrauch weniger stark ansteigt als der produzierte Output. Bei einer absoluten Entkopplung hingegen sinkt der Ressourceneinsatz auch in einer wachsenden Wirtschaft.

2.2 Triebkräfte von Struktur- und Technologieeffekten

Besondere Bedeutung als Triebkräfte für Struktur- und Technologieeffekte kommt insbesondere Preisen, Regulierung und Handel zu.

Angebotsseitig induzierte *Preisänderungen*, wie sie insbesondere durch Knappheit bzw. Verfügbarkeit des jeweiligen Faktors am Markt ausgelöst werden, beeinflussen die Preisverhältnisse in einer Ökonomie und stoßen damit Anpassungsreaktionen der Marktteilnehmer an, die den Faktoreinsatz modifizieren. Die Anpassungen können zum einen durch die Verlagerung wirtschaftlicher Aktivitäten (Strukturwandel) oder zum anderen durch Veränderungen der Produktionsprozesse (technologischer Fortschritt) erfolgen.

Eine Änderung der Preisverhältnisse ergibt sich auch durch *Regulierung*. Anreizbasierte Regulierungsinstrumente wie Steuern, Subventionen oder Zertifikatesysteme können Preisänderungen herbeiführen und wirken dann über den gleichen Mechanismus wie angebotsseitig induzierte Preiseffekte. Neben diesen preisbasierten Instrumenten stehen dem Staat zusätzlich Command-and-Control-Instrumente zur Verfügung, die konkrete Vor-

³ Vgl. zu Rebound-Effekten etwa Hanley et al. (2009) oder Gonzáles (2010).

⁴ Vgl. etwa Brock und Taylor (2005).

schriften über den Einsatz der unterschiedlichen Faktoren darstellen können und ebenfalls indirekt auf die Preise wirken. Staatliche Regulierungsmaßnahmen spielen insbesondere bei der Korrektur verschiedener Arten von Marktversagen eine Rolle. Als Beispiel sei auf die Klimaproblematik (Kapitel 5) verwiesen.

Darüber hinaus kann auch *Handel* als Triebkraft von Struktur- und Technologieeffekten wirken. Die Vorteilhaftigkeit von Handel wird in der klassischen Außenhandelstheorie über die Ausnutzung komparativer Vorteile der jeweiligen Ökonomie begründet. Komparative Vorteile ergeben sich dabei etwa aus Unterschieden in der Faktorausstattung, aber auch aus günstigeren Produktionsbedingungen. Die Öffnung einer Ökonomie für den internationalen Handel führt zu einer Spezialisierung auf die im internationalen Vergleich besonders wettbewerbsfähigen Sektoren oder Produkte. Sie geht damit unmittelbar mit strukturellen Effekten einher. Darüber hinaus kann Handel den Zugang zu neuen Technologien erleichtern und über den gestiegenen Wettbewerbsdruck Investitionen in technologischen Fortschritt induzieren. Die strukturellen und technologischen Effekte von Handel tragen zu einer effizienteren Ausnutzung der wirtschaftlichen Potentiale einer Ökonomie bei und wirken so auf eine höhere Produktion hin. Die Einführung von Handel geht damit auch immer mit einem Skaleneffekt einher.

In den folgenden Kapiteln soll auf Grundlage der bisherigen Überlegungen die Bedeutung der einzelnen Produktionsfaktoren für langfristiges Wirtschaftswachstum dargelegt werden. Dabei werden die bislang allgemeinen theoretischen Überlegungen nicht nur hinsichtlich der Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital, Ressourcen und Umwelt konkretisiert, sondern auch um empirische Beobachtungen ergänzt.

3. BIP-Wachstum und Produktivität

3.1 Zusammenhänge und Messkonzepte

Die beiden Konzepte des Bruttoinlandsprodukts und der Produktivität sind eng miteinander verbunden, da sie sich über ihren definitorischen Zusammenhang gegenseitig beeinflussen. Dabei kommt der Produktivität eine besondere Rolle zu, die im Folgenden näher erläutert wird. Darüber hinaus stehen unterschiedliche Produktivitätsmaße zur Verfügung, die ihrerseits je nach Datenverfügbarkeit und Fragestellung unterschiedliche Informationen über den Zustand einer Wirtschaft bereitstellen. Gerade die Verfügbarkeit unterschiedlicher Maße bedarf einer besonderen Aufmerksamkeit, wenn internationale Vergleiche angestellt werden. Die Entwicklung des Wachstums der deutschen Produktivität seit der Wiedervereinigung wird dementsprechend im folgenden Abschnitt in einen internationalen Kontext gestellt.

3.1.1 BIP-Wachstum und Produktivitätsmaße

Produktivität ist ein wesentlicher Bestimmungsfaktor für den Wohlstand einer Gesellschaft. Dies gilt nicht zuletzt in Zeiten knapper werdender natürlicher Ressourcen und einer zunehmenden Alterung der Gesellschaft in den meisten westlichen Industrienationen, sondern auch deshalb, da nur eine steigende Produktivität langfristig eine Sicherung bzw. einen Anstieg des Einkommens gewährleisten kann. Dabei ist die Entwicklung von Produktivität und Bruttoinlandsprodukt (BIP) eng miteinander verknüpft. Unter ersterer versteht man generell das Verhältnis aus produzierter Output- zu eingesetzter Faktormenge. Im Falle der Outputmenge wird für gewöhnlich die Bruttowertschöpfung herangezogen, während die Produktionsfaktoren durch die beiden Faktoren Kapital und Arbeit dargestellt werden. Das BIP misst dabei den Wert aller im Inland hergestellten Waren und Dienstleistungen (Wertschöpfung) unter Ausschluss der im Produktionsprozess verwendeten Vorleistungen.

Für Betrachtungen der Produktivität lassen sich je nach Fragestellung und Verfügbarkeit der Daten unterschiedliche Konzepte heranziehen. Dabei unterscheiden sich diese nach dem verwendeten Outputmaß sowie der Relation zu den eingesetzten Inputfaktoren. Bezüglich der Outputmaße können sowohl der Produktionswert, als auch der um die Vorleistungen bereinigte Produktionswert, d.h. die bereits erwähnte Bruttowertschöpfung, betrachtet werden. Letztere ist nahe verwandt mit dem BIP, da für einen Übergang von der Bruttowertschöpfung zum BIP lediglich die Gütersteuern abzüglich Gütersubventionen hinzugefügt werden. Deren Anteil am gesamten BIP fällt jedoch meist gering aus.

Neben der Auswahl unterschiedlicher Outputmaße lassen sich auch unterschiedliche Inputgrößen betrachten, zu denen der Output ins Verhältnis gesetzt wird. Dabei wird zwischen ein- und mehrfaktoriellen Produktivitätsmaßen unterschieden, je nachdem ob der Zusammenhang zwischen einem oder mehreren Inputs und dem erzielten Output untersucht wird. In Abhängigkeit der betrachteten Faktoren erhält man dann entweder die Arbeits- (Output zu eingesetzter Arbeit), die Kapital- (Output zu eingesetztem Kapital) oder die totale Faktorproduktivität (Beitrag zum Output der nicht durch die eingesetzten Faktoren Arbeit und Kapital erklärt wird). Untersuchungen der Leistungsfähigkeit einer Wirtschaft anhand der Produktivität sowie internationale Vergleiche über mehrere Volkswirtschaften hinweg werden häufig mittels der Arbeitsproduktivität vorgenommen.

Die folgende Abbildung 3.1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Entwicklung von BIP, Arbeitsproduktivität und geleisteter Arbeitsstunden für Deutschland seit der Wiedervereinigung. Dabei wird die Endogenität von BIP und Arbeitsproduktivität deutlich. Da das Wachstum der Bruttowertschöpfung zumeist über dem der gearbeiteten Stunden lag, resultiert daraus ein positiver Zuwachs in der Arbeitsproduktivität. In Phasen, in denen das Wachstum der Bruttowertschöpfung dagegen hinter dem der Arbeitsstunden zurückblieb, lassen sich demzufolge negative Wachstumsraten in der Arbeitsproduktivität konstatieren. Dies war insbesondere der Fall während der Finanz- und Wirtschaftskrise in 2008/2009, was primär der damals inkrafttretenden Kurzarbeiterrege-

lung geschuldet ist (Mai 2010). Seit 2010 erholt sich das Wachstum der Arbeitsproduktivität in Deutschland wieder.

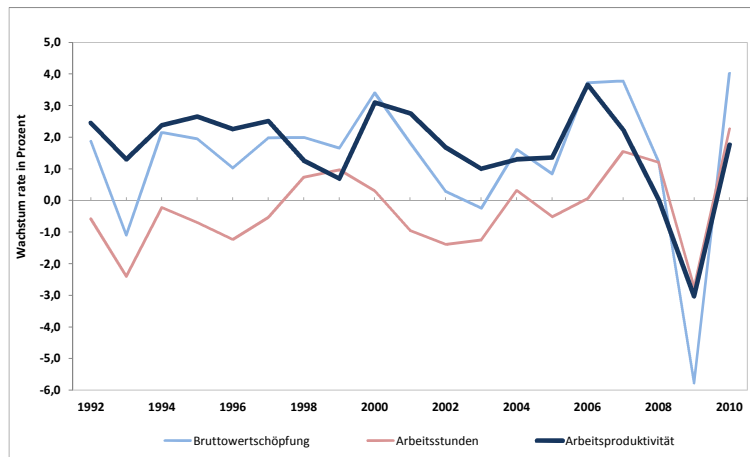


Abbildung 3.1: Wachstum von Bruttowertschöpfung (preisbereinigt, Kettenindex 2005=100), Arbeitsstunden und Arbeitsproduktivität in Deutschland, 1992–2010. Quelle: Destatis (2011).

Über Betrachtungen gesamtwirtschaftlicher Produktivitätsentwicklungen hinaus, lässt sich auch die Transformation von Inputfaktoren in Output empirisch darstellen. In Anlehnung an die im vorherigen Kapitel gemachten Ausführungen zur Verwendung einer Produktionsfunktion, lässt sich als ein konkretes Beispiel die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion nennen, die in den folgenden Ausführungen Verwendung findet. Wird der produzierte Output Y als Bruttowertschöpfung gemessen, so unterstellt sie einen multiplikativen Zusammenhang zwischen Y und den für seine Erzeugung benötigten Inputs:

$$Y = AL^\alpha K^\beta$$

Gleichung 2: Cobb-Douglas Produktionsfunktion

Dabei gilt für die Inputfaktoren dieselbe Notation wie in Gleichung 1. Die beiden Parameter α und β stehen im hier dargestellten Fall für die Faktorelastizitäten der Inputfaktoren Kapital und Arbeit. Diese zeigen an, um wie viel Prozent der Output steigt, wenn einer der einsprechenden Inputs um ein Prozent erhöht wird. Anstelle der verwendeten Inputfaktoren K und L wäre auch ein funktionaler Zusammenhang unter Verwendung von R und/oder P denkbar. Die totale Faktorproduktivität (TFP), A , misst hier den residualen Beitrag zur Bruttowertschöpfung, der nach Berücksichtigung der beiden Inputfaktoren Kapital und Arbeit entsteht.

Besondere Bedeutung erlangte das TFP-Residuum im Zusammenhang mit dem Einfluss von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) Mitte der 1990er Jahre als ein Indikator für die Existenz von IKT-Spillover-Effekten. IKT wird in diesem Zusammenhang als eine General Purpose Technology (Bresnahan und Trajtenberg 1995) betrachtet, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie in vielen Produktionsprozessen effizienzsteigernd eingesetzt werden kann. Dabei führt nicht nur der direkte Einsatz der neuen Technologie, sondern auch die Entwicklung neuer Komplementärtechnologien zu Produktivitätssteigerungen. Anfängliche Produktivitätssteigerungen durch den Einsatz der neuen Technologien in bestimmten Branchen erreichen mit einer gewissen Zeitverzögerung dann auch weitere Branchen (Spillovers).

3.1.2 Deutschlands Entwicklung im internationalen Vergleich

Ländervergleiche hinsichtlich der Arbeitsproduktivität bieten interessante Einblicke in die Leistungsfähigkeit von Wirtschaftsnationen. Betrachtet man die Entwicklung des Produktivitätswachstums für Deutschland im internationalen Vergleich über den Zeitraum von 1978 bis 2007, so lassen sich deutliche Unterschiede insbesondere zu den USA konstatieren (Abbildung 3.2).

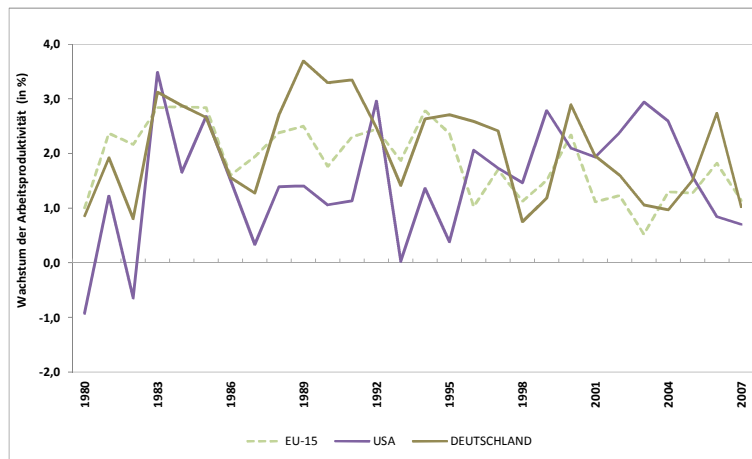


Abbildung 3.2: Arbeitsproduktivitätswachstum der EU-15, USA und Deutschland, 1980–2007. Quelle: EU KLEMS (2009).

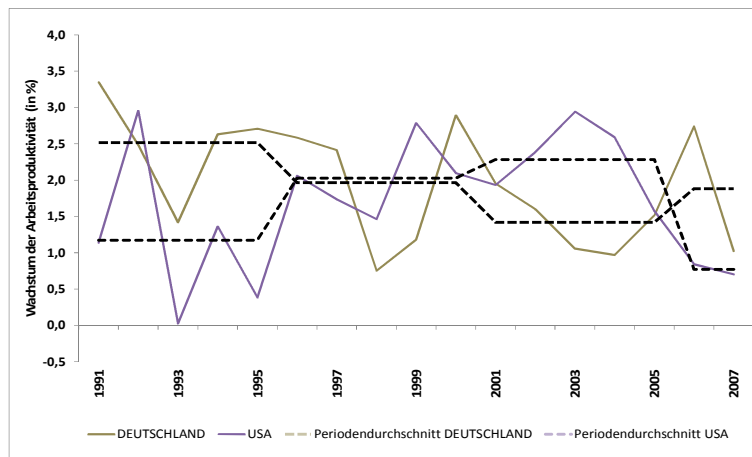


Abbildung 3.3: Arbeitsproduktivitätswachstum der USA und Deutschland, 1991–2007. Quelle: EU KLEMS (2009).

Während das trendmäßige Produktivitätswachstum in Deutschland bis Anfang der 1990er Jahre noch über dem der USA lag, zeigt sich seit Mitte der 1990er Jahre ein umgekehrtes Bild. Anstelle einer fortschreitenden Konvergenz zwischen beiden Ländern kam es stattdessen zu einem Auseinanderklaffen des Produktivitätswachstums. Dies wird durch die Periodendurchschnitte über die jährlichen Wachstumsraten deutlich (Abbildung 3.3). Die USA zeichnet sich dabei durch eine zweimalige Wachstumsbeschleunigung ihrer Produktivität im Zeitraum nach 1995 und nach 2000 aus. Deutschland hingegen musste in diesem Zeitraum deutliche Wachstumseinbußen hinnehmen. Erst seit 2006 zeigen die Daten wieder Konvergenztendenzen beider Länder. Im Vergleich zum Produktivitätswachstum der EU-15 Länder verhält sich die deutsche Produktivitätsentwicklung, aufgrund des hohen Gewichts Deutschlands im Aggregat, relativ ähnlich.

Nähere Betrachtungen am aktuellen Rand verdeutlichen eine anfänglich gute Produktivitätsentwicklung in Deutschland in 2005/2006, die deutlich besser ausfiel als in den USA, und somit sogar auf eine nun positive Divergenz zwischen Deutschland und den USA hinweist (Abbildung 3.3). Bereits in 2007, aber gerade im Zuge der aktuellen Finanzkrise- und Wirtschaftskrise in 2008/2009, sah sich das Wachstum der deutschen Arbeitsproduktivität jedoch mit einem massiven Einbruch konfrontiert. Aktuelle Zahlen zeigen, dass die Entwicklung in den USA in 2008/2009 dagegen deutlich positiver verlief, wodurch sich eine langfristige Konvergenz der Produktivitätswachstumsraten zu Gunsten Deutschlands nicht erkennen lässt. Vielmehr untermauern die jüngsten

Veröffentlichungen eine Persistenz in der Divergenz der trendmäßigen Wachstumsraten beider Länder (Conference Board 2011).

Zur Erklärung der Ursachen von Produktivität und Wachstum soll im folgenden Abschnitt auf bisherige Forschungsergebnisse eingegangen werden. Insofern möglich wird dabei auch die spezielle Situation Deutschlands berücksichtigt, insbesondere die deutsche Wachstumsschwäche seit Mitte der 1990er bis vor Ausbruch der Finanzkrise. Wichtige angebots- und nachfrageseitige Faktoren werden im Zuge dessen näher erläutert.

3.2 Wichtige Determinanten des Produktivitätswachstums

In der Produktivitätsliteratur wird eine Vielzahl von potentiellen Ursachen diskutiert, während das hier vorliegende Gutachten aufgrund des eng gesteckten Rahmens nur einen Überblick über selektiv ausgewählte Produktivitätsdeterminanten liefern kann. Die im Folgenden dargestellten Determinanten lassen sich grob den im vorherigen Kapitel zu Produktion und Faktorverbrauch dargelegten drei Effekten (Skalen-, Struktur- und Technologieeffekt) zuordnen. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Technologieeffekt zu, der sich beispielsweise in Innovationen, einer verbesserten Qualität der Inputfaktoren aufgrund von gestiegenem Humankapital sowie einer verstärkten Nutzung und Diffusion von Informations- und Kommunikationstechnologien widerspiegelt. Skaleneffekte entstehen insbesondere durch die Auswirkungen von Steuern und Direktinvestitionen auf die Bildung des physischen Kapitalstocks und durch öffentliche Investitionsausgaben. Struktureffekte, in Kombination von Skalen- und Technologieeffekten, werden durch die Einbindung in den internationalen Handel und dessen Intensivierung induziert.

3.2.1 Steuern und Direktinvestitionen

Ein wichtiger angebotsseitiger Faktor zur Erhöhung der Produktivität einer Volkswirtschaft liegt in der Investitionstätigkeit von Unternehmen und damit in der Bildung des gesamtwirtschaftlichen physischen Kapitalstocks. Da die Investitionstätigkeit wiederum von vielerlei Faktoren beeinflusst wird, soll im Folgenden primär der Einfluss von Unternehmenssteuern betrachtet werden. Neben der steuerlichen Belastung im Allgemeinen und deren negativen Effekte auf das Wirtschaftswachstum, wie sie auch über die Einkommensteuer auftreten können, entfaltet die Besteuerung von Unternehmen im Besonderen ihre negativen Wirkungen über eine Erhöhung der Kapitalnutzungskosten. Ausführliche Untersuchungen über die verzerrenden Wirkungen auf die Investitionstätigkeit wurden für die USA von Jorgenson und Yun (2001) durchgeführt. Aber auch in einer internationalen Perspektive verdichtet sich die empirische Evidenz der belastenden Wirkung von Unternehmenssteuern auf Investitionen und wirtschaftliches Wachstum. Dabei wirken höhere Unternehmenssteuern weniger negativ auf das Produktivitätswachstum kleiner, als auf das mittelgroßer und großer Firmen. Dieser Effekt wird über die zumeist geringere Variation in der Profitabilität kleinerer Firmen über unterschiedliche Sektoren hinweg erklärt. Ausnahmetatbestände für kleine Unternehmen scheinen dagegen keine Rolle zu spielen (Schwellnus und Arnold 2008). In einer OECD-Studie zeigen Johannson et al. (2008) dagegen, dass der Einfluss von Unternehmenssteuern auf Investitionen in Forschung und Entwicklung zu vernachlässigen ist. Neben der reinen Steuerbelastung für Unternehmen, kann sich natürlich auch die Höhe der Sozialabgaben und die damit verbundene zusätzliche Belastung des Faktors Arbeit nachhaltig auf die Investitionstätigkeit von Unternehmen auswirken.

Die Bedeutung von internationalen Unterschieden in der Unternehmensbesteuerung lässt sich auch vor dem Hintergrund eines in den vergangenen Jahrzehnten zunehmenden Aufkommens von ausländischen Direktinvestitionen (FDI) betrachten. Steuerliche Aspekte spielen bei der Standortentscheidung von Unternehmen eine wichtige Rolle (Devereux und Griffith 1998; Büttner und Ruf 2007; Overesch und Wamser 2010). Hierbei wird meistens zwischen zwei Arten von Direktinvestitionen differenziert, solche die als reine Neuinvestitionen (*Greenfield Investment*) gelten und den Bau neuer Anlagen und Firmen nach sich ziehen, und solche die primär Beteiligungen und Übernahmen von bestehenden Firmen (*Mergers and Aquisitions*, M&As) beinhalten. Während Greenfield Investments häufig als die eigentlich wachstumsfördernden FDIs betrachtet werden, werden M&As eher kritisch gesehen. Häufig werden in diesem Zusammenhang auch die Auswirkungen auf den Ar-

beitsmarkt diskutiert, wobei die Ergebnisse dazu nicht eindeutig sind. Es zeigt sich jedoch, dass – unabhängig von der Art der Investition – positive Effekte von FDI auf das Produktivitätswachstum ausgehen (OECD 2007).

3.2.2 Informations- und Kommunikationstechnologien

In der Produktivitäts- und Wachstumsliteratur wird als weiterer wesentlicher Wachstumstreiber, insbesondere für den Zeitraum seit den 1990er Jahren, der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) gesehen. Umfangreiche Untersuchungen konnten zeigen, dass eine verstärkte Investitionstätigkeit in IKT für das beschleunigte Wachstum der US-amerikanischen Arbeitsproduktivität nach 1995 und nach 2000 verantwortlich waren (Jorgenson et al. 2005, 2008; Stiroh und Botsch 2008; Gordon 2003; Oliner und Sichel 2000, 2002; Timmer et al. 2003). Detaillierte Analysen auf Branchenebene kommen zudem zu dem Schluss, dass es insbesondere die IKT-produzierenden und IKT-nutzenden Branchen in den USA waren, die weitaus höhere Wachstumsraten der Arbeits- sowie der Totalen Faktorproduktivität aufweisen.

Betrachtet man die Entwicklung der IKT-Intensität (Anteil von IKT an den gesamten Kapitalkosten) über den Zeitraum von 1980 bis 2007 für Deutschland, die EU-15-Länder und die USA, so zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Wirtschaftsregionen (Abbildung 3.4). Seit Beginn der 1980er Jahre divergiert dabei der Anteil des eingesetzten IKT-Kapitals in Deutschland sowie in den EU-15-Ländern zu dem in den USA. Diese Tendenz verstärkt sich zunehmend ab Mitte der 1990er Jahre und stabilisiert sich erst mit dem Platzen der Dot-com-Blase in der Phase nach 2000. Die vergleichsweise geringere IKT-Kapitalintensität in Deutschland und die dadurch induzierten geringeren Zuwächsen in der Arbeitsproduktivität IKT-intensiver Branchen, konnten den starken Rückgang des Produktivitätswachstums in anderen, nicht-IKT-intensiven Wirtschaftszweigen nicht kompensieren (Eicher und Roehn 2007; Eicher und Strobel 2008). Dies führte zu einem Rückgang im Trendwachstum der gesamtwirtschaftlichen Produktivität in Deutschland während der 1990er Jahre.

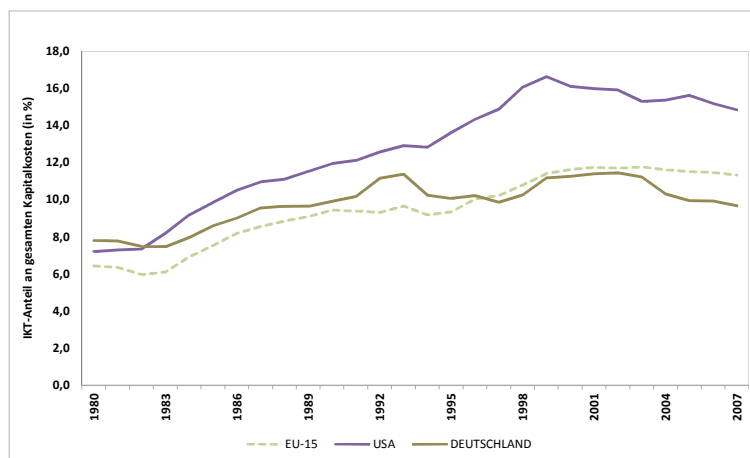


Abbildung 3.4: IKT-Intensität der EU-15, USA und Deutschland, 1980–2007. Quelle: EU KLEMS (2009).

Auch die Diffusion von IKT in andere Sektoren nach dem Platzen der Dotcom-Blase fand, im Gegensatz zu den Vereinigten Staaten, in Deutschland nur bedingt statt. Jorgenson et al. (2008) und Stiroh und Botsch (2008) zeigen, dass die anfänglich hohen Produktivitätszuwächse in den IKT-produzierenden Branchen nach dem Platzen der Dotcom-Blase in Form von Spillover-Effekten zu einer Steigerungen der totalen Faktorproduktivität IKT-nutzender Branchen beitrugen.

Explizite Studien zur Analyse der Spillover-These von IKT und ihrer Eigenschaft als General Purpose Technology (GPT) liefern dagegen unterschiedliche Ergebnisse. So finden zwar zahlreiche Studien positive empirische Evidenz für die Existenz von IKT-Spillover-Effekten für die USA (Brynjolfsson und Hitt 2003; Baily und Lawrence 2001; Basu 2003) und einige Forscher schließen aufgrund von Produktivitätsvergleichen zwischen Industrien auf eine indirekte Verifizierung der Spillover-These (Bosworth und Triplett 2004; Stiroh 2002). Andere wiederum finden für deren Existenz keinerlei Beweise (Inklaar et al. 2008). In manchen Untersuchungsansätzen wird

anhand zahlreicher deskriptiver Statistiken IKT mit vergangenen bahnbrechenden Technologien, wie beispielsweise der Elektrizität, verglichen. Während Jovanovic und Rousseau (2005) hervorheben, dass IKT den Vergleich mit anderen großen technologischen Erneuerungen nicht scheuen muss, zieht Gordon (2010) dagegen eine eher skeptische Schlussfolgerung bezüglich des GPT-Charakters von IKT. Trotz der Fülle an Indizien von Innovationen, die aus der Verwendung von IKT entstehen (Brynjolfsson und Saunders 2009), steht eine eindeutige Verifizierung der GPT-Hypothese von IKT noch aus.

3.2.3 Innovationen

Die traditionelle Innovationstheorie besagt, dass Firmen Forschung betreiben, in der Hoffnung mit einer neuen Innovation den Markt monopolisieren zu können. In diesem Fall hätte das Unternehmen die Möglichkeit, überdurchschnittliche Renditen zu erwirtschaften; zumindest solange, bis ein anderes Unternehmen die neue Technologie kopiert und dadurch den Wettbewerbsvorteil des Innovators zunichtemacht.

In der Praxis sieht dies jedoch oft anders aus. Hohe Kosten, mangelnde Ressourcen und hohe Unsicherheit sind die häufigsten Nennungen, fragt man Unternehmen nach den größten Hemmnissen für Innovationen. Um derartige Barrieren abzubauen, haben sowohl die deutsche als auch viele andere europäische Regierungen erhebliche Summen in die Subvention von Forschung und Entwicklung investiert, um hierdurch Innovationen und schlussendlich Wachstum zu induzieren. Die interessante Frage ist allerdings, ob dieses Geld sinnvoll angelegt ist.

Die direkte empirische Messung von Innovationen ist nicht trivial, da sich Innovationen in der Regel nicht quantifizieren lassen. In der empirischen Innovationsliteratur werden daher zur Identifizierung des Effektes von Innovationen oftmals suboptimale Instrumente wie Ausgaben für Research and Development (R&D), die Anzahl der in R&D Beschäftigten oder Patente und deren Zitierungen als Indikator für Innovationen und deren Qualität herangezogen (Crosby 2000). Jedoch wird die Aussagekraft von Patenten konträr diskutiert, da viele Erfindungen schlichtweg nicht patentiert werden. Auch Ausgaben für R&D sind in der Regel kein guter Indikator für Innovationen, da sie eher ein Inputfaktor für Innovationen sind und man ihre Produktivität nicht bestimmen kann. Nichtsdestotrotz argumentiert Schmookler (1966) für die Nützlichkeit von Patentdaten und dass es ausreichen würde, diese als Indikator für die Anzahl an Erfindungen zu interpretieren.

Crosby (2000) untersucht in seinem Artikel die Rolle von Innovationen für das Wirtschaftswachstum. Seine Ergebnisse zeigen, dass eine höhere Patentierungsquote einen positiven Einfluss sowohl auf die Arbeitsproduktivität, als auch auf das Wirtschaftswachstum hat. Des Weiteren suggeriert er, dass der Einbruch der australischen Arbeitsproduktivität in den 1970er Jahren größtenteils durch einen Abschwung in Innovationen in den späten 1960er Jahren zurückzuführen sei.

In ähnlicher Manier messen Bilbao-Osorio und Rodríguez-Pose (2004) in ihrem Artikel zuerst den Effekt von Forschungs- und Entwicklungsausgaben des privaten, öffentlichen sowie des akademischen Sektors auf Innovationen und anschließend den Effekt dieser Innovationen auf das Wirtschaftswachstum. Innovationen werden hierbei abermals in Form von Patentanmeldungen gemessen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass R&D-Ausgaben einen positiven Einfluss auf die Entstehung von Innovationen haben, jedoch hierbei nicht alle Sektoren gleichermaßen produktiv sind. Forschungsaktivitäten des privaten Sektors erbringen einen deutlich höheren Ertrag als Forschung in den anderen beiden Sektoren. Allerdings muss hinzugefügt werden, dass Forschung im privaten Sektor eher angewandter Natur ist, was zwangsläufig in einer höheren Wahrscheinlichkeit für Patentierung resultiert. Im Gegensatz zur Analyse von Crosby ist der Effekt von Innovationen auf das Wirtschaftswachstum bei Bilbao-Osorio und Rodríguez-Pose hingegen nicht ganz eindeutig. Während die Autoren keinen signifikanten Einfluss von Innovationen auf Wirtschaftswachstum in Ballungszentren finden, scheint der Effekt positiv für Randgebiete zu sein.

Die vermutlich umfangreichste Studie zu diesem Thema kommt von Sedgley (2006). Hierfür verwendet er Patentdaten ab 1851 um den Effekt der Wachstumsrate von kumuliertem Wissen (gemessen als Summe der beantragten Patente) auf die Arbeitsproduktivität zu schätzen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikant posi-

tiver Effekt besteht. Auch weitere Regressionen mit Kapitalwachstum pro Mitarbeiter und Änderungen im Humankapital des durchschnittlichen Arbeiters als abhängige Variable ändern die Ergebnisse nicht.

3.2.4 Humankapital

Neben den bisher erwähnten Faktoren stellt auch die Verbesserung der Qualität des Inputfaktors Arbeit, in Form eines verbesserten Humankapitals, einen wichtigen Faktor zur Steigerung der Produktivität dar. Dies wird aus der Produktionsfunktion ersichtlich, in der eine Zunahme der Arbeitsqualität (z.B. durch eine bessere Versorgung mit ausgebildeten Arbeitskräften oder einem höheren Bildungsniveau in der Volkswirtschaft) unmittelbar zu einer Steigerung des Faktors Arbeit L und damit zu Output-/Produktivitätswachstum führt. Dies geschieht durch die Bereitstellung anspruchsvollerer Berufstätigkeiten im Zuge einer verbesserten Versorgung mit höherqualifizierten Arbeitnehmern, welche sich ihrerseits wiederum förderlich auf die gesamtwirtschaftliche Produktivität auswirkt. Insbesondere die Adaptionfähigkeit neuer Technologien sowie die Fähigkeit, diese zu entwickeln, hängen im hohen Maße von der in einer Volkswirtschaft vorhandenen Qualität des Humankapitals ab (vgl. dazu *skill-biased technological change*, bei dem der technologische Fortschritt endogen über die Ausstattung eines Landes mit hochqualifizierten Arbeitern induziert wird; Acemoglu 1998).

Über die oben beschriebenen Indikatoren hinaus wird das Humankapital auch noch über eine Reihe anderer Einflussfaktoren bestimmt. Neben dem durchschnittlichen Bildungsniveau spielt insbesondere der Anteil an Akademikern eine entscheidende Rolle. So zeigen beispielweise Vandenbussche et al. (2005) in ihrer Untersuchung, dass in erster Linie die akademische Ausbildung das aggregierte Produktivitätswachstum einer Volkswirtschaft erhöht. Dies geschieht über den Innovationskanal, da die Entwicklung und Einführung technologischer Erneuerungen sehr humankapitalintensiv ist. Im Gegensatz dazu ist der reine Einsatz bereits existierender Innovationen (Imitationskanal) weniger humankapitalintensiv. Untersuchungen auf der Firmenebene lassen konstatieren, dass auch Fortbildungsmaßnahmen in Unternehmen höhere Löhne und eine höhere Produktivität nach sich ziehen. Beispielsweise zeigen Dearden et al. (2006) für Großbritannien, dass Fortbildungsmaßnahmen von Unternehmen im Durchschnitt zu einer höheren Produktivität und höheren Löhnen der Mitarbeiter führen. Dabei ist der Zuwachs der Löhne deutlich geringer als der der Produktivität.

International vergleichende Analysen des Einflusses von Humankapital auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit von Volkswirtschaften unter Verwendung gängiger Humankapitalindikatoren, wie z.B. die Anzahl der Schuljahre, sind meist unzureichend (Hanushek und Wößmann 2011). So erweist sich die Anzahl der Schuljahre als Indikator für die erworbenen Fähigkeiten als insignifikant, sobald qualitative Unterschiede des Bildungssystems auf Länderebene bei der Bestimmung des wirtschaftlichen Erfolgs berücksichtigt werden. Nach den Ergebnissen von Hanushek und Wößmann (2011) sind es vielmehr Unterschiede in den kognitiven Fähigkeiten, die das Pro-Kopf-Einkommen hochentwickelter Länder bestimmen.

Um im Rahmen dieser Studie eine Abschätzung der Entwicklung des verfügbaren Humankapitals in Deutschland gegenüber anderen Ländern zu geben, zielen die folgenden deskriptiven Statistiken eher auf die Zusammensetzung der Fähigkeiten als auf die reine Dauer der Ausbildung ab. Abbildung 3.5 zeigt die Entwicklung des Anteils tertiärer Bildung, d.h. des Anteils Höherqualifizierter am Humankapital, für ausgewählte OECD-Länder. Sie betrachtet dabei den Anteil eingeschriebener Studenten in Hoch- und Fachhochschulen (ISCED 5A) sowie praxisbezogenen Studiengänge an Fachschulen, Berufsakademien u.ä. (ISCED 5B). Es zeigt sich, dass der Anteil tertiärer Bildung in Ländern mit trendmäßig hohem Produktivitätswachstum, wie den USA, Finnland und Schweden, deutlich über dem von Ländern mit trendmäßig moderaterem Produktivitätswachstum, wie Deutschland und Frankreich, liegt. Auch wenn sich daraus keine kausalen Zusammenhänge ableiten lassen und die Qualität der tertiären Bildung über die Länder variieren kann, so wird dennoch der Unterschied in der Verfügbarkeit von Hochqualifizierten deutlich. Hinsichtlich der Entwicklung des Humankapitals über das letzte Jahrzehnt lässt sich konstatieren, dass der tertiäre Anteil in Ländern wie Deutschland und Frankreich im Gegensatz zu dem der USA und skandinavischen Länder keine signifikante Aufwärtsdynamik aufweist.

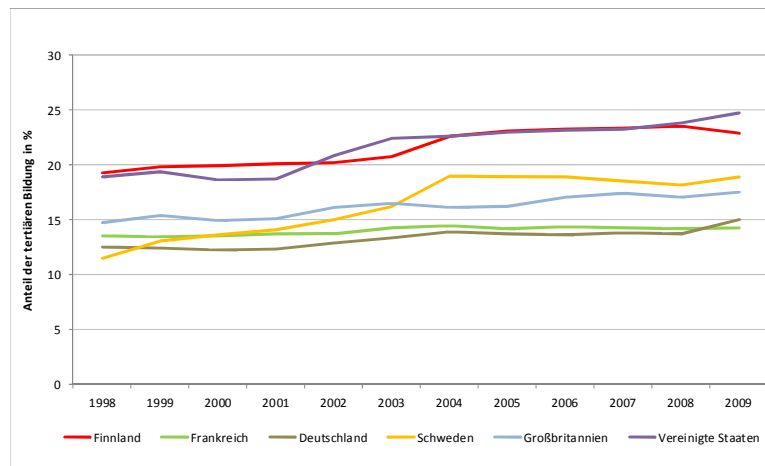


Abbildung 3.5: Anteil der Registrierten in tertiärer Bildung (ohne Forschungsqualifikation) an allen Bildungsstufen, 1998–2009. Quelle: UNESCO (2011) und Berechnungen des ifo Instituts.

3.2.5 Internationaler Handel

Im Zuge neuer Ansätze zur Bestimmung der Ursachen von Produktivität rückt zunehmend die Heterogenität von Firmen und deren Einbindung in den internationalen Handel in den Fokus. Gerade aber der Zusammenhang von Produktivität und Exportintensität von Unternehmen wirft Fragen zur Kausalität in den Wirkungsmechanismen auf. Grundsätzlich lassen sich zwei Sichtweisen dazu unterscheiden. Es stellt sich die Frage, ob die Exporttätigkeit selbst aufgrund der Einbindung in den internationalen Wettbewerb und des daraus folgenden Anpassungsdrucks zu einer Steigerung der Produktivität von Unternehmen und Industrien führt (*Learning*) oder ob es die hochproduktiven Unternehmen und Industrien sind, die von sich aus zu Exportindustrien werden (Selektionsprozess). Bisherige Untersuchungen liefern vermehrt Indizien, die die Richtigkeit der letzteren Hypothese unterstützen. Firmen, die ex-ante eine höhere Produktivität aufweisen, werden häufiger zu Exportindustrien (Bernard und Jensen 1999), während die weniger produktiven Industrien weiterhin den heimischen Markt beliefern. Dies bewirkt eine Selektion zu mehr Handel, die in erster Linie durch das bereits vorhandene Produktivitätsniveau der Industrien determiniert wird (Melitz 2003).

Hinsichtlich der ersten Wirkungskette existiert dagegen bisher keine eindeutige empirische Evidenz. Zwar sind sowohl das Beschäftigungswachstum als auch die Überlebenswahrscheinlichkeit von Exportindustrien höher als die von Industrien mit geringer Exportintensität, jedoch lässt sich langfristig kein höheres Produktivitäts- bzw. Lohnwachstum feststellen (Bernard und Jensen 1999). Dennoch können Argumente für diese Wirkungskette angeführt werden. So kann beispielsweise internationaler Handel den Wettbewerb beeinflussen und somit Rückkopplungseffekte auf die Selektion heterogener Produzenten und Exportindustrien induzieren. Die Produktivität würde dann auf die Marktgröße, den Wettbewerb und das Ausmaß der Integration durch Handel reagieren (Melitz und Ottaviano 2008). Clerides et al. (1987) zeigen hingegen für einen Firmendatensatz für Kolumbien, Mexiko und Marokko, dass der positive Zusammenhang von Produktivität und Exportintensität nicht auf Learning-Effekten der dem internationalen Wettbewerb ausgesetzten Firmen basiert. Vielmehr ist der Zusammenhang auf den bereits angesprochenen Selektionsprozess effizienter Firmen in den Exportmarkt zurückzuführen. Eine empirische Quantifizierung der Produktivitätseffekte aufgrund einer gesteigerten Handelsintensität von Unternehmen/Industrien, insbesondere für eine stark vom Export abhängige Nation wie Deutschland, steht bisher aus.

3.2.6 Investitionsausgaben des Staates

Als ein abschließender Bestimmungsfaktor des Produktivitätswachstums soll der Einfluss öffentlicher Investitionen dargestellt werden. Obwohl dem Einfluss des Staates eine besondere Rolle im wirtschaftlichen Geschehen zukommt, liegen zum Einfluss öffentlicher Ausgaben auf die Produktivität bisher kaum empirische Untersu-

chungen vor. In der Konjunkturanalyse wird der Einfluss öffentlicher Ausgaben dagegen häufig als kurzfristiger Ausgabenschock betrachtet, der das BIP signifikant erhöht. Caldara und Kamps (2008) stellen in ihren Untersuchungen für die USA über den Zeitraum von 1955–2006 dazu fest, dass ein derartiger Ausgabenschock kurzfristig positive Auswirkungen auf das reale BIP, den realen privaten Konsum und die realen Löhne aufweist. Gleichzeitig zeigen sich jedoch keine nennenswerten Einflüsse auf die gearbeiteten Stunden und privaten Investitionen. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass eine Erhöhung der öffentlichen Investitionsausgaben auf kurze Sicht über die Erhöhung der Löhne und damit des privaten Konsums produktivitätswirksame Effekte nach sich ziehen. Da sie jedoch nicht stimulierend auf private Investitionen und somit die Akkumulation des Kapitalstocks wirken, ist langfristig keine nachhaltige Erhöhung der Produktivität zu erwarten.

In der Literatur geht man grundsätzlich davon aus, dass öffentliche Investitionen (z.B. in Form von Infrastrukturprojekten) als Bestandteil einer aggregierten Produktionsfunktion gesehen werden können. Dabei können diese direkt als ein dritter Faktor neben Kapital und Arbeit in die Produktionsfunktion einfließen. Sie können aber auch einen indirekten Einfluss auf das BIP und die Produktivität über die totale Faktorproduktivität ausüben. In beiden Ansätzen wird unterstellt, dass es sich bei öffentlichen Investitionen um die Bereitstellung zumeist nicht-rivalisierender Güter handelt, die mit positiven Wohlfahrtseffekten einhergeht. Endogene Wachstumsmodelle verwenden die Einführung öffentlicher Investition meistens zur Erklärung von Effizienzgewinnen bei Verstopfungseffekten (z.B. Barro und Sala-i-Martin, 1992). Dies wird am Beispiel verstärkter Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur sichtbar, wie sie von Sanchez-Robles (1998) in seiner Untersuchung zu Infrastrukturmaßnahmen und Wachstum herangezogen wurden. Ein Ausbau der Infrastruktur kann demzufolge das Verstopfungsproblem, das z.B. durch zu viele Autos auf einer Straße zustande kommt, mindern. Es ist jedoch davon auszugehen, dass derartige Wohlfahrtseffekte nicht unbegrenzt sind, da ab einem bestimmten Grenzwert zusätzliche Investitionen nicht zu einem weiteren Abbau der Verstopfungsproblematik führen. Dennoch zeigen sich in der Studie positive Effekte auf das Wachstum.

Erste Untersuchungen zu den direkten sowie indirekten Einflüssen erhöhter öffentlicher Ausgaben auf die Produktivität finden sich bei Aschauer (1989). Dieser kommt zu dem Schluss, dass für die USA im Zeitraum von 1971–1985 ein positiver Zusammenhang zwischen öffentlichen Investitionen und totaler Faktorproduktivität besteht, wodurch der US-amerikanische Produktivitätsrückgang zu einem Großteil auf einen Rückgang der öffentlichen Investitionen zurückzuführen ist. Weitere Untersuchungen stellen diese Ergebnisse jedoch aufgrund einer Reihe von methodischen Problemen in Frage (Gramlich 1994; Vijverberg und Vijverberg 2007). In ihrer aktuellen Untersuchung kommen Vijverberg und Vijverberg (2007) zu dem Ergebnis, dass die jeweils zugrunde gelegte Methode ausschlaggebend ist, ob ein positiver Effekt öffentlicher Investitionen auf die Produktivität festgestellt werden kann. In einer aktuellen Untersuchung für die EU-15-Länder über den Zeitraum von 1971–2006 zeigen Alfonso und Alegre (2008) anhand einer Zerlegung der Staatsausgaben, dass öffentliche Investitionen zwar einen positiven Effekt auf die Arbeitsproduktivität, jedoch einen negativen auf die totale Faktorproduktivität haben. Dabei wird vermutet, dass letzterer Effekt durch ein Crowding-in privater durch öffentliche Investitionen entsteht, welches sich aufgrund des zu hohen Investitionsniveaus negativ auf die totale Faktorproduktivität auswirkt.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse lässt sich nicht eindeutig feststellen, ob der Rückgang des Anteils öffentlicher Investitionen am BIP in Deutschland zwischen 1995 und 2005, wie er im Monatsbericht der Deutschen Bundesbank belegt wird (Bundesbank 2009), tatsächlich zur Abschwächung des Produktivitätswachstums innerhalb dieses Zeitraums beigetragen hat. Zudem ist unklar, ab welcher konkreten Höhe des Investitionsniveaus das Produktivitätswachstum letztendlich beeinflusst wird und inwiefern sich im Falle Deutschlands aus Veränderungen der öffentlichen Investitionsausgaben langfristige, eventuell sogar gegenläufige, produktivitätswirksame Effekte ergeben haben.

3.3 Arbeitsmarkt, BIP und Produktivität

Hinsichtlich der Interaktion zwischen BIP und Arbeitsmarkt wird im Zuge konjunktureller Betrachtungen häufig davon ausgegangen, dass BIP-Veränderungen in erster Linie von Nachfrageschwankungen getrieben sind, die

sich dann mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung ebenso am Arbeitsmarkt widerspiegeln. Belege dafür, dass die gesamtwirtschaftliche Nachfrage die Beschäftigung beeinflusst, finden sich bei Nickell (1998). Umgekehrte Auswirkungen des Arbeitsmarktes auf das BIP-Wachstum können dagegen von Veränderungen bestehender arbeitsmarktinstitutioneller Gegebenheiten ausgehen. Dabei wird angenommen, dass z.B. Lockerungen restriktiver Arbeitsmarktregulierungen sowie Lohnzurückhaltungen, ähnlich einem positiven Produktivitätsschock, positive Effekte auf das BIP-Wachstum freisetzen.

Hinsichtlich von Arbeitsmarkteffekten des BIP-Wachstums legen empirische Untersuchungen nahe, dass ein gewisser beschäftigungswirksamer Nachlauf aufgrund der Erweiterung bestehender Kapazitäten besteht (vgl. dazu auch Okuns Gesetz, Okun 1962). Dabei kommt es für gewöhnlich neben einer Zunahme der Nachfrage nach hochqualifizierten Arbeitskräften auch zu einer gesteigerten Nachfrage nach geringqualifizierten Arbeitskräften, wodurch die durchschnittliche Arbeitsqualität abnimmt (Schwerdt und Turunen 2007; Solon et al. 1994; Aaronson and Sullivan 2001). In Phasen einer wirtschaftlichen Kontraktion erhöhen Firmen ihre Qualifikationsanforderungen und versuchen hochqualifiziertes Personal zu halten, während die Nachfrage nach weniger qualifizierten Mitarbeitern sinkt. Dagegen steigt in Zeiten einer konjunkturellen Erholung die Wahrscheinlichkeit für Geringqualifizierte, eine Anstellung zu finden, da Firmen ihre Qualifikationsanforderungen senken und im Zuge einer anziehenden Produktion mehr Arbeit nachfragen.

Der im vorherigen Absatz beschriebene Einstellungseffekt kann sich über eine sinkende Arbeitsqualität wiederum negativ auf die durchschnittliche Arbeitsproduktivität auswirken. Aktuelle Forschungsergebnisse deuten dabei auf einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen Arbeitsproduktivität und Beschäftigung in Europa hin (Dew-Becker und Gordon 2008). So zeigen die Autoren in ihren empirischen Untersuchungen, dass gerade diejenigen europäischen Länder mit den stärksten Zuwächsen in den gearbeiteten Stunden über den Zeitraum von 1995–2006 auch die stärksten Rückgänge in ihrer Produktivität zu verzeichnen hatten. Dabei verweisen sie auf Effekte, die einen nachhaltigen Einfluss auf die Zusammensetzung der Arbeitsqualität ausüben. In Mittelmeerländern, wie z. B. Spanien, wird u.a. die Integration von geringqualifizierten Immigranten in den Arbeitsmarkt angeführt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Boulhol und Turner (2009) in ihren Untersuchungen zum Trade-off zwischen Produktivität und Beschäftigung in den OECD-Ländern. Sie verweisen darauf, dass gerade die Integration geringqualifizierter Arbeitskräfte in den Arbeitsmarkt, wie sie im Zuge arbeitsmarktpolitischer Zielsetzungen wünschenswert ist, mit einer Reduktion der durchschnittlichen Arbeitsqualität und damit der Arbeitsproduktivität einhergehen. Zudem betonen die Autoren, dass unter der Annahme einer homogenen, anstelle einer heterogenen Zusammensetzung der Arbeitskräfte, eine Zunahme der Arbeitskräfte auch aufgrund einer unzureichend schnellen Adjustierung des Kapital-Arbeits-Verhältnisses dämpfend auf die Arbeitsproduktivität wirken kann (Boulhol und Turner 2009). Das Kapital-Arbeits-Verhältnis resultiert, wenn man die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion nach Gleichung 2 auf beiden Seiten ins Verhältnis zum Faktor Arbeit, L , setzt.

4. Ressourcenproduktivität und Wachstum

Produktivitätssteigerungen sind, wie bereits in Kapitel 3 dargelegt, entscheidende Wachstums- und Wohlstandstreiber einer Gesellschaft. Arbeits- und Kapitalproduktivität sind dabei die bekannten Messkonzepte. Eine besondere Bedeutung kommt aber auch der Verwendung von natürlichen Ressourcen zur Produktion von Gütern und deren Konsum als Grundlage für Wachstum und Wohlstand zu. Im vorliegenden Gutachten liegt der Fokus dabei insbesondere auf Ressourcen, deren Bestand sich nicht in für Menschen relevanten Zeiträumen regeneriert. Diese umfassen hauptsächlich abiotische Ressourcen wie fossile Energieträger, Erze und andere Mineralien (Baumineralien wie Sand, Kies, Steine sowie Industriemineralien wie Quarzsand, Kalisalze etc.), vgl. Statistisches Bundesamt (2011a).

Im Zusammenhang mit natürlichen Ressourcen sind Produktivitätssteigerungen vor allem aus zwei Gründen wichtig. Dies sind zum einen die Auswirkungen des Einsatzes dieser Ressourcen auf die Umwelt. Nicht nur die in der letzten Zeit stark diskutierte Klimaproblematik, sondern auch andere Effekte wie lokale Luftverschmutzung oder Landschaftszerstörung führen zu hohen gesellschaftlichen Kosten (vgl. hierzu Kapitel 5). Der zweite Grund ist die Knappheit natürlicher Ressourcen, welche insbesondere in Bezug auf die im Wirtschaftsprozess eingesetzten erschöpfbaren Ressourcen (beispielsweise fossile Energieträger) diskutiert wird. Bzgl. nachwachsender Rohstoffe besteht grundsätzlich aufgrund beschränkter Regenerationspotenziale eine ähnliche Problematik, auf deren Diskussion allerdings aus Platzgründen im Rahmen dieses Gutachtens verzichtet werden muss.

Während die Industrienationen heute noch die größten Verbraucher von Ressourcen sind, lässt sich in Schwellenländern wie Indien und China schon seit Jahren ein gewaltiger Anstieg der Nachfrage beobachten. Die Knappheit von Ressourcen ist aber auch in Bezug auf deren ungleich verteilte Vorkommen als Problem zu sehen. Das gehäufte Vorkommen der Ressourcen in Ländern mit unsicheren Machtstrukturen muss unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit, aber auch unter dem Aspekt von Marktmachtsituationen, kritisch gesehen werden.⁵

Neben Arbeits- und Kapitalproduktivität wird es daher immer wichtiger, die Produktivität der eingesetzten Ressourcen zu betrachten. Eine parallele Verwendung der drei genannten Produktivitätsindikatoren erlaubt es zudem, ein tiefergehendes Verständnis der totalen Faktorproduktivität zu gewinnen (OECD 2008).

4.1 Ressourcenproduktivität

Unter Ressourcenproduktivität ist generell das Verhältnis zwischen wirtschaftlicher Leistung und Ressourceneinsatz zu verstehen. Sie beschreibt, wie viel Wirtschaftsleistung mit einer gegebenen Menge an Materialeinsatz produziert wird. Damit ist die Ressourcenproduktivität der Kehrwert des Indizes Ressourcenintensität, der die bei der Erzeugung einer Einheit Wirtschaftsleistung eingesetzte Menge an Ressourcen beschreibt. Es ist möglich, ebenso wie bei den Indikatoren Arbeits- und Kapitalproduktivität, verschiedene Betrachtungsebenen einzunehmen. Unterscheidungen können sowohl bezüglich der ökonomischen Ebene (international, national, sektoral, branchen- oder unternehmensspezifisch) als auch hinsichtlich des Materialindex (z.B. produktions- oder konsumorientiert) vorgenommen werden (OECD 2008a). Verschiedene Maßzahlen für beide Kenngrößen existieren, die im Folgenden dargelegt werden.

4.1.1 Messkonzepte

In die Berechnung der Ressourcenproduktivität fließen zwei Größen ein – die wirtschaftliche Leistung und der Ressourceneinsatz. Entsprechend können Konzepte zur Messung der Ressourcenproduktivität sowohl hinsichtlich der eingezogenen Ressourcenströme als auch der Abgrenzung der wirtschaftlichen Leistung unterschieden werden.

⁵ Dies ist nicht nur ein besonderes Problem bei erschöpfbaren Energieträgern, sondern auch bei den sogenannten seltenen Erden, vgl. hierzu Albrecht, Triebswetter und Lippelt (2010).

Die Erfassung des Ressourceneinsatzes erfolgt meist anhand der Materialflussrechnung und in Gewichtseinheiten. Erfasst werden nicht nur einzelne Ressourcen wie Öl oder Gas, sondern auch kumulierte Größen. Tabelle 4.1 vergleicht ausgewählte Materialindizes, die auch international verwendet werden.

Direkter Materialeinsatz (DMI, Direct Material Input)

DMI = inländische verwertete Rohstoffentnahme plus Importe

Inländischer Materialverbrauch (DMC, Domestic Material Consumption)

DMC = DMI minus Exporte

Globaler Materialaufwand (TMR, Total Material Requirement)

TMR = DMI plus inländisch nicht verwertete Extraktion plus ausländische Ressourcennahme für Importe

Globaler Materialverbrauch (TMC, Total Material Consumption)

TMC = TMR minus Exporte incl. indirekter Ressourcenaufwendungen

Tabelle 4.1: Verschiedene Messkonzepte des Ressourceneinsatzes im Vergleich. Quelle: Umweltbundesamt (2008), Box 1.

Der direkte Materialeinsatz (DMI) misst den direkten Einsatz von Primärmaterial in der inländischen Produktion und dem inländischen Konsum. Durch Abzug der Exporte erhält man den inländischen direkten Materialverbrauch von Primärmaterial (DMC). Dieser ist definiert als „die jährliche Menge an Rohstoffen, die auf dem Hoheitsgebiet der betrachteten Volkswirtschaft gewonnen wird, zuzüglich aller physischen Einfuhren und abzüglich aller physischen Ausfuhren“ (EuroStat 2009). Im Gegensatz zum DMI und DMC werden bei der Berechnung des globalen Materialaufwands (TMR) und des globalen Materialverbrauchs (TMC) nicht nur die in Produktion und Konsum enthaltenen Materialien erfasst sondern der gesamte primäre Materialaufwand der betrachteten Wirtschaftseinheit. Dieser umfasst neben den direkten auch sogenannte indirekte Materialflüsse in Form von nicht-verwerteter inländischer Extraktion (z.B. Abraum beim Kohleabbau) sowie alle im Laufe des Lebenszyklus aufgewendeten Materialien, die zur Produktion importierter Güter erforderlich waren (Umweltbundesamt 2008). Entsprechend des Übergangs von DMI zu DMC ergibt sich der globale Materialverbrauch (TMC) aus dem globalen Materialaufwand (TMR) durch Abzug der Exporte, nun allerdings inklusive der indirekten Ressourcenaufwendungen. Der TMC umfasst damit den gesamten primären Materialverbrauch des Konsums der betrachteten Wirtschaftseinheit. Die unterschiedlichen Messkonzepte zeichnen sich dabei durch individuelle Vor- und Nachteile aus, die sich meist auf die unterschiedlichen Aggregationsgrade oder Betrachtungsebenen (z.B. input- oder verbrauchsorientiert) beziehen.⁶

Die zweite Größe, die für die Berechnung der Ressourcenproduktivität benötigt wird, ist die wirtschaftliche Leistung. Diese wird meist über ökonomische Kenngrößen aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung erfasst, wie beispielsweise das Bruttoinlands- oder Bruttosozialprodukt. Die Erfassung kann aber, je nachdem, welches Messkonzept verwendet wird, auch auf unterschiedlich aggregierten Ebenen erfolgen.

Die Bestimmung von Ressourcenproduktivitäten mithilfe der Materialflussrechnung ermöglicht, wie bereits angedeutet, einen integrierten Blick auf Ressourcenströme im betrachteten ökonomischen Raum (OECD 2008b). Die Darstellung der gewünschten Größen ist dabei flexibel auf die Bedürfnisse der Nutzer anpassbar und auch einem breiteren Publikum relativ leicht verständlich zu machen. Es ist möglich, auch Zwischengüter, die z.B. aus Knappheits- oder Umweltgründen wichtig sind, in verschiedenen Detailgraden zu erfassen. Dies trifft auch auf internationale Handelsströme zu, die von einem entsprechenden Index abgebildet werden können (vgl. die Carbon Leakage-Problematik in Kapitel 5). Zusätzlich folgt die Materialflussrechnung, die ein Teil der Umweltökonomischen Gesamtrechnung ist, dem gleichen strukturellen Aufbau wie die Volkswirtschaftliche

⁶ Vgl. zu den Vor- und Nachteilen der einzelnen Messkonzepte z.B. Bringezu, Schütz und Moll (2003); Bringezu, Schütz, Steger und Baudisch (2004); Umweltbundesamt (2008) oder OECD (2008a).

Gesamtrechnung, was den Vergleich der Stoffgrößen und der ökonomischen Größen stark vereinfacht. Durch die Verwendung einheitlicher Konzepte und Klassifikationen können die verschiedenen Produktivitätsindizes parallel verwendet werden.

Allerdings muss auch auf die Grenzen der Interpretierbarkeit der Ressourcenproduktivität als Indikator für die Nachhaltigkeit einer Volkswirtschaft hingewiesen werden. So stellt die Ressourcenproduktivität zu einem speziellen Zeitpunkt lediglich eine Momentaufnahme dar, aus der keine Aussage über die Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen Wachstum und Ressourceneinsatz abgeleitet werden kann. Zu diesem Zweck muss die Entwicklung der Ressourcenproduktivität über die Zeit betrachtet werden. Zusätzlich kann es sinnvoll sein, zur Bewertung der Entwicklung Referenzwerte festzulegen (vgl. OECD 2008a). Beispiele sind dafür die Festlegung qualitativer oder quantitativer Ziele, wie sie beispielsweise in der Nachhaltigkeitsstrategie (vgl. Bundesregierung 2002) festgehalten sind, wodurch über die Entfernung vom Referenzpunkt oder -ziel die erreichte Position verständlich wird.

Wie die meisten Indikatoren weist die Ressourcenproduktivität darüber hinaus verschiedene methodische Mängel auf (vgl. hierzu auch OECD 2008b). So ändert sich die Aussagekraft bezüglich Umweltwirkungen, Nachfrage oder Handel stark in Abhängigkeit des gewählten Aggregationsgrades und der betrachteten Messgröße, da beispielsweise nicht jeder Indikator den ausländischen Input an Ressourcen in gleichem Maße erfasst. Darüber hinaus sagt die Darstellung des Ressourceneinsatzes in Mengeneinheiten nichts über den Knappheitsgrad bzw. über den damit verbundenen Wert einer Ressource aus. Gerade im Falle der aggregierten Erfassung von verschiedenen Materialien gehen somit wertvolle Informationen verloren. Eine sorgfältige Erläuterung sowie eine vorsichtige Interpretation der Ergebnisse sind daher unerlässlich.

4.1.2 Wichtige Determinanten der Ressourcenproduktivität

Für die Höhe und vor allem die Entwicklung der Ressourcenproduktivität spielen insbesondere Preise, Regulierung und der internationale Handel eine wichtige Rolle. Steigende Ressourcenpreise können beispielsweise Substitutionsmaßnahmen und Investitionen in die Entwicklung ressourcenextensiver Technologien auslösen. Es existieren in der Regel allerdings auch Potenziale zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität aus der verstärkten Nutzung bereits bestehender ressourcenextensiver Technologien.

Hinsichtlich der Ressourcenpreise müssen verschiedene Ursachen für deren Anstieg unterschieden werden. Im Fall eines Preisanstiegs auf den Weltmärkten (z.B. aufgrund steigender Knappheit), der alle Volkswirtschaften gleichermaßen trifft, wird die relative Wettbewerbsposition der Länder nicht beeinflusst. Resultieren steigende Preise allerdings aus lokalen oder regionalen Regulierungsmaßnahmen, können Struktureffekte über die Auslagerung ressourcenintensiver Aktivitäten ins Ausland ausgelöst werden. Die damit einhergehenden Änderungen der internationalen Handelsströme erhöhen tendenziell die Ressourcenproduktivität der Produktion des auslagernden Landes, da ressourcenintensive Güter – d.h. Güter mit geringer Ressourcenproduktivität – verstärkt importiert werden.

Maßnahmen zur Steigerung der Ressourcenproduktivität können unterschiedlichste Formen annehmen, wie Rohn et al. (2009) für das Beispiel von Unternehmen gezeigt haben. Je nach Technologie, Branche, Produkt oder Produktionsstufe können die verschiedenen Maßnahmen dabei unterschiedliche Bedeutung aufweisen. Wichtige Strategien sind, neben der bereits genannten Werkstoffsubstitution, die Lebensdauer- bzw. Nutzungsverlängerung der eingesetzten Ressourcen, Anpassungen von Produktgestaltung und Produktdesign oder die Optimierung von Produktlebenszyklen, beispielsweise durch Ausschussreduktionen oder das Recycling von Werkstoffen.

4.1.3 Entwicklung der Ressourcenproduktivität

Bevor im Folgenden genauer auf die Rolle des Recycling für die Ressourcenproduktivität und den Zusammenhang von Ressourcenproduktivität und Wachstum eingegangen wird, soll zunächst ein Blick auf die in den letz-

ten Jahrzehnten zu beobachtende Entwicklung der Ressourcenproduktivität in ausgewählten Wirtschaftsbereichen geworfen werden. Neben nationalen werden auch sektorale und stoffspezifische Indikatoren betrachtet.

Gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Um die Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum voranzubringen, wurde in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2002 das Ziel festgeschrieben, die Rohstoffproduktivität im Zeitraum von 1994 bis 2020 zu verdoppeln. Die Rohstoffproduktivität wird dabei als Bruttoinlandsprodukt im Verhältnis zur eingesetzten Menge an abiotischem Primärmaterial, das aus dem Inland stammt oder importiert wurde, interpretiert. Die Messmethode kann damit dem Konzept des direkten Materialeinsatzes (DMI) zugerechnet werden (vgl. Tabelle 4.1). Unter abiotischem Primärmaterial werden „Rohstoffe, ohne land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse wie Biomasse“ inklusive der Halb- und Fertigwaren verstanden (vgl. z.B. Statistisches Bundesamt 2010 oder Bundesregierung 2002).

Abbildung 4.1 zeigt die Entwicklung der Rohstoffproduktivität in Deutschland im Zeitraum von 1994 bis 2009. Dabei wurde eine Normierung der Rohstoffproduktivität für das Jahr 1994 auf 100 vorgenommen. Es wird ersichtlich, dass der Einsatz an Ressourcen pro Einheit produziertes BIP abgenommen hat, bzw. dass die Rohstoffproduktivität bis 2009 um knapp 50% gesteigert werden konnte. Damit ist die Steigerung allerdings geringer als im linearen Trend für eine Steigerung um 100% von 1994 bis 2020 notwendig wäre. Zudem ist die positive Entwicklung laut Umweltbundesamt (2009) unter anderem auf den strukturellen „Wandel hin zu weniger rohstoffintensiven Branchen [...] zurückzuführen, nicht aber auf einen im Durchschnitt sparsameren Einsatz der Rohstoffe: Die weniger materialintensiven Branchen (insbesondere Dienstleistungsbereiche) sind gewachsen, während Branchen mit hohem Materialverbrauch [...] eher geschrumpft sind.“

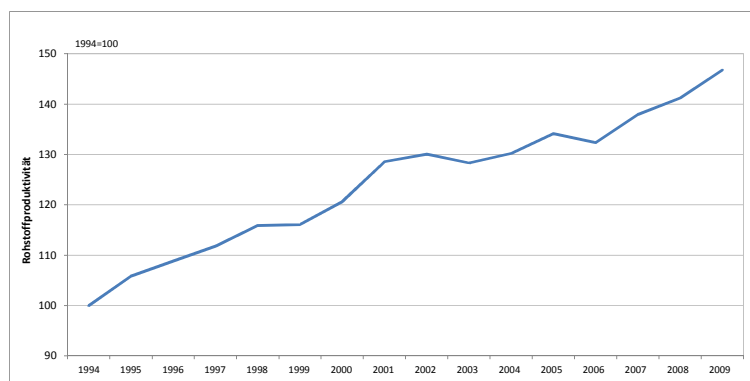


Abbildung 4.1: Entwicklung der Rohstoffproduktivität in Deutschland 1994 bis 2009. Quelle: Umweltbundesamt (2011).

Internationaler Vergleich

Zwei Gründe sprechen besonders für einen internationalen Vergleich der Entwicklung nationaler Ressourcenproduktivitäten. Zum einen lassen sich, bei möglichst homogenen Ländern, die Anstrengungen des eigenen Landes zur Verbesserung der Ressourcenproduktivität anhand der Entwicklungen in den anderen Ländern besser beurteilen. Zum anderen können aber auch Effekte der Reduzierung von Handelsbarrieren oder auch Auslagerungseffekte abgebildet werden, vgl. dazu Kapitel 2 oder Abschnitt 4.3.1. Verschiedene Faktoren wie komparative Vor- oder Nachteile der jeweiligen Länder wirken sich über die in Kapitel 2 dargelegten Kanäle sowohl negativ als auch positiv auf die Entwicklung der Ressourcenproduktivität aus (vgl. hierzu besonders Antweiler, Copeland und Taylor 2001).

Abbildung 4.2 zeigt die Ressourcenproduktivität als den Materialverbrauch (als DMC) pro Einheit BIP in ausgewählten OECD-Ländern über den Zeitraum der Jahre 1980 bis 2005. Es wird sofort ersichtlich, dass alle betrachteten Länder sowie der OECD-Durchschnitt ihre Ressourcenproduktivitäten über den betrachteten Zeitraum steigern konnten.

Aus der Abbildung geht hervor, dass Deutschland im Vergleich zu den dargestellten Ländern keine besonders hohe Ressourcenproduktivität aufweist und sich erst seit Mitte der 1990er Jahre vom OECD-Durchschnitt absetzen kann. Die schwächere Leistung Deutschlands im Vergleich zu ähnlich entwickelten Ländern lässt sich teilweise durch den bis heute relativ großen Anteil des Industriesektors an der Wertschöpfung erklären.

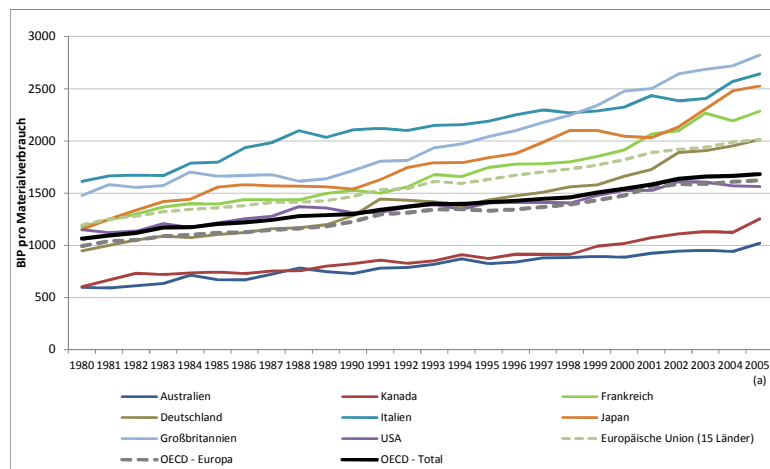


Abbildung 4.2: Ressourcenproduktivität im internationalen Vergleich 1980 bis 2005. Inländischer Materialverbrauch pro Einheit BIP (in 2005-Werten, kaufkraftbereinigt), (a): geschätzte Werte. Quellen: OECD PILOT MF dataset (2011), OECD Factbook (2010).

Sektorale Entwicklung

In Abbildung 4.3 werden die sektoralen Ressourcenintensitäten (also die Kehrwerte der Ressourcenproduktivität) in Deutschland für das Jahr 2004 gegenübergestellt. Der Materialeinsatz wird hierbei als direkter Materialeinsatz erfasst und der sektoralen Wertschöpfung gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass sich die unterschiedlichen Sektoren stark hinsichtlich ihrer Ressourcenintensität unterscheiden.

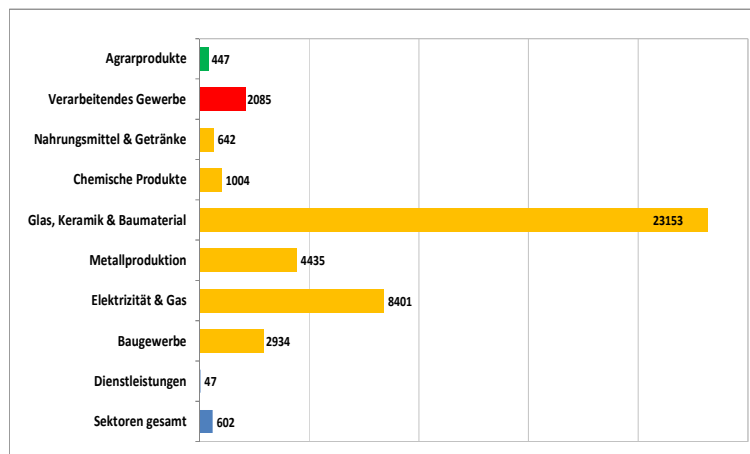


Abbildung 4.3: Materialintensität nach Sektoren in Deutschland 2004. Kg Materialeinsatz (DMI) je 1000 EUR Bruttowertschöpfung (zu jeweiligen Preisen). Quellen: OECD (2008).

Produktivität fossiler Energieträger

Eine besondere Bedeutung unter den Ressourcen kommt den fossilen Rohstoffen zu, vor allem den fossilen Energieträgern. Zum einen tragen die bei ihrer Verbrennung entstehenden Treibhausgase entscheidend zur Klimaproblematik bei, wie noch in Kapitel 5 erläutert wird. Aber zum anderen trifft auch die Knappheitsproblematik mit all ihren genannten Aspekten besonders auf diese erschöpfbaren Rohstoffe zu.

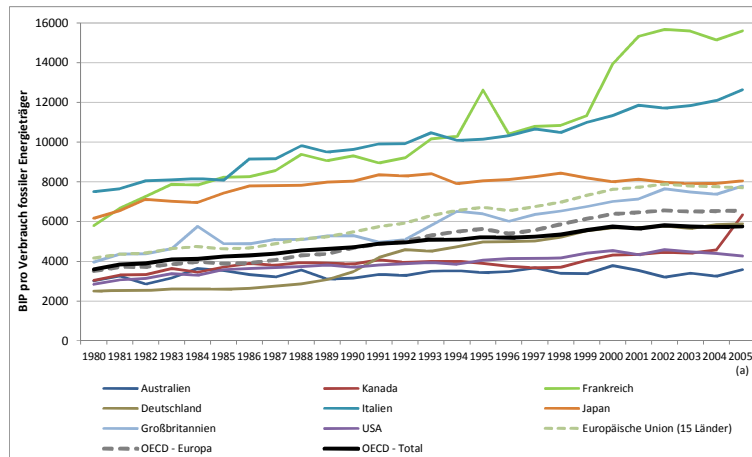


Abbildung 4.4: Produktivität fossiler Energieträger im internationalen Vergleich 1980 bis 2009. Inländischer Verbrauch fossiler Rohstoffe pro BIP (in 2005-Werten, kaufkraftbereinigt), (a): geschätzte Werte. Quellen: OECD Pilot MF dataset, OECD Factbook 2010.

Abbildung 4.4 zeigt den inländischen Verbrauch fossiler Rohstoffe (Domestic Fossil Fuel Consumption) pro Einheit BIP für verschiedene Länder. Die Produktivität der fossilen Rohstoffe ist in allen betrachteten Ländern – zum Teil sehr deutlich – gestiegen und hat sich beispielsweise in Deutschland seit Anfang der 1990er Jahre fast verdoppelt.

4.2 Recycling und Ressourcen

Weltweit werden heute jährlich rund 60 Milliarden Tonnen an Rohstoffen verbraucht, und somit 50% mehr als noch vor 30 Jahren. Bei einer Fortsetzung des aktuellen Trends ist innerhalb der nächsten zwanzig Jahre eine Vervielfachung des globalen Ressourcenverbrauchs zu erwarten. Angesichts des weltweit rapide steigenden Ressourcenverbrauchs und zunehmender Knappheit von Primärrohstoffen wächst der Handlungsdruck, die Ressourcenproduktivität weiter zu steigern. Das Recycling, also Verwertungsverfahren, durch die Abfälle so aufbereitet werden, dass sie in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können, ist inzwischen eine der Kernstrategien zur Ressourcenproduktivitätssteigerung.

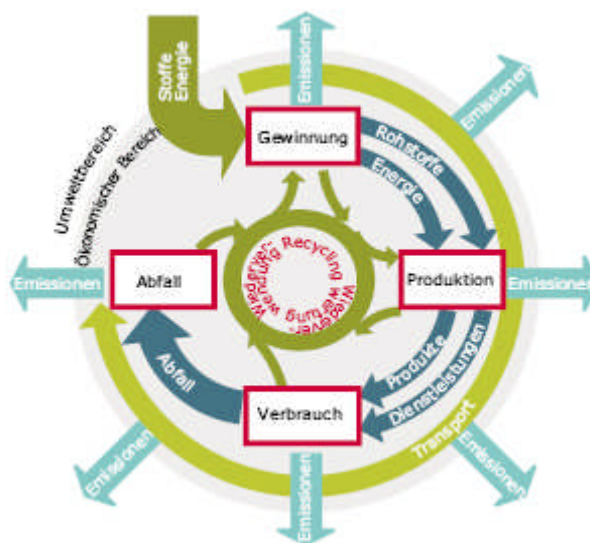


Abbildung 4.5: Lebenszykluskette: Rohstoffgewinnung – Produktion – Verbrauch – Abfall – Recycling. Quelle: EEA (2010).

Den durch Recycling gewinnbaren Sekundärrohstoffen haftete lange ein negatives Image an, das häufig auf niedrige Qualität und schwankende Verfügbarkeit zurückgeführt wurde. Zwar besteht grundsätzlich das Problem des sog. Downrecycling, also der abnehmenden Qualität eines Rohstoffes durch Recycling. Beim Recycling von Papier beispielsweise werden die Papierfasern zunehmend kürzer, weshalb immer frisches Holzmaterial hinzugefügt werden muss. Jedoch konnten diese Probleme dank technischen Fortschritts in vielen Bereichen überwunden werden, so dass inzwischen recycelte Metalle an Rohstoffbörsen teilweise sogar höhere Preise erzielen, als der entsprechende Primärrohstoff.

Bevor im Folgenden auf wesentliche Trends im Bereich Recycling in Deutschland eingegangen wird, erfolgt zunächst ein kurzer historischer Rückblick auf die Evolution des regulativen Rahmens der Abfallpolitik in Deutschland. Erstmals Eingang in die Gesetzgebung fand der umweltbewusste Umgang mit Abfall in Deutschland im Jahr 1972 mit dem Abfallgesetz (AbfG), das die Abfallbeseitigung als neue öffentliche Aufgabe des Umweltschutzes definierte. Zentrale gesetzliche Grundlage für die Abfallbehandlung heute ist das 1996 in Kraft getretene Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG, http://www.gesetze-im-internet.de/krw-_abfg/), das eine sogenannte Abfallhierarchie definiert. Nach dieser soll Abfall in erster Linie vermieden, in Bereichen, in denen dies nicht möglich ist, möglichst weitgehend verwertet und nur als ultima ratio beseitigt werden. Spezielle gesetzliche Vorschriften existieren für bestimmte Stoffe bzw. Produkte, so beispielsweise für Altpapier, Altglas, Altöl, Verpackungen, Altfahrzeuge, Batterien und Elektro- und Elektronikgeräte.

Der Ressourcenverbrauch und das Abfallaufkommen weisen im europäischen Durchschnitt einen steigenden Trend auf. Die nationalen Unterschiede hinsichtlich beider Parameter sind jedoch erheblich, was sowohl durch unterschiedliche wirtschaftliche Entwicklung und Wirtschaftsstruktur als auch in ganz wesentlichem Maße auf unterschiedlich stark ausgeprägtes Umweltbewusstsein zurückzuführen ist. Deutschland findet sich sowohl im europäischen als auch im weltweiten Vergleich mit an der Spitze, was Fortschritte bei der Ressourcenproduktivitätssteigerung und Recyclingquoten betrifft. Folgende Zahlen sprechen für sich: Obwohl das BIP in Deutschland im Zeitraum zwischen 2000 und 2008 preisbereinigt um 10% anstieg, sank die Rohstoffentnahme und das Abfallaufkommen im selben Zeitraum um 15%.⁷ Es fand eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Abfallerzeugung statt.

Die Kreislauf- und Abfallwirtschaft in Deutschland hat in den vergangenen 30 Jahren einen Wandel hin zu einem hoch technisierten Wirtschaftssektor mit über 250.000 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von 50 Mrd. € vollzogen, der inzwischen einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Ressourcenproduktivität leistet. Ein erheblicher Teil der Abfälle, die früher einfach entsorgt wurden, kann inzwischen wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden (BMU 2011). Aktuellen Schätzungen zufolge, ist die deutsche Industrie bereits in der Lage, rund 13% der eingesetzten Primärrohstoffe durch Sekundärrohstoffe zu ersetzen (BMU 2011). Selbst in Europa ist Deutschland im Hinblick auf die Wiederverwertungsquoten führend (Abbildung 3). Insgesamt werden hierzulande zwei Drittel des Abfalls recycelt, während es in Großbritannien beispielsweise nur ein Drittel und in Polen nicht einmal 10% sind.

Inzwischen werden in Deutschland Siedlungsabfälle zu 75%, Gewerbeabfälle zu 82% wiederverwertet. Bei Verpackungen liegt die Wiederverwertungsquote bei rund 74%, einschließlich energetischer Verwertung bei rund 95%. Altglas wird zu 84% wiederverwertet und Altpapier zu 87%. Von den Bau- und Abbruchabfällen aus der Bauwirtschaft werden mittlerweile rund 90% verwertet, womit die von geltendem EU-Recht geforderte Quote von 70% deutlich übertroffen wird.⁸

An drei konkreten Beispielen – Altglas, Altpapier sowie Bau- sowie Abbruchabfälle – sei im Folgenden die langfristige Entwicklung der Recyclingquoten im internationalen Vergleich veranschaulicht. Abbildung 4.8 zeigt die Entwicklung der Recyclingquoten von Altpapier und Altglas in einer Reihe von OECD-Staaten im Zeitraum zwischen 1980 und 2000. Während in Deutschland in diesen 20 Jahren die Altpapierrecyclingquote auf über 70%

⁷ Der für die Produktion der Importe benötigte Rohstoffverbrauch ist hierbei nicht berücksichtigt.

⁸ Werte für das Jahr 2009, BMU (2011).

verdoppelt werden konnte, konnte der Recyclinganteil beispielsweise in den USA im selben Zeitraum nur auf 40% gesteigert werden. Auch beim Altglasrecycling ist Deutschland weltweit mit an der Spitze.

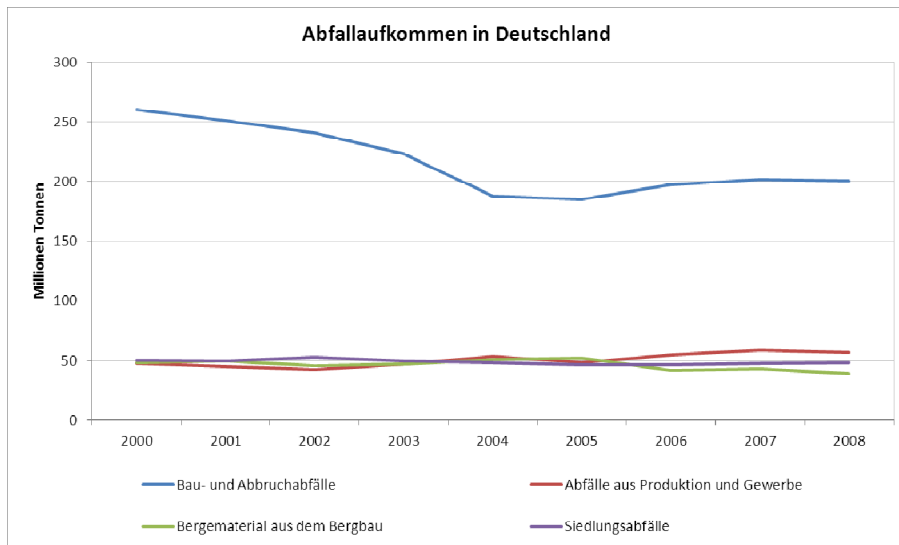


Abbildung 4.6: Abfallaufkommen in Deutschland, 2000–2008. Quelle: Bundesministerium für Umwelt (2011).

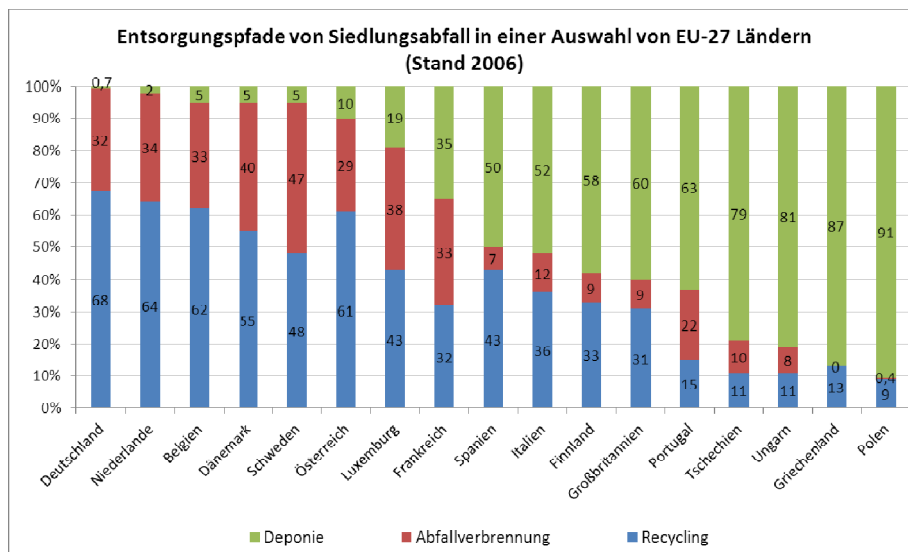


Abbildung 4.7: Entsorgungspfade von Siedlungsabfall in einer Auswahl von EU-27-Ländern; Stand 2006. Quelle: UBA (2011a).

Sehr deutlich fallen auch die Unterschiede bei der Wiederverwertung von Bau- und Abbruchabfällen, die traditionell einen Löwenanteil am Abfallaufkommen ausmachen, aus. In Tabelle 4.2 sind hierzu die Wiederverwertungsquoten in einer Reihe von EU-Ländern aus einem aktuellen Bericht der Europäischen Kommission zusammengefasst. Die Daten stammen zwar aus unterschiedlichen Jahren und sind somit nur bedingt unmittelbar vergleichbar. Dennoch sind die Niveauunterschiede der Recyclingquoten beachtlich: Während in den Niederlanden, Dänemark und Deutschland 89% und mehr der Bau- und Abbruchabfälle in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden, liegt der entsprechende Wert beispielsweise für Frankreich bei 25% und für Griechenland oder Portugal gar nur im einstelligen Bereich.

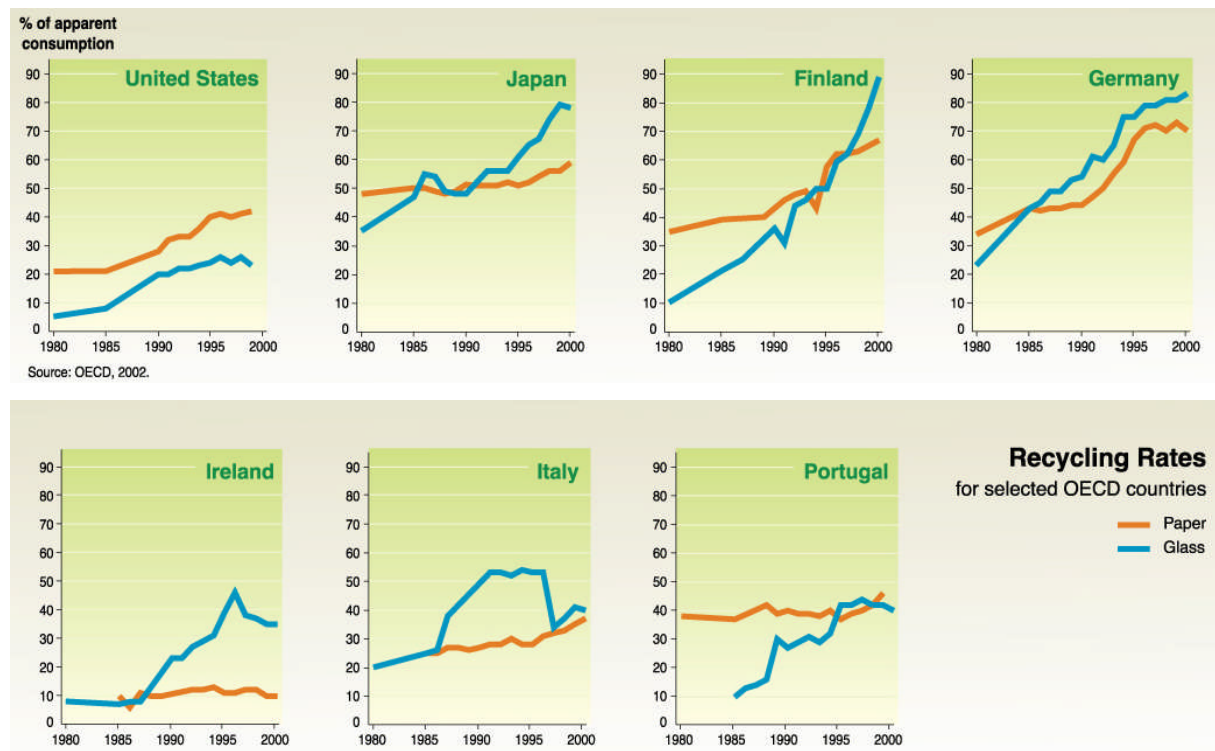


Abbildung 4.8: Internationaler Vergleich von Recyclinganstrengungen am Beispiel von Glas und Altpapier. Quelle: OECD (2011b).

Land	Jahr	% wiederverwertet oder recycelt
Niederlande	2005	95%
Dänemark	2003	93%
Deutschland	2009	89%
Österreich	2004	76%
Polen	2000	75%
Finnland	2004	54%
Irland	2005	43%
Tschechische Republik	2006	30%
Frankreich	2004	25%
Griechenland	1999	5%
Portugal	1999	5%

Tabelle 4.2: Wiederverwertung von Bau- und Abbruchabfällen im europäischen Vergleich. Quelle: European Commission (DG ENV) (2011).

Gegeben, dass die Abfallmengen global künftig eher nicht sinken, sondern zunehmen dürften, wird einem möglichst effektiven Recycling eine immer größere Rolle zukommen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft wird das Ausmaß sein, in dem es gelingen wird, alle Stufen des Produktlebenszyklus – also auch Produktion und Konsum – einzubeziehen. Das bedeutet, dass vom Zeitpunkt der Gewinnung der Rohstoffe an nicht nur der Nutzen des Hauptproduktes und der damit verbundene erste Lebenszyklus, sondern weitere Nutzungszyklen im Blick behalten werden müssen. „Die Optimierung mit Blick über das erste Hauptprodukt hinaus kann im Einzelfall jedoch auch bedeuten, dass die Erstanwendung weniger effizient ist. ... Das sorgt für einen grundsätzlichen Konflikt: Es könnten so Produkte entstehen, die in einigen Eigenschaften schlechter sind als sie sein könnten, damit hochwertigere nachfolgende Produkte entstehen können.“ Hier

geeignete „Kaskadennutzungsstrategien zu entwickeln, wäre für die Ressourceneffizienz von hoher Bedeutung“ (Kristof et al. 2008, S. 35).

4.3 Wachstum und Ressourcenverbrauch

Es stellt sich die Frage, ob eine absolute Entkopplung von langfristigem Wachstum und Ressourcenverbrauch möglich ist, d.h. ob die durch das Wirtschaftswachstum ausgelösten Skaleneffekte, die den Verbrauch von Ressourcen zunächst steigern, durch eine von Technologie- und Struktureffekten induzierte Reduktion der Ressourcenproduktivität überkompensiert werden können. Anhand der folgenden Identität wird auf einfache Weise deutlich, dass ein konstanter oder sogar abnehmender Ressourcenverbrauch (R) bei wachsendem pro-Kopf-Einkommen (Y/N) und zumindest konstanter Bevölkerung (N) einen kontinuierlichen Rückgang der Ressourcenintensität (R/Y) voraussetzt.

R	=	(R/Y)	·	(Y/N)	·	(N)
R	=	Ressourcenintensität des Outputs · pro Kopf-Einkommen		·	Bevölkerung	
R	=	Ressourcenextraktion				
Y	=	Aggregiertes Einkommen				
N	=	Bevölkerung				

4.3.1 Entwicklung von Wachstum und Ressourcenverbrauch

Im Folgenden wird zunächst anhand verschiedener Zeitreihen für Deutschland und andere Volkswirtschaften überprüft, inwieweit in den letzten Jahrzehnten eine relative oder sogar absolute Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch zu beobachten gewesen ist.

Entwicklung von BIP und Materialverbrauch in Deutschland

Abbildung 4.9 zeigt die Entwicklung der Wirtschaftsleistung und des Verbrauchs verschiedener Rohstoffe in Deutschland im Zeitraum von 1980 bis 2005. Dabei ist das Jahr 1980 als Basisjahr auf 100 normiert. Während die Wirtschaftsleistung stetig zunahm, zeigt sich für die verschiedenen Rohstoffe zunächst ein uneinheitliches Bild. So wächst der Verbrauch von Industriematerialien in den 1980er Jahren sogar stärker als die Wirtschaftsleistung. Allerdings fällt bis zum Jahr 2005 der Verbrauch aller Rohstoffe unter den des Jahres 1980. Dieses Ergebnis wird durch die Betrachtung des gesamten Materialverbrauchs (TMC) bestätigt, dessen Einsatz bis 2005 um über 20% reduziert werden konnte. Im Durchschnitt hat über den gesamten Zeitraum hinweg also eine absolute Entkopplung stattgefunden.

Bei der Bewertung von Abbildung 4.9 muss allerdings bedacht werden, dass bei unveränderter Nachfragestruktur nach Gütern und Faktoren in Deutschland sinkender Materialverbrauch neben technologischem Fortschritt auch Verlagerungen ins Ausland widerspiegeln kann. Das Umweltbundesamt (2009) weist darauf hin, dass in den letzten zwei Jahrzehnten ein starker Anstieg der Materialimporte zu beobachten war, während inländisches Primärmaterial geschont wurde. So geben Kristof et al. (2008), aber auch das Umweltbundesamt (2009), zu bedenken, dass die positiven Ergebnisse in Deutschland vorwiegend auf den Strukturwandel zurückzuführen sind, aufgrund dessen sich die Produktivität in Deutschland zwar verbesserte, aber ökologische und soziale Probleme ins Ausland verlagert wurden.

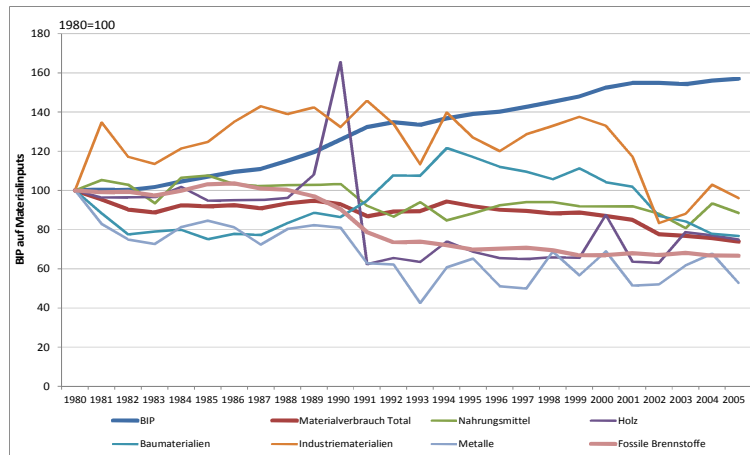


Abbildung 4.9: Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch in Deutschland. BIP und unterschiedlicher Materialverbrauch. Quellen: OECD Pilot MF dataset, OECD Factbook 2010, eigene Berechnungen.

Entwicklungen von BIP und Materialverbrauch in der OECD

In der nachfolgenden Abbildung 4.10 wird für den Zeitraum von 1980 bis 2005 der OECD-weite Materialverbrauch (DMC) dem entsprechen Wirtschaftswachstum gegenübergestellt. Wie bereits in Abbildung 4.9 ist auch hier das Jahr 1980 als Basisjahr auf 100 normiert. Auf dieser höheren Betrachtungsebene können in einem gewissen Umfang Auslagerungseffekte abgefangen werden, wie sie beispielsweise dem Strukturwandel geschuldet sind.

Im Gegensatz zur Abbildung 4.9 kann nun im Durchschnitt der OECD keine absolute, sondern nur eine relative Entkopplung zwischen Wachstum und gesamtem Materialverbrauch (TMC) festgestellt werden. Auch bei der Betrachtung einzelner Rohstoffe findet sich mit Ausnahme der Industriematerialien nur eine relative Entkopplung. Dies kann in einem gewissen Umfang auf die von Kristof et al. (2008) und dem Umweltbundesamt (2009) beschriebenen Effekte zurückgeführt werden.

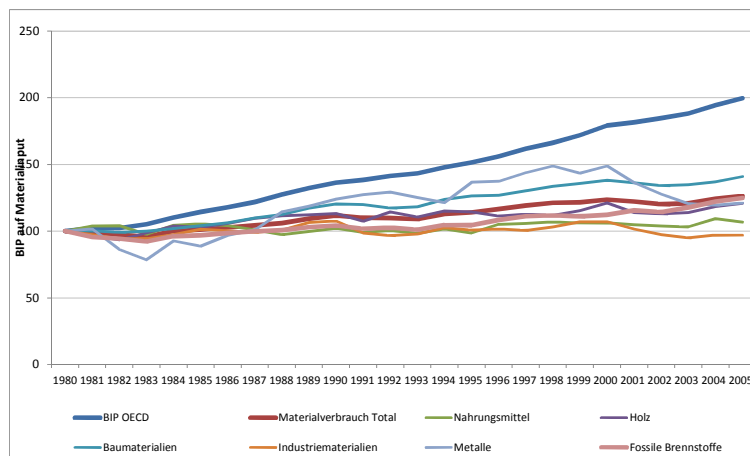


Abbildung 4.10: Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch in der OECD. BIP und unterschiedlicher Materialverbrauch im OECD-Durchschnitt. Quellen: OECD Pilot MF dataset (2011), OECD Factbook (2010), eigene Berechnungen.

Internationaler Vergleich

Die zwei nachfolgenden Abbildungen zeigen den Status der Entkopplung von Wachstum und Ressourcennutzung für die einzelnen OECD-Staaten. Betrachtet werden dafür zwei Zeiträume: 1990 bis 2000 und 2000 bis

2008. Es wird jeweils dargestellt, wie sich in den einzelnen Ländern der inländische Materialkonsum (DMC ohne energetische Ressourcen) im Vergleich zum Wirtschaftswachstum entwickelt hat.

Abbildung 4.11 stellt die Veränderung des inländischen Materialverbrauchs der Veränderung des Bruttoinlandsproduktes für den Zeitraum von 1990 bis 2000 gegenüber. Die meisten OECD-Länder befinden sich in einer Phase der relativen Entkopplung.⁹ In nur wenigen Ländern ist der Materialverbrauch stärker angestiegen als die Wirtschaftsleistung (keine Entkopplung) oder sogar zurückgegangen (absolute Entkopplung).

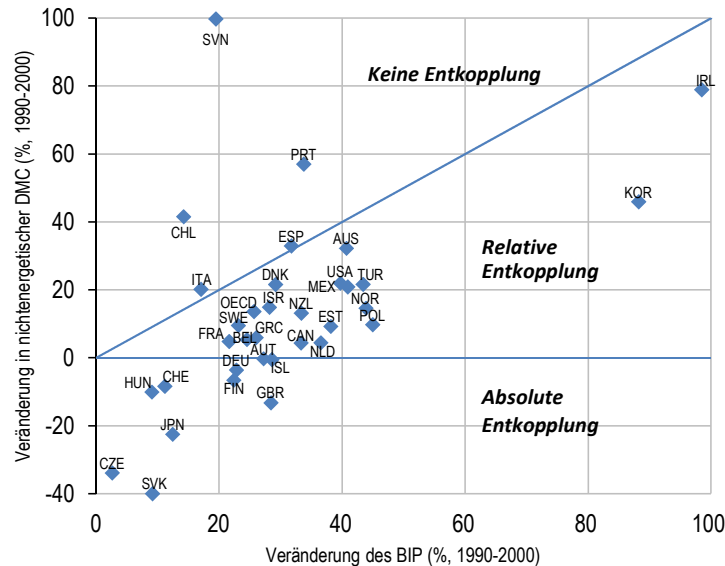


Abbildung 4.11: Nicht-energetischer Materialverbrauch versus BIP, OECD-Länder, 1990–2000. OECD-Durchschnitt ohne Luxemburg, Chile, Tschechien, Estland, Israel und Slowenien. Für Chile und Tschechien ist die erste Periode 1995 bis 2000, für Slowenien 1993 bis 2000. Quellen: OECD (2011a).

In Abbildung 4.12 wird, ebenso wie in Abbildung 4.11, die Veränderung des inländischen Materialverbrauchs (DMC ohne energetische Ressourcen) der Veränderung des Bruttoinlandsproduktes gegenübergestellt. Allerdings wird hier nun der Zeitraum von 2000 bis 2008 betrachtet. Es ist erkennbar, dass insgesamt der Grad der Entkopplung in der OECD zugenommen hat. Nicht nur im OECD-Durchschnitt hat nun eine absolute Entkopplung stattgefunden, auch in Deutschland kann in diesem Zeitraum von einer absoluten Entkopplung gesprochen werden. Diese in den meisten OECD-Ländern positive Entwicklung kann zum einen durch einen effizienteren Umgang mit den Ressourcen erklärt werden, der durch technologischen Fortschritt und verbesserte Substitutionsmöglichkeiten möglich wurde. Zum anderen aber hat innerhalb dieser Periode von fast 20 Jahren in den OECD-Ländern ein großer Strukturwandel stattgefunden. So hatte steigender Wohlstand in den OECD-Ländern Auslagerungseffekte von stark materialverbrauchender Produktion in Nicht-OECD-Ländern zur Folge.

⁹ Das Ergebnis für Deutschland im Vergleich zu Abbildung 4.9 lässt sich damit erklären, dass in der Darstellung energetische Materialien im Verbrauch nicht berücksichtigt wurden.

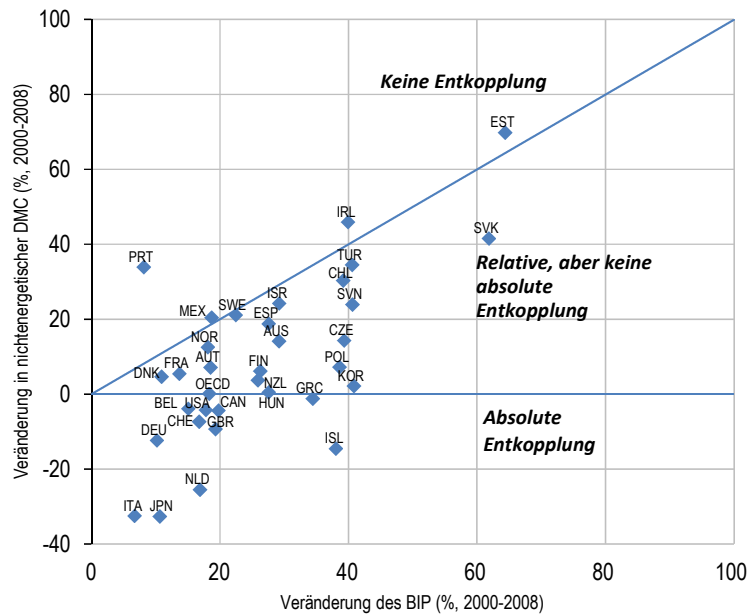


Abbildung 4.12: Nicht-energetischer Materialverbrauch versus BIP, OECD-Länder, 2000–2008. OECD-Durchschnitt ohne Luxemburg. Quelle: OECD (2011a).

Globaler Ressourcenverbrauch

Abbildung 4.13 zeigt den weltweiten Materialverbrauch (*Global Material Consumption*) für den Zeitraum von 1900 bis 2009. Diesem wird die Entwicklung des Bruttoweltprodukts (globales BIP) gegenübergestellt. Alle Werte sind für das Jahr 1900 auf 100 normiert.

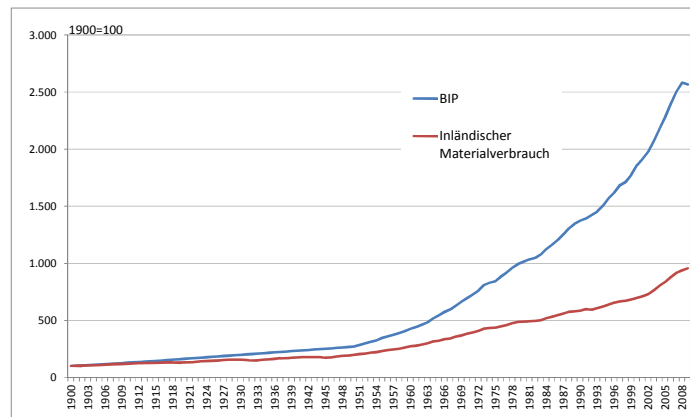


Abbildung 4.13: Entwicklung des weltweiten Materialaufwands und des Bruttoweltprodukts, 1900–2009. Quelle: Krausmann et al. (2009, update 2011).

Innerhalb des dargestellten Zeitraums hat sich der weltweite Materialaufwand verachtfacht, wobei sich der Verbrauch der einzelnen Materialien sehr unterschiedlich entwickelt hat. So hat beispielsweise der Verbrauch von Baustoffen um den Faktor 34 zugenommen, während sich der von Biomasse nur etwas mehr als verdreifachte (vgl. hierzu UNEP 2011).

Abschließend lässt sich festhalten, dass in den letzten Jahren zwar in den meisten hochentwickelten Ländern eine absolute Entkopplung zwischen Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch festzustellen war, die globale Entwicklung diesem Trend allerdings noch nicht folgt. Es stellt sich die Frage, ob eine globale Entkopplung auch langfristig möglich sein wird. Zu diesem Zweck wird im folgenden Abschnitt ein Blick auf die Triebkräfte einer möglichen Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch geworfen.

4.3.2 *Triebkräfte der Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch*

Wie in Abschnitt 4.1.2 dargelegt, stellen Änderungen von Preisen, Regulierung und internationaler Handel wichtige Determinanten der Ressourcenproduktivität einer Volkswirtschaft dar. Sie lösen Struktur- und Technologieeffekte aus, welche die Ressourcenintensität reduzieren können. Inwieweit Regulierung und Preise zu einer Erhöhung der Ressourcenproduktivität führen, hängt jedoch in entscheidendem Maße von dem Grad möglicher Produktivitätssteigerungen sowie den Grenzen der Substituierbarkeit zwischen natürlichen Ressourcen und menschengemachtem Kapital ab. Empirisch sind diese Potenziale nur schwer abschätzbar, da die Frage nach den Grenzen technologischen Fortschritts aus heutiger Sicht kaum zu beantworten ist. Aus diesem Grund wird die Problematik im Folgenden kurz aus Sicht der theoretischen wirtschaftswissenschaftlichen Forschung betrachtet.

Die Auswirkungen von Ressourcenknappheit auf Wachstum werden bereits seit den 1970er Jahren in der wachstumstheoretischen Forschung diskutiert. Bereits damals wurde der technologische Fortschritt als entscheidende Voraussetzung für langfristiges Wachstum identifiziert, wobei dessen Triebkräfte allerdings nicht näher beleuchtet wurden.¹⁰ Erst seit den 1990er Jahren werden im Rahmen der neueren Wachstumstheorie explizit die Rückwirkungen von Preisen, Regulierung und Handel auf den technologischen Fortschritt und die sektorale Komposition von Volkswirtschaften berücksichtigt.¹¹ So können beispielsweise die Implikationen verschiedener Regulierungsmaßnahmen auf die Höhe der Investitionen in Forschung und Entwicklung ebenso wie die Richtung der technologischen Entwicklung bei unterschiedlicher Ressourcenintensität verschiedener volkswirtschaftlicher Sektoren analysiert werden. Die wachstumstheoretische Literatur kommt dabei in der Regel zum Ergebnis, dass langfristiges Wachstum möglich ist. Der relative Anstieg der Ressourcenpreise im Vergleich zu anderen Produktionsfaktoren induziert Anreize, in Ressourceneffizienzsteigerungen zu investieren und so die zunehmende Knappheit an Ressourcen zu kompensieren. Auch können Ressourcen langfristig durch Kapital substituiert werden und der Struktureffekt ermöglicht den Ausbau ressourcenarmer Sektoren.

Wichtig ist es in diesem Zusammenhang, zwischen kurzfristigen Wirkungen steigender Ressourcenpreise und langfristigen Effekten zu unterscheiden. So wird häufig argumentiert, dass die Ölkrisen in den 1970er und 1980er Jahren gezeigt haben, dass ein negativer Zusammenhang zwischen Ressourcenpreisen – in diesem Fall den Preisen für fossile Energieträger – und Wirtschaftswachstum besteht. Während die kurzfristige Substitution von fossilen Energieträgern allerdings beschränkt möglich ist, führen steigende Ressourcenpreise, wie bereits beschrieben, zu Anpassungen von Strukturen und Technologien, welche das langfristige Substitutionspotenzial erhöhen. Diese Mechanismen werden nach Bretschger (2008) in der langen Frist meist unterschätzt und damit die negativen Auswirkungen auf das Wachstum überschätzt. So können steigende Ressourcenpreise zwar deren Nachfrage einschränken, was gerade in der kurzen Frist negative Wachstumseffekte auslösen kann, aber auch Anreize induzieren, Ressourcen zu schonen und gleichzeitig die Anpassung an deren zunehmende Knappheit voranzutreiben.

Über das Ausmaß der Anpassungsmöglichkeiten und damit über die Frage, ob eine Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch möglich ist, gibt es allerdings verschiedene Ansichten. Bretschger (2008) argumentiert, dass durch steigende Knappheitspreise eine Entkopplung gelingen kann. Eine pessimistischere Sichtweise vertreten dagegen Meadows et al. (1972) (vgl. Kapitel 1) und andere Autoren, die bezweifeln, dass eine kontinuierliche Erhöhung der Ressourcenproduktivität möglich ist (z.B. Daly 1994, 1995; Georgescu-Roegen 1973, 1979, 1986).¹² In diesem Zusammenhang ist die Aussage von Daly und Farley (2004) zu sehen: „...it is impossible to make something from nothing, and nothing from something“.

Verschiedene empirische Studien, die sich mit Ressourcenpreisen und Wirtschaftswachstum auseinandergesetzt haben, zeigen, dass – wie zu erwarten – die Nachfrage nach den entsprechenden Ressourcen mit steigen-

¹⁰ Vgl. zum Einsatz erschöpfbarer Ressourcen in neoklassischen Wachstumsmodellen beispielsweise Dasgupta und Heal (1974), Solow (1974), Stiglitz (1974) und Garg und Sweeney (1978).

¹¹ Vgl. zum Einsatz erschöpfbarer Ressourcen in der neueren Wachstumstheorie beispielsweise Barbier (1999), Aghion und Howitt (1998), Scholz und Ziemes (1999), Schou (1996) und Grimaud und Rougé (2003).

¹² Eine Darstellung der Diskussion und der unterschiedlichen Argumente findet sich zum Beispiel bei Keil (2010). Mehr zu der wissenschaftlichen Diskussion findet sich bei Daly (1997), Solow (1997) und Stiglitz (1997).

den Preisen abnimmt (Bretschger 2007). Die Evidenz bzgl. der langfristigen Wachstumseffekte ist hingegen ambivalent. Während Soytas und Sari (2003) einen negativen Zusammenhang finden, zeigt Bretschger (2007), wie auch andere jüngere Studien, dass steigende Energiepreise langfristig der wirtschaftlichen Entwicklung zumindest nicht schaden.

5. Umweltintensität und Wachstum

Die Natur stellt für den Wirtschaftsprozess zumindest bislang notwendige, aber in vielen Fällen nur begrenzt verfügbare Rohstoffe bereit, deren Bedeutung für die Möglichkeiten, langfristiges Wachstum aufrecht zu erhalten, im vorangegangenen Kapitel diskutiert wurden. Ein Großteil der verschiedenen wirtschaftlichen Aktivitäten vom Angebot der Inputfaktoren über die Produktion bis hin zum Konsum, die zu positivem Wachstum beitragen, wirkt jedoch zugleich auf die Umwelt zurück: Landflächen werden beim Abbau natürlicher Ressourcen, bei landwirtschaftlicher Nutzung oder für den Wohnungsbau und die Errichtung von Infrastruktur verändert, Schadstoffe werden freigesetzt und Abfälle produziert. Die Vereinten Nationen unterscheiden sechs verschiedene Kategorien von schädigenden Einflüssen auf die Umwelt: Versauerung, Klimawandel und Erderwärmung, Ökotoxizität, Humantoxizität, Entrophierung/Nährstoffanreicherung, fotochemische Ozonbildung (UNEP 2011). All diese Einflüsse wirtschaftlicher Aktivitäten auf die Umwelt stören die Gleichgewichte der verschiedenen ökologischen Systeme und verursachen zum Teil irreversible Schäden. Ebenso wie die beschränkte Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen müssen daher die Auswirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten auf die Natur und die nur begrenzten natürlichen Kapazitäten zur Regeneration als zusätzliche knappe Faktoren in der Beurteilung langfristiger Entwicklungspotentiale berücksichtigt werden (Brock und Taylor 2005, oder Copeland und Taylor 2004). Im Unterschied zur Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen als Produktionsfaktoren ist allerdings zu beachten, dass die Rückwirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten auf die Natur Beeinträchtigungen sowohl im Wirtschaftsprozess selbst als auch hinsichtlich der Bedeutung der Natur für die allgemeine Lebensqualität des Menschen hervorrufen. Wenn wirtschaftliches Wachstum langfristig tatsächlich zu einer Steigerung der Wohlfahrt für eine noch wachsende Weltbevölkerung beitragen soll, ist entsprechend nicht nur eine Entkopplung des Wachstums vom Verbrauch erschöpfbarer natürlicher Ressourcen, sondern auch die Entkopplung von schädigenden Einflüssen auf die Umwelt erforderlich (UNEP 2011).

5.1 Umweltintensität

5.1.1 Grundlegende Problematik

Ökonomisch kann die Natur in einer umfassenden Sichtweise als zusätzlicher Kapitalstock betrachtet werden, der für die menschliche Wohlfahrt zum einen auf Konsum- wie auf Produktionsseite zentrale Funktionen und Faktoren bereitstellt und der zum anderen die Funktion eines Auffangbeckens für Schadstoffe und Abfälle übernimmt (OECD 2011a).

Öffentliche vs. Private Güter: Marktversagen

Allerdings besteht aus ökonomischer Sicht zwischen der Bereitstellung von Ressourcen als Inputfaktoren im Wirtschaftsprozess und den meisten übrigen Leistungen und Funktionen dieses natürlichen Kapitalstocks ein grundlegender Unterschied. Natürliche Rohstoffe, wie sie in Kapitel 4 betrachtet wurden, sind in den meisten Fällen unter die Kategorie sog. privater Güter einzuordnen, für die eindeutige Eigentumsrechte definiert werden können. Die grundlegende Voraussetzung für die Entstehung und Effizienz von Märkten ist damit erfüllt, so dass sich aus dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage grundsätzlich Preise ergeben können, die ihre ökonomische Knappheit der Rohstoffe widerspiegeln.

Die übrigen Funktionen und Leistungen des natürlichen Kapitalstocks für die wirtschaftliche Entwicklung und die Lebensqualität des Menschen tragen dagegen vielfach die Merkmale öffentlicher Güter, für die eine Definition von Eigentumsrechten grundsätzlich ausgeschlossen ist. Zugleich stellen die negativen Rückwirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten auf die Umweltqualität großenteils (negative) externe Effekte dar. Aufgrund der fehlenden Eigentumsrechte können sich deshalb auf vollkommen freien Märkten in der Regel weder für die Umweltqualität an sich noch für die natürlichen Regenerationskapazitäten Preise bilden, die den Wert der Umwelt und die Knappheit der Regenerationskapazitäten anzeigen würden. Es kommt aus ökonomischer Sicht zu Marktversagen, welches sich in einer ineffizient hohen Beanspruchung der Umwelt durch Freisetzung von Schadstoffen, Ablagerung von Abfällen, Zerstörung von Landschaften für den Abbau natürlicher Rohstoffe oder

sonstigen negativen Umwelteinflüssen widerspiegelt. Dieses Marktversagen rechtfertigt aus ökonomischer Sicht Eingriffe von Seiten einer den freien Märkten übergeordneten Institution wie dem Staat, um diese Defizite der marktwirtschaftlichen Allokation zu korrigieren.

Eine besondere Form des Marktversagens auf globaler Ebene stellt die Klimaproblematik dar. Zu dem Spannungsfeld zwischen lokaler Freisetzung/Verursachung und globaler Auswirkung treten in diesem Fall intergenerationelle Verteilungskonflikte hinzu, da Schadenswirkungen zum Teil erst mit deutlicher zeitlicher Verzögerung eintreten. Die folgende Darstellung des Zusammenhangs zwischen Wachstum und Umwelt konzentriert sich in der Hauptsache auf dieses größte Marktversagen aller Zeiten (Stern 2006b). Einen weiter gefassten Überblick über die sonstigen Umwelteinflüsse von wirtschaftlichem Wachstum bietet etwa ein Bericht der OECD zu Indikatoren für umweltfreundliche Wachstumsprozesse („green growth indicators“), der als weitere Indikatoren neben den Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen auch die Verfügbarkeit von erneuerbaren und erschöpfbaren natürlichen Ressourcen sowie die biologische Artenvielfalt und die Stabilität ökologischer Systeme umfasst (OECD 2011a).

Bei kaum einer anderen Art von Umweltverschmutzung ist die Tragweite für zukünftiges Wachstum und langfristigen Wohlstand so offensichtlich wie bei der Freisetzung von Treibhausgasen, die der Klimaproblematik aus naturwissenschaftlicher Sicht zugrunde liegt. Gleichzeitig ist jedoch der gesamte Wirtschaftsprozess seit Beginn der Industrialisierung in höchstem Maße mit der Nutzung fossiler Energieträger bzw. allgemein kohlenstoffhaltiger Rohstoffe und damit der Emission von Treibhausgasen verknüpft (vgl. auch Kapitel 4).

Parallel zur globalen wirtschaftlichen Entwicklung war in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts ein deutlicher Anstieg der jährlichen Treibhausgasemissionen zu beobachten. Einer besonderen Bedeutung kommt dabei dem Treibhausgas CO₂ zu, das den größten Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen einnimmt und als treibende Größe hinter dem globalen Emissionstrend steht. Die übrigen Treibhausgase wie etwa Methan (CH₄) wirken teilweise zwar stärker, aber meist doch wesentlich kurzfristiger als CO₂, das nach seiner Freisetzung zu großen Teilen nahezu dauerhaft in der Atmosphäre verbleibt (vgl. etwa Sinn 2008).

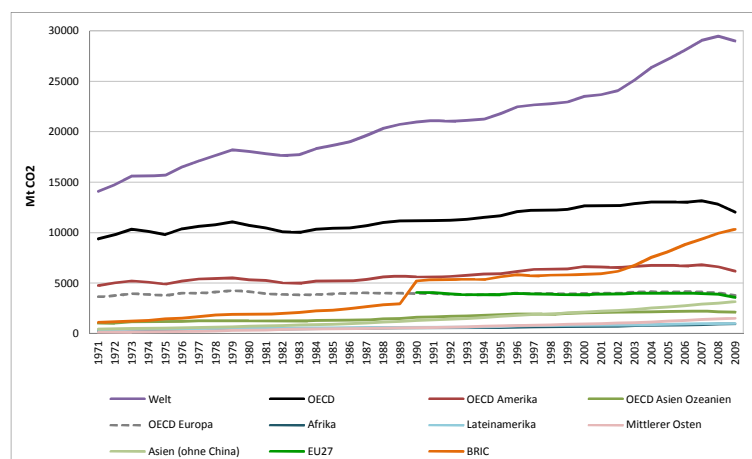


Abbildung 5.1: Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger weltweit und in einzelnen Weltregionen. Quelle: IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion Statistics; doi: 10.1787/co2-data-en.

Abbildung 5.1 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen ab dem Jahr 1971 für Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger, denen Abbildung 5.2 die weltweite wirtschaftliche Entwicklung über den gleichen Zeitraum gegenüberstellt. Die starke Korrelation zwischen wirtschaftlichem Wachstum und der Freisetzung von CO₂-Emissionen zeigt sich zum einen in der Entwicklung der Emissionen der sog. BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China), deren rasante wirtschaftliche Entwicklung im Laufe der vergangenen 20 Jahre mit einem massiven Anstieg der CO₂-Emissionen einherging.¹³ Zum anderen ist auch der unmittelbare Einfluss der Finanz-

¹³ Die Sprungstelle in der BRIC-Zeitreihe in Abbildung 5.1 ist durch fehlende Daten für das heutige Russland vor 1990 zu erklären, so dass sich die Zeitreihe vor 1990 nur aus den Emissionen von China, Indien und Brasilien ergibt.

und Wirtschaftskrise von 2008 deutlich zu erkennen, infolge derer mit der weltweiten Wirtschaftsleistung auch die CO₂-Emissionen erkennbar gegen den längerfristigen Trend sanken.

5.1.2 Entwicklung der CO₂-Intensität

Die CO₂-Intensität der Wirtschaftsleistung eines Landes setzt die CO₂-Emissionen eines Jahres mit dem Bruttoinlandsprodukt ins Verhältnis und gibt entsprechend die für die Erzeugung einer Einheit der Wirtschaftsleistung „benötigten“ CO₂-Emissionen an. Wie in Abschnitt 4.1.1 bereits in Bezug auf den Indikator Ressourcenproduktivität ausgeführt, erlaubt auch die Berechnung der CO₂-Intensität in Bezug auf einen bestimmten Zeitpunkt (ein bestimmtes Jahr) lediglich Schlussfolgerungen über die Effizienz der betrachteten Ökonomie im Hinblick auf die Freisetzung des betrachteten Treibhausgases zu diesem Zeitpunkt. Einen Indikator für Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen Wachstum und Emissionen stellt die Emissionsintensität erst dar, wenn ihre Entwicklung über die Zeit betrachtet wird. Abbildungen 5.3 und 5.4 zeigen die Entwicklung der CO₂-Intensität weltweit und aufgliedert nach Regionen sowie für Deutschland im Vergleich zu ausgewählten Industrieländern. Diesen Zeitreihen liegen wie zuvor allein CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger zugrunde.

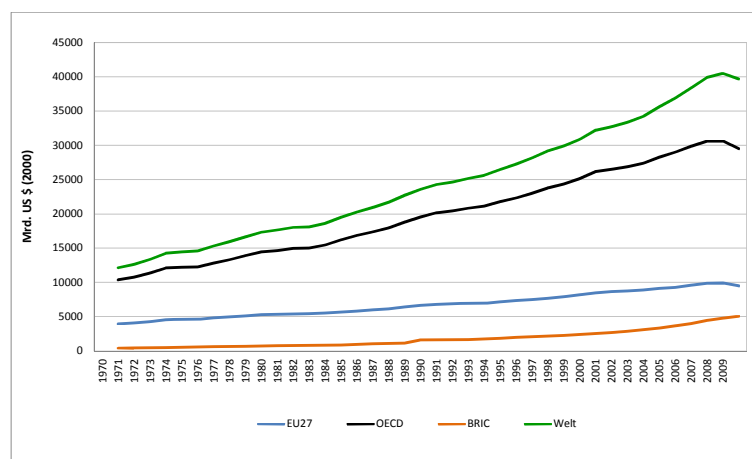


Abbildung 5.2: Entwicklung des GDP zwischen 1970 und 2009 (BRIC: Brasilien, Russland, Indien, China). Quelle: World Bank WDI.

Insbesondere in den wirtschaftsstärkeren Weltregionen ist in Abbildung 5.3 ein starker Rückgang in der CO₂-Intensität zu erkennen. Völlig gegensätzlich verläuft die Entwicklung allein im Nahen Osten, während für Asien, Lateinamerika und Afrika eine relativ konstante CO₂-Intensität des Bruttoinlandsprodukts beobachtet werden kann. Abbildung 5.4 stellt die Situation in Deutschland in den internationalen Kontext ausgewählter Industrieländer. Deutschland konnte im Verlauf der letzten 40 Jahre die CO₂-Intensität des (realen) Bruttoinlandsprodukts mehr als halbieren. Folglich war die deutsche Volkswirtschaft im Jahr 2009 in der Lage, einen mit dem Ausgangsjahr 1971 vergleichbaren realen Wert an Wirtschaftsleistung bei um über die Hälfte gesunkenen CO₂-Emissionen zu erzeugen. Der internationale Vergleich verdeutlicht, dass Deutschland mit dieser Entwicklung nicht alleine steht, auch wenn sich zum Teil deutliche Unterschiede im Niveau der CO₂-Intensitäten erkennen lassen. Auffällig sind beispielsweise die stark rückläufigen CO₂-Intensitäten in China und den USA. Vor dem Hintergrund von Abbildung 5.2 zur weltweiten Entwicklung der wirtschaftlichen Aktivitäten ist ferner zu beachten, dass der beobachtete Rückgang der CO₂-Intensitäten in einem Großteil der Länder und Regionen bei gleichzeitigem realem Wachstum, d.h. bei gleichzeitiger Ausweitung der wirtschaftlichen Aktivitäten, erreicht wurde.

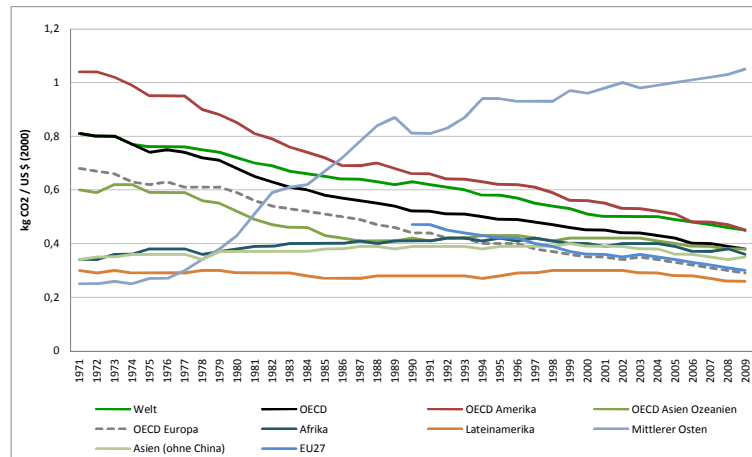


Abbildung 5.3: Entwicklung der CO₂-Intensität global und im weltweiten Vergleich nach Regionen. Zugrunde liegen CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger. Quelle: IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion Statistics, DOI: 10.1787/co2-data-en.

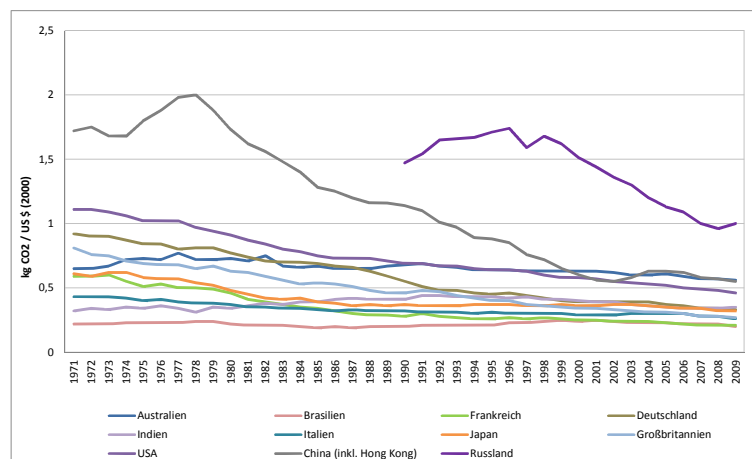


Abbildung 5.4: Entwicklung der CO₂-Intensitäten im Vergleich ausgewählter Länder zwischen 1971 und 2009. Zugrunde liegen allein die CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger. Quelle: IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion Statistics, DOI: 10.1787/co2-data-en.

5.2 Recycling und Umwelt

Die Wiederverwertung wertvoller Stoffe aus den Abfallströmen ist nicht nur eine wesentliche Einflussgröße der Ressourcenproduktivität, sondern hat entscheidende ökologische Vorteile. Dazu zählen neben der Schonung von Primärrohstoffen:

- die Reduktion von CO₂-Emissionen und Energieeinsatz bei Produktion, Transport und Verarbeitung durch den Ersatz primärer Rohstoffe,
- die Verminderung von CO₂- und anderen Emissionen durch weniger Deponierung und Verbrennung von Abfällen
- sowie ein deutlich geringerer deponierungsbedingter Flächenverbrauch.

Hierzu einige konkrete Beispiele und Zahlen. Altpapierrecycling trägt beispielsweise in erheblichem Maße zur Verringerung der Abholzung und somit zur Erhaltung des Lebensraums und der CO₂-Senke Wald bei. Altpapier kann, je nach Papierqualität, bis zu sechsmal recycelt werden. Der Altpapiereinsatz der deutschen Papierindustrie ist in den vergangenen 20 Jahren auf 71% (2009) angestiegen, was zu einer deutlichen Reduktion der spezifischen Umweltbelastungen von Papier wie Holz-, Wasser- und Primärenergieverbrauch führt (UBA 2011b). Altglas ist ein für Recycling ganz besonders geeignetes Material, da es beliebig häufig eingeschmolzen und wiederverwertet werden kann. Gegenüber der Neuglasherstellung können Primärrohstoffe eingespart und

der Energiebedarf ganz erheblich reduziert werden, denn durch „einen Prozentpunkt Scherbenzugabe wird etwa 0,2 bis 0,3 Prozent weniger Energie benötigt.“ (BMU 2011). Ähnliches gilt für Metalle. Beispielsweise „erbringt die Nutzung von recyceltem Kupfer statt neu abgebautem Kupfer Einspareffekte von 50% Energie, 100% Schwefelsäure und 50% Schlacke“ UBA (2010a). Bei Aluminium „übertrifft die Produktion von Recyclingaluminium in Deutschland mit 0,72 Millionen Tonnen mittlerweile die Primärproduktion von 0,61 Millionen Tonnen (2008). Aluminiumschrott kann fast verlustfrei mit nur ca. 5% der Herstellungsenergie des Primärprozesses und nahezu ohne Qualitätsverlust wiederaufbereitet werden. Das Aluminiumrecycling reduziert deutsche Bauxit- und Aluminiumimporte in einer Größenordnung von Faktor 2 – Faktor 10“ UBA (2010a).

Die bei der Abfallverbrennung und insbesondere der Deponierung nicht vorbehandelter Abfälle entstehenden Treibhausgase (CO₂- sowie NO₂-Emissionen und Methan) sind ein ernsthaftes Problem, dem durch Recycling effektiv begegnet werden kann. Den Hauptbeitrag an Treibhausgasen liefern die sich durch anaerobe Zersetzung von organischem Material bildenden Methanemissionen aus Deponien (UBA 2011a). In Deutschland wurde die Ablagerung von unvorbehandelten Abfällen 2005 verboten und dadurch seitdem die Emissionen klimaschädigender Gase (vornehmlich Methan) aus Deponien kontinuierlich gesenkt.¹⁴ Ein solches Verbot existiert derzeit in der EU neben Deutschland nur in Österreich. Anders als in Deutschland spielt in vielen EU-Staaten die Deponierung von unbehandelten Abfällen bis heute eine erhebliche Rolle: 2007 wurden in den EU-27-Staaten über 42% der Gesamtabfallmenge deponiert, fast 21% verbrannt und 8% anderweitig behandelt. Nur 29% wurden als Wertstoffe getrennt erfasst und verwertet. Insgesamt belasten europäische Abfälle je nach Gasfassung auf den Deponien das Klima mit jährlichen Treibhausgasemissionen in Höhe von bis zu 78 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (UBA 2010b).

Für einen außereuropäischen Vergleich folgt abschließend noch ein Blick auf die Situation in den USA. Hier fielen im Jahr 2008 250 Mio. t Siedlungsabfälle an, wovon 135 Mio. t oder 54% deponiert wurden. Deponierung stellt dabei die in den USA vorherrschende Art der Abfallbehandlung dar, was vor allem auf ihre weiten unbesiedelten Flächen zurückzuführen ist, durch die günstig Land für Deponien zur Verfügung steht. Die USA ist damit auch der Staat mit den weltweit höchsten Methanemissionen aus Deponien. Zwar hat sich die Situation gegenüber 2002 stark verbessert, als noch 65% des Abfalls deponiert wurden. Unverändert bietet jedoch die verbleibende Menge, die ohne Vorbehandlung deponiert wird, noch ein riesiges Potenzial für die Nutzung der darin gebundenen Materialien und Energien und damit auch zur Minderung von Treibhausgasen (Themelis und Kaufman 2004).

5.3 Wachstum und Umweltverschmutzung

Traditionell wird häufig davon ausgegangen, dass wirtschaftliches Wachstum grundsätzlich mit einer Verschlechterung der Umweltqualität einhergeht. Anfang der 1990er Jahre wurde jedoch in einer Reihe von empirischen Studien Evidenz dafür gefunden, dass wirtschaftliches Wachstum nicht zwingend zu einem Anstieg der Verschmutzung führt, sondern vielmehr auch mit einer abnehmenden Belastung der Umwelt verbunden sein kann (Grossman und Krueger 1991 und 1995). Auch die Diskussion der abnehmenden CO₂-Intensitäten in einem Großteil der betrachteten Länder und Regionen vor dem Hintergrund weltweiten realen Wachstums der wirtschaftlichen Aktivitäten in Abschnitt 5.1.2 verdeutlicht dies. Als Indikator für die Entkopplung von Wachstum und Umweltbeeinträchtigungen besitzt die CO₂-Intensität bei isolierter Betrachtung allerdings nur eingeschränkte Aussagekraft. Sie bezieht sich allein auf die Umwelteinflüsse je erzeugter Einheit des Bruttoinlandsprodukts und berücksichtigt die Ausweitung der wirtschaftlichen Tätigkeiten im Zeitverlauf nicht. Folglich erlaubt auch eine sinkende CO₂-Intensität keine Aussage darüber, ob im betrachteten Zeitraum eine absolute oder lediglich eine relative Entkopplung von Wachstum und Umweltverschmutzung stattfand (vgl. auch UNEP 2011).

¹⁴ Durch diese Maßnahme sowie durch Recycling und die Nutzung der Energie des Abfalls wurden seit 1990 die jährlichen Emissionen aus der Abfallwirtschaft um rund 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente reduziert, was einen Beitrag von mehr als 20% zu den „Kyoto-Zielen“ Deutschlands bedeutet.

5.3.1 Entwicklung von Wachstum und CO₂-Emissionen

Entwicklung in Deutschland und im internationalen Vergleich

Deutschland weist wie viele andere Industrieländer bereits über die vergangenen 40 Jahre eine deutlich sinkende CO₂-Intensität auf, wenn zu deren Berechnung allein die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger herangezogen werden (vgl. Abbildung 5.4). Zumindest von einer relativen Entkopplung der wirtschaftlichen Entwicklung von CO₂-Emissionen kann daher ausgegangen werden. Zur Einschätzung, ob die sinkende CO₂-Intensität auch zu einer absoluten Entkopplung führte, sollen im Folgenden die CO₂-Emissionen der bereits zuvor aufgeführten Länder in ihrer absoluten Höhe betrachtet werden und der realen wirtschaftlichen Entwicklung gegenüber gestellt werden.

Abbildung 5.5 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen über den Zeitraum von 1971 bis 2009. Wie schon Abbildung 5.1 zu den CO₂-Emissionen weltweit erwarten ließ, ergibt sich ein deutlich uneinheitlicheres Bild im Vergleich zur Entwicklung der CO₂-Intensitäten in Abbildung 5.4. In Deutschland folgten die CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger im betrachteten Zeitraum auch in absoluter Höhe einem sinkenden Trend, wenngleich die Reduktion in den jährlichen Emissionen deutlich hinter dem Rückgang der CO₂-Intensität zurückbleibt. Zusammen mit dem realen wirtschaftlichen Wachstum, wie es sich in Abbildung 5.6 widerspiegelt, ergibt sich dennoch eine absolute Entkopplung, mit der Deutschland im internationalen Vergleich der Länder weitgehend alleine steht. Ausnahmen bilden etwa noch Großbritannien und in deutlich abgeschwächter Form auch Frankreich. Besonders auffällig ist die Entwicklung der CO₂-Emissionen erneut in China und den USA. Für diese Länder wies Abbildung 5.4 noch deutliche Erfolge in der Senkung der CO₂-Intensitäten aus. Doch ihre starke wirtschaftliche Entwicklung führte offensichtlich zu einer starken Überkompensation dieser Effizienzgewinne auf gesamtwirtschaftlicher Ebene. Die Kombination aus einer im internationalen Vergleich weiterhin relativ hohen CO₂-Intensität und den hohen Wachstumsraten ist dafür verantwortlich, dass China seit 2007 die USA als größten CO₂-Emittenten überholt hat. Mit Ausnahme von China und Indien zeigt sich darüber hinaus auch in allen übrigen Ländern wieder der deutliche Einfluss der Finanz- und Wirtschaftskrise auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen.

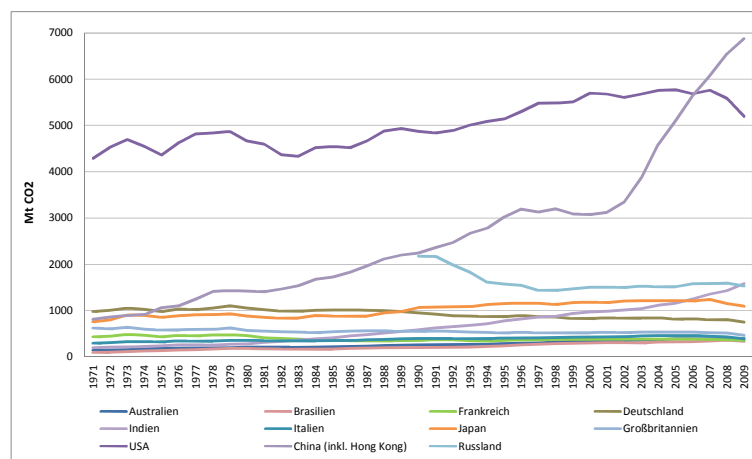


Abbildung 5.5: Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger in Deutschland und im internationalen Vergleich. Quelle: IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion Statistics; doi: 10.1787/co2-data-en.

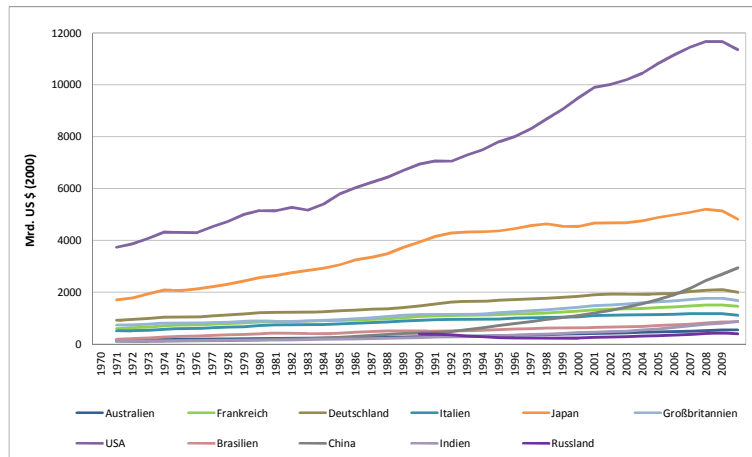


Abbildung 5.6: Entwicklung des GDP zwischen 1970 und 2009 in Deutschland und im internationalen Vergleich. Quelle: World Bank WDI.

Sektorale Entwicklung

Abbildung 5.7 konzentriert sich allein auf Deutschland und stellt dem Wachstum des realen Bruttoinlandsprodukts die Entwicklung der CO₂-Emissionen insgesamt sowie getrennt nach einzelnen Sektoren gegenüber. Auffällig ist dabei die stark unterschiedliche Entwicklung in den einzelnen Sektoren, etwa im Vergleich zwischen den Emissionen im Verkehrsbereich und den Emissionen des verarbeitenden Gewerbes. Zu beachten ist, dass der Trendverlauf der gesamten Emissionen insbesondere durch die Energiewirtschaft bestimmt wird, die mit einem im Zeitverlauf relativ konstanten Anteil von über 40% maßgeblich zum gesamten CO₂-Ausstoß beiträgt.

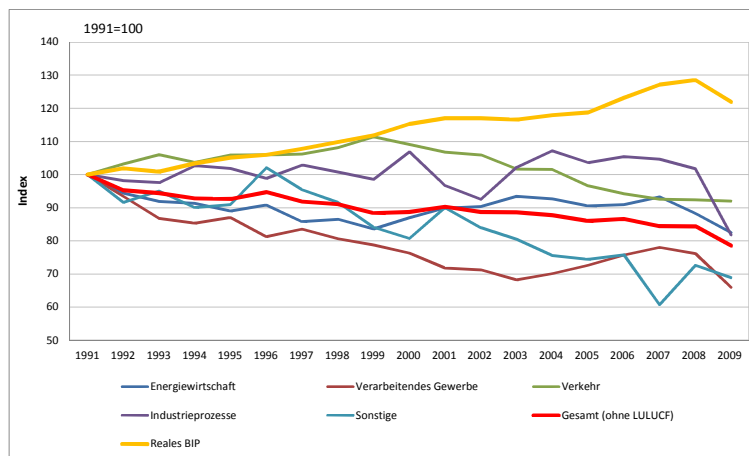


Abbildung 5.7: Vergleich zwischen der Entwicklung des realen Bruttoinlandsprodukts und den CO₂-Emissionen verschiedener Sektoren in Deutschland. Quellen: UBA, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Stand: Januar 2011; DESTATIS, VGR des Bundes, Bruttowertschöpfung und Bruttonationalprodukt.

5.3.2 Environmental Kuznets Curve (EKC)

Seit Anfang der 1990er Jahre wird in der ökonomischen Literatur unter dem Schlagwort der Environmental Kuznets Kurve (EKC) intensiv der Zusammenhang von wirtschaftlichem Wachstum und Umweltverschmutzung diskutiert. Entgegen der traditionell pessimistischen Sichtweise, nach der Wachstum stets mit einem Anstieg der Umweltbelastungen einhergeht, konnten Grossman und Krueger (1991) empirisch zeigen, dass Wachstum nicht grundsätzlich zu einem Anstieg von Emissionen führt, sondern das Vorzeichen des Zusammenhangs zwischen Wachstum und Umweltbelastungen vom Einkommensniveau in der jeweiligen Ökonomie abzuhängen scheint. So kamen Grossman und Krueger (1991) und in der Folge zahlreiche weitere Autoren für verschiedene

Schadstoffe (etwa SO_2) zu dem Ergebnis, dass wirtschaftliches Wachstum in ärmeren Ländern steigende Emissionen, in wohlhabenderen Ländern jedoch sinkende Emissionen nach sich zu ziehen scheint. Aus diesen empirischen Beobachtungen ergibt sich ein invers U-förmiger Zusammenhang zwischen dem Pro-Kopf-Einkommen und der Umweltverschmutzung, der in Anlehnung an den vom amerikanischen Ökonomen Simon Kuznets postulierten Zusammenhang zwischen Einkommensverteilung und Pro-Kopf-Einkommen als Environmental Kuznets Kurve (EKC) bezeichnet wird (vgl. etwa Stern 2004). Der Hypothese der EKC folgend kommt es bei fortschreitender wirtschaftlicher Entwicklung zunächst zu einer relativen und schließlich zu einer absoluten Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltverschmutzung.

Die empirischen Untersuchungen zur EKC stützen sich, auch aufgrund der meist nur eingeschränkten Verfügbarkeit geeigneter Daten für ausreichend lange Zeiträume, auf den Vergleich verschiedener Länder in Länder-Querschnitts-Daten (Paneldaten), um mit Hilfe der Variation des Einkommensniveaus und des betrachteten Umweltindicators über die verschiedenen Länder hinweg die Entwicklung eines Umweltindicators im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung abzubilden. Insgesamt sind die Ergebnisse jedoch eher gemischt und weit weniger eindeutig als es noch zu Beginn der wissenschaftlichen Auseinandersetzung den Anschein hatte.¹⁵ Soweit der Nachweis eines EKC-Zusammenhangs gelingt, scheint dieser nur in Bezug auf den jeweils betrachteten Indikator der Umweltverschmutzung und nur für die jeweilige Datengrundlage zu gelten, eine Verallgemeinerung bzw. Übertragbarkeit des beobachteten Zusammenhangs dagegen nahezu ausgeschlossen. So kommen verschiedene Studien zu den gleichen Umweltindikatoren oft zu stark variierenden Abschätzungen des Kurvenlaufs, die schon durch leicht abweichende Schätzspezifikationen oder Datengrundlagen verursacht sein können.¹⁶ Für den Wendepunkt des EKC-Zusammenhangs zwischen SO_2 -Emissionen und dem Pro-Kopf-Einkommen finden sich in der Literatur etwa Abschätzungen des zugehörigen Einkommensniveaus zwischen rund 4.000 US \$ (Grossman und Krueger 1995) und über 50.000 US \$ (Stern 2006a). Der Nachweis eines EKC-Zusammenhangs im Einzelfall scheint zudem für lokal wirkende Schadstoffe wie das eben erwähnte SO_2 noch deutlich besser zu gelingen als für global wirkende Umwelteinflüsse wie der Emission von CO_2 .¹⁷ Für CO_2 wird vielfach statt des invers U-förmigen Zusammenhangs ein monoton ansteigender Zusammenhang gefunden oder die Ergebnisse lassen auf Wendepunkte schließen, die weit oberhalb eines noch vernünftig interpretierbaren Einkommensbereichs liegen (vgl. für einen Überblick etwa Aslanidis 2009 und Aslanidis und Iranzo 2009).

Insbesondere gegen frühere Studien zur EKC werden in der Zwischenzeit verschiedene methodische Einwände vorgebracht, auf die sich auch die Schwierigkeiten im Nachweis eines stabilen, allgemein gültigen EKC-Zusammenhangs zurückführen lassen könnten.¹⁸ Zum einen wird argumentiert, dass die Gefahr von sogenannten Scheinkorrelationen aufgrund der oft zu unkritischen Verwendung der verfügbaren Paneldaten bestehe. Zum anderen wird auch die grundsätzliche Herangehensweise vieler Studien kritisiert, die den unterstellten kausalen Zusammenhang mit Hilfe von Schätzgleichungen in reduzierter Form zu ermitteln suchen, obwohl dies die Vorgabe einer speziellen funktionalen Form für den interessierenden Zusammenhang und damit in gewisser Weise die Vorgabe des Ergebnisses impliziert. Neben der mangelnden Übertragbarkeit scheinen diese methodischen Probleme einerseits zu einer systematischen Unterschätzung der zu den jeweiligen Wendepunkten zugehörigen Einkommensniveaus zu führen.¹⁹ Zum anderen werden damit meist nur Korrelationen der betrachteten Variablen gemessen, die im Einzelfall auf einen EKC-ähnlichen Zusammenhang, nicht aber auf eine kausale Bedeutung des Pro-Kopf-Einkommens für die Umweltverschmutzung in einer Ökonomie schließen lassen.²⁰ Allerdings ergeben sich auch in neueren Ansätzen, die mit neuen ökonometrischen Ansätzen den angeführten Kritikpunkten zu begegnen suchen, keine eindeutige Aussagen zum Zusammenhang zwischen beispielsweise

¹⁵ Vgl. etwa Carson (2010) und für Überblicke über die Ergebnisse der EKC-Literatur etwa: Lieb (2002), Dasgupta et al. (2002), Binswanger et al. (2005) und Tsurumi und Managi (2010).

¹⁶ Vgl. etwa Harbaugh et al. (2002), die die hohe Sensitivität der Ergebnisse von Grossman und Krueger (1995) näher betrachten.

¹⁷ Vgl. zu dieser Einschätzung etwa Carson (2010) und für den EKC-Zusammenhang bei SO_2 etwa Stern (2006).

¹⁸ Vgl. zur methodischen Kritik Stern (2004), Wagner (2008), Vollebergh et al. (2008) oder Kijima et al. (2010).

¹⁹ Vgl. etwa die Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur EKC bei SO_2 und CO_2 von Stern (2010).

²⁰ Letztlich zeigen sich hier Parallelen zu den Problemen von Teilen der empirischen Wachstumsliteratur, die Wachstum in Ländervergleichen auf Basis weniger Faktoren zu erklären versucht, vgl. Carson (2010).

CO₂-Emissionen und Pro-Kopf-Einkommen (vgl. für einen Überblick Aslanidis 2009, oder Tsurumi und Managi 2010).

Die Vorstellung, dass wirtschaftliches Wachstum kausal zur Verbesserung der Umweltqualität beitrage und Ökonomien aus Umweltproblemen gleichsam ‚herauswachsen‘ könnten (vgl. Shafik und Bandyopadhyay 1992), kann auch aus rein inhaltlicher Sicht in Frage gestellt werden. Denn oft liegen die ermittelten Wendepunkte in Einkommensbereichen, die weit über die gegenwärtigen Niveaus hinausgehen und folglich nur durch erhebliches weiteres umweltschädigendes Wachstum erreicht werden könnten. Berücksichtigt man dabei, dass sich viele Studien allein auf Indikatoren zur Umweltverschmutzung und nicht auf den Zustand der betroffenen ökologischen Systeme beziehen (Arrow et al. 1995), könnte dieses (Einkommens-)Wachstum bis zum ermittelten Wendepunkt der EKC bereits mit irreversiblen Umweltschäden einhergehen. Eine nachfolgende Verbesserung der Umweltqualität wäre dann ausgeschlossen. Diese Gefahr besteht zum Beispiel auch im Zusammenhang mit der Klimaproblematik. Schließlich wäre selbst der methodisch unzweifelhafte Nachweis des reinen EKC-Zusammenhangs aus umwelt- bzw. wachstumspolitischer Sicht nur bedingt nützlich, da völlig offen bleibt, durch welche Kanäle die Steigerung des Einkommens tatsächlich zu einer Verbesserung der Umweltqualität beigetragen hat.

5.3.3 Triebkräfte der Entkopplung von Wachstum und Umweltverschmutzung

Bzgl. der möglichen Entkopplung von Wachstum und Umweltverschmutzung lassen sich auch für den Zusammenhang zwischen Wachstum und Umweltverschmutzung die in Kapitel 2.2 allgemein dargelegten Skalen-, Struktur- und Technologieeffekte unterscheiden (vgl. auch Brock und Taylor 2005). Die Bedeutung des Skaleneffekts lässt sich beispielsweise am Rückgang der CO₂-Emissionen in Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise von 2008 erkennen (vgl. Abbildung 5.1). Struktur- und Technologieeffekte sind dagegen auch im Zusammenhang mit Umweltverschmutzung nicht eindeutig. Vielmehr hängt ihr Vorzeichen davon ab, ob sich etwa die wirtschaftlichen Aktivitäten auf sauberere Sektoren verlagern (intersektoraler Strukturwandel), innerhalb eines Sektors sauberere Branchen an Bedeutung gewinnen (intra-sektoraler Strukturwandel) oder technologischer Fortschritt Effizienzgewinne bzw. Faktorsubstitution ermöglicht. Selbst bei umweltfreundlichen Effizienzgewinnen können auch im Umweltbereich Rebound-Effekte die Wirkung umweltfreundlicher Technologieeffekte einschränken bzw. im Extremfall durch die technologisch bedingte Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit sogar zu einer steigenden Umweltverschmutzung führen (vgl. etwa Hanley et al. 2009, oder Gonzáles 2010).

Empirische Dekompositionsanalysen versuchen gezielt den Einfluss der Struktur- und Technologieeffekte abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigen relativ eindeutig, dass im Gegensatz zum Struktureffekt Technologieeffekte nahezu immer auf eine Entkopplung von wirtschaftlicher Aktivität und Umweltverschmutzung hinwirken und diesen in jedem Fall die tragende Rolle für die beobachtete Entkopplung zukommt (vgl. für einen Überblick Stern 2004). Struktureffekte allein werden für eine langfristige Entkopplung nicht ausreichen (vgl. aus theoretischer Sicht auch Brock und Taylor 2005, oder auch Lieb 2002). Mit Blick auf CO₂ finden Tsurumi und Managi (2010) einzig für hohe Einkommensregionen (Pro-Kopf-Einkommen über 11.000 US \$) einen negativen Einfluss des Technologieeffekts auf die Emissionen von CO₂, was sie unter anderem auf starke Rebound-Effekte in der Energienachfrage aus Effizienzgewinnen für die unteren und mittleren Einkommensregionen zurückführen.

In Bezug auf die Triebkräfte, welche hinter einem EKC-förmigen Zusammenhang von Einkommen und Umweltverschmutzung stehen können, sind in der ökonomischen Literatur eine Reihe von speziellen Faktoren identifiziert worden:

- Im Laufe der Entwicklung einer Ökonomie verschiebt sich in der Regel die Bedeutung der unterschiedlichen Produktionsfaktoren für Wachstumsprozesse. Wirkt sich der Einsatz dieser Faktoren unterschiedlich auf Umweltverschmutzung aus, so resultiert Wachstum entsprechend in einer Änderung der Umweltintensität. Zu denken wäre dabei beispielsweise an die Entwicklung von einer agrarwirtschaftlich geprägten Gesellschaft zu einer Industrie- und schließlich hin zu einer humankapitalintensiven Dienstleistungsgesellschaft (vgl. auch Dinda 2004, oder zum intersektoralen Strukturwandel auch Grossman und Krueger 1995). Verliert im Zuge dieser Entwicklung physisches Kapital gegenüber Humankapital an Bedeutung, er-

geben sich aus dem Wachstum der Ökonomie umweltfreundliche Struktureffekte, da kapitalintensive wirtschaftliche Aktivitäten in der Regel mit einer höheren Umweltbelastung verbunden sind (vgl. auch Copeland und Taylor 2004). Im Gegensatz zu derartigen intersektoralen Verschiebungen scheint jedoch in Industrieländern wie Deutschland dem intrasektoralen Wandel weit höhere Bedeutung für die Entkopplung von Wirtschaftsprozess und Umweltverschmutzung zuzukommen, eine Ausnahme bilden hier lediglich die USA (vgl. auch Smulders et al. 2005, oder Lieb 2002).

- Ein Anstieg des Einkommens führt auch ohne strukturelle Änderungen in einer Ökonomie zu erhöhten Ausgaben für Forschung und Entwicklung, die wiederum zur Einführung umweltfreundlicher Technologien beitragen können. Die Entdeckung neuer und günstiger umweltfreundlicher Technologien und ihre anschließende Diffusion in Länder mit unterschiedlichem Entwicklungsstand mag darüber hinaus eine theoretische Erklärung dafür liefern, dass die Einkommensniveaus zu den Wendepunkten der EKC stark variieren können (vgl. Lieb 2002).
- Wirtschaftliches Wachstum kann nachfrageseitige Einkommenseffekte auslösen, durch die die Nachfrage nach Umweltqualität in einer Ökonomie gegenüber anderen Gütern an Bedeutung gewinnt. Die Literatur liefert verschiedene Gründe, die eine derart steigende Nachfrage nach Umweltqualität plausibel erscheinen lassen. Unter anderem wird argumentiert, dass erst mit höherem Einkommen und nach Abdeckung der grundlegenden Bedürfnisse die Bedeutung immaterieller Güter zunimmt (vgl. für einen Überblick Dasgupta et al. 2002, oder Lieb 2002). Die steigende Wertschätzung für Umweltqualität führt unmittelbar oder über politische Prozesse zu Struktur- und Technologieeffekten, die die wirtschaftlichen Aktivitäten von der Verschmutzung der Umwelt entkoppeln (vgl. für einen Überblick Dinda 2004). Um einen EKC-förmigen Zusammenhang zu generieren, muss allerdings die Einkommenselastizität des wahrgenommenen (Grenz-) Schadens mit dem Entwicklungsstand einer Ökonomie steigen.²¹ Diese Abhängigkeit des Zusammenhangs von Wachstum und Umweltverschmutzung von dem wahrgenommenen Schaden kann zudem eine Erklärung bieten, warum insbesondere für Umwelteinflüsse mit lokalen und unmittelbaren Schadenswirkungen eine Entkopplung häufiger zu beobachten ist als für Schadstoffe mit globalen und verzögerten Wirkungen wie im Fall der CO₂-Emissionen (vgl. auch Copeland und Taylor 2004).
- In der theoretischen Literatur werden des Weiteren steigende Skalenerträge im Bereich von Umweltschutztechnologien als potentielle Grundlage eines EKC-Zusammenhangs diskutiert. Im Fall steigender Skalenerträge würde die Ausweitung wirtschaftlicher Aktivitäten aufgrund von Größenvorteilen eine Reduktion der Umweltverschmutzung erleichtern und diese letztendlich überproportional sinken lassen (vgl. Andreoni und Levinson 2001). Allerdings mag die Annahme steigender Skalenerträge in der Vermeidung von Umweltschäden zwar für gewisse Produktionsbereiche zu rechtfertigen sein, für den gesamten Produktionsbereich aber erscheint sie wenig plausibel.
- Schlussendlich kann der Einsatz umweltfreundlicher Technologien mit Fixkosten verbunden sein, die sich Ökonomien erst ab einem gewissen Entwicklungsstand leisten können. Umweltfreundliche Technologieeffekte, die dem Skaleneffekt des Wachstums entgegenwirken, kommen damit erst ab einem bestimmten Entwicklungsstand der Ökonomie und damit erst nach einer Wachstumsphase mit steigenden Umweltschäden zum Einsatz. In ähnlicher Weise können auch institutionelle Rahmenbedingungen für Umweltschutz, die zunächst aufgebaut werden müssen, zur Entstehung des EKC-Zusammenhangs beitragen (sog. *Threshold Effects* zur Erklärung der EKC, vgl. Copeland und Taylor 2004 oder Selden und Song 1994).

Die EKC-Hypothese geht von einem stabilen, fast mechanischen, Zusammenhang zwischen Emissionen und Pro-Kopf-Einkommen aus. Die obige Diskussion, aber auch insgesamt die neue Wachstumstheorie legen jedoch nahe, dass beide Variablen und damit auch ihr Zusammenhang letztlich endogen bestimmt sind und von unterschiedlichen Faktoren getrieben sein können. Sofern in empirischen Untersuchungen deshalb nicht alle Länder den gleichen Wachstumsprozess aufweisen, ist der Nachweis eines einfachen und stabilen Zusammenhangs

²¹ Die Einkommenselastizität des (Grenz-)Schadens gibt an, um wie viel Prozent sich der (wahrgenommene) Grenzscha-den erhöht, wenn das Einkommen um 1% ansteigt. Im steigenden Abschnitt der EKC muss folglich eine Einkommenselastizität unter 1, im fallenden Abschnitt der EKC dagegen von über 1, vorliegen.

schon aus diesem Grund kaum zu erwarten (vgl. auch Copeland und Taylor 2004). Empirische EKC-Studien auf Basis von Ländervergleichen müssen folglich vielfach (implizit) Homogenitätsannahmen treffen. Entsprechend vorsichtig und kritisch sind auch ihre Ergebnisse zu interpretieren (vgl. auch Lieb 2002).

5.3.4 Bedeutung von Marktpreisen, Regulierung und internationalen Märkten

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wird der Zusammenhang von Wachstum und Umweltverschmutzung maßgeblich durch das Zusammenwirken von Struktur- und Technologieeffekten bestimmt. In der allgemeinen Einführung der Effekte wurden als treibende Faktoren, die für das Zusammenspiel und die Wirkungsrichtung der Effekte maßgeblich sein können, Marktpreise, Regulierung und internationale Märkte genannt. Im Folgenden soll die Bedeutung dieser Faktoren im Zusammenhang mit der Entkopplung von Wachstum und Umweltverschmutzung knapp diskutiert werden.

Marktpreise

Aufgrund des öffentlichen Guts-Charakters der Umwelt kommt Marktpreisen als Auslöser für umweltfreundliche Struktur- und Technologieeffekte nur eine untergeordnete Rolle zu (vgl. Abschnitt 5.1.1). Marktpreise wirken, wenn überhaupt, nur indirekt, indem etwa Preissignale über die begrenzte Verfügbarkeit umweltschädigender Faktoren die Marktteilnehmer zur Substitution des umweltschädigenden Faktors durch einen umweltfreundlichen oder zu effizienterem Verbrauch bewegen. Ein naheliegendes Beispiel für diesen Kanal zur Auslösung von (umweltfreundlichen) Substitutions- und Technologieeffekten stellt die zunehmende Knappheit von Erdöl dar, durch die allein Verbraucher in Zukunft einen preisbasierten Anreiz erhalten können, auf die Nutzung klimafreundlicher erneuerbarer Energieträger umzusteigen.²²

Regulierung

Direkten Einfluss auf die Entkopplung von wirtschaftlicher Entwicklung und Umweltverschmutzung haben dagegen regulatorische Eingriffe, denen im Umweltbereich zur Korrektur des weitgehenden Marktversagens besondere Bedeutung zukommt. Regulatorische Eingriffe des Staates in Form von Steuern, Auflagen, Zertifikatesystemen oder Subventionen stoßen Anpassungsreaktionen an, die z.B. zur Substitution umweltschädigender Produktionsfaktoren und Güter oder der Erforschung und/oder Anwendung weniger umweltintensiverer Technologien beitragen (vgl. etwa Jaffe et al. 2005, oder Requate 2005). Die Stärke der Reaktionen hängt allerdings kritisch von der Stärke der Regulierung und den mit Vermeidungsaktivitäten einhergehenden Kosten ab. Der politische Wille zur Umsetzung einer effektiven Umweltpolitik wird dabei maßgeblich von der Wertschätzung der Bürger für die Umwelt bestimmt. Eine strengere umweltpolitische Regulierung kann deshalb auch das Ergebnis einer mit dem Einkommen steigenden Nachfrage nach Umweltqualität darstellen. Schließlich beeinflusst auch der allgemeine Entwicklungsstand eines Staates, ob die institutionellen Voraussetzungen den Beschluss und die Einführung umweltpolitischer Instrumente zulassen (vgl. Dasgupta et al. 2002). Im Gegensatz zur Entwicklung von Wachstum und Ressourcenverbrauch ist die Entwicklung der Umweltintensität des Wachstums daher stets auch eine Frage von Möglichkeiten und Erfolg staatlicher Regulierung (vgl. Esty und Porter 2005, oder Binswanger et al. 2005).

Handel

Die Öffnung einer Ökonomie für internationalen Handel induziert Skalen-, Struktur- und Technologieeffekte, deren Auswirkungen auf die Umwelt nicht von vorneherein eindeutig sind.²³ In Bezug auf eine Entkopplung von Wachstum und Umweltnutzung erhält jedoch insbesondere der Struktureffekt Bedeutung, da die Verlagerung umweltintensiver Sektoren ins Ausland und der Import umweltintensiver Güter und Faktoren zu einer (scheinbaren) Entkopplung von Wachstum und Umweltverschmutzung im Inland beitragen. Diese Entwicklung kann durch die Ausnutzung „echter“ komparativer Vorteile zwischen den Ländern, etwa hinsichtlich der Ausstattung

²² Vgl. etwa Grimaud und Rougé (2008) oder Acemoglu et al. (2009).

²³ Vgl. zum Skalen-, Struktur- und Technologieeffekt durch Handel auch Grossman und Krueger (1994) und zur Wirkung von Handel auf die Diffusion von Umwelttechnologien etwa Lovely und Popp (2011). Zu Umweltwirkungen von Handel siehe auch Antweiler et al. (2001) und Benarroch und Weder (2006).

mit natürlichen Ressourcen, bedingt sein, aber auch allein durch Unterschiede in der Strenge oder Effektivität der umweltpolitischen Regulierung. Letzteres wird in der Literatur als sog. *Pollution Haven Hypothese* diskutiert. Der empirische Nachweis dieses Einflusses von Umweltpolitik auf die Handelsmuster ist insgesamt schwierig, da etwa durch strengere umweltpolitische Vorgaben verursachte Vermeidungskosten nur einen von zahlreichen Kostenfaktoren darstellen, auch wenn einige Studien zumindest Anzeichen für den Effekt finden (vgl. Levinson und Taylor 2008, oder Cole 2004). Die Verlagerung umweltverschmutzender Sektoren ins Ausland liefert zugleich einen weiteren Ansatz zur Erklärung des EKC-Zusammenhangs, der auch den frühen empirischen Beobachtungen zur EKC und den optimistischen Schlussfolgerungen zur positiven Umweltwirkung von Wachstum entgegengehalten wurde.²⁴

Ändert sich die Nachfragestruktur eines Landes nach Gütern und Faktoren nicht, können sinkende Umweltintensitäten oder Umweltindikatoren deshalb neben technologischem Fortschritt auch lediglich Verlagerungen ins Ausland widerspiegeln. Bei grenzüberschreitenden bzw. global wirkenden Schadstoffen wie CO₂ werden dann Fortschritte in der Entkopplung von wirtschaftlicher Entwicklung und Umweltverschmutzung für das Land ausgewiesen, obwohl effektiv kein Fortschritt im Klimaschutz erzielt wurde und letztlich die wirtschaftlichen Aktivitäten der betrachteten Ökonomie über die Importnachfrage nach klimaschädlichen (Vor-)Produkten in unverändertem Maße die Freisetzung von CO₂ verursachen. *Carbon Footprint*-Konzepte versuchen diese Verzerrungen der Umweltindikatoren durch Handelsströme bzw. das sog. *Carbon Leakage* zu umgehen, indem sie statt eines produktionsbasierten Ansatzes einen konsumbasierten Ansatz zur Berechnung der CO₂-Emissionen eines Landes heranziehen. Über diesen sollen alle Emissionen erfasst werden, die zur Erzeugung der in einem Land konsumierten Güter und Dienstleistungen notwendig waren – unabhängig davon, ob diese Emissionen im Inland oder im Ausland freigesetzt wurden.²⁵

Über konsumbasierte Berechnungskonzepte können mit Hilfe ökonometrischer Analysen Aussagen etwa zum tatsächlichen Einfluss klimapolitischer Maßnahmen auf die Entwicklung der Emissionen sowie zur Bedeutung der Carbon Leakage-Problematik abgeleitet werden. So zeigt sich etwa für den Einfluss des Kyoto Protokolls, dass in den beteiligten Kyoto-Ländern zwar die heimischen Emissionen relativ zur Kontrollgruppe der nicht am Kyoto-Protokoll beteiligten Länder abnahmen (vgl. Aichele und Felbermayr 2011b), die Carbon Footprints der einzelnen Länder jedoch weitgehend unverändert blieben bzw. zum Teil sogar anstiegen (vgl. Aichele und Felbermayr 2011a). Diese Ergebnisse deuten entsprechend auf eine massive Verlagerung von Emissionen in nicht-beteiligte Länder hin.

Abbildung 5.8 und 5.9 stellen den Stand der Entkopplung von (Einkommens-)Wachstum und CO₂-Emissionen in den OECD-Ländern auf Basis der nachfragebasierten sowie der produktionsbasierten Berechnung der Emissionen gegenüber. Die Ergebnisse sind nicht unmittelbar vergleichbar, da Zeiträume von unterschiedlicher Länge und unterschiedliche Maße für die wirtschaftliche Entwicklung betrachtet werden. Auffällig ist jedoch dennoch, dass es für den produktionsbasierten Ansatz in allen Ländern zumindest zu einer relativen Entkopplung und in zahlreichen Ländern sogar zu einer absoluten Entkopplung kam, während auf Grundlage des nachfragebasierten Ansatzes letztere für nahezu kein Land nachgewiesen werden kann und für einige Länder im Gegenteil sogar überhaupt keine Entkopplung von wirtschaftlicher Entwicklung und CO₂-Emissionen abgebildet wird.

²⁴ Vgl. etwa Dinda (2004); Copeland und Taylor (2004); Arrow et al. (1995); Cole (2004).

²⁵ Vgl. zu den konzeptionellen Grundlagen der Berechnungskonzepte etwa OECD (2011); Aichele und Felbermayr (2011a); Lippelt et al. (2011).

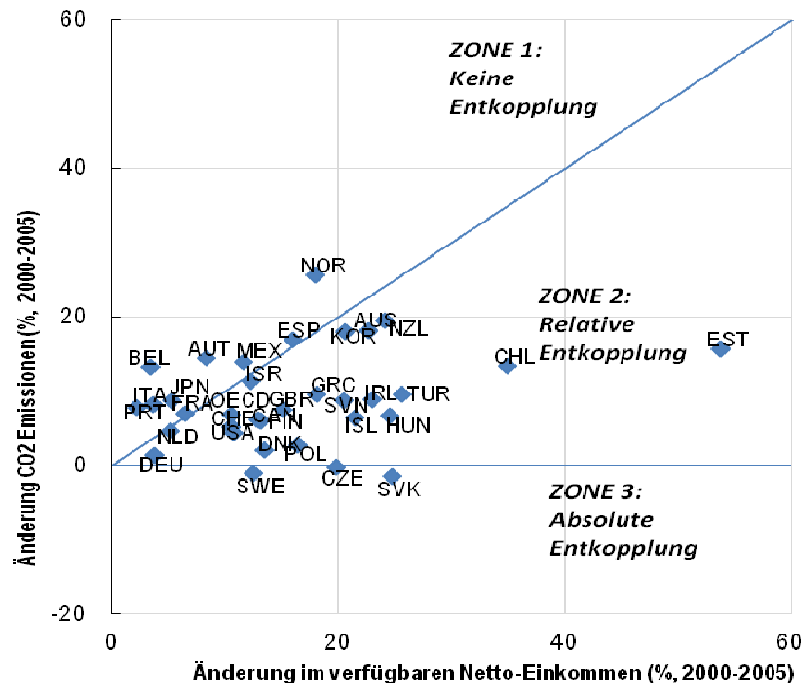


Abbildung 5.8: Veränderung der CO₂-Emissionen gemäß nachfragebasiertem Berechnungsansatz gegenüber der Veränderung des verfügbaren Netto-Einkommens zwischen 2000 und 2005. Quelle: OECD (2011a).

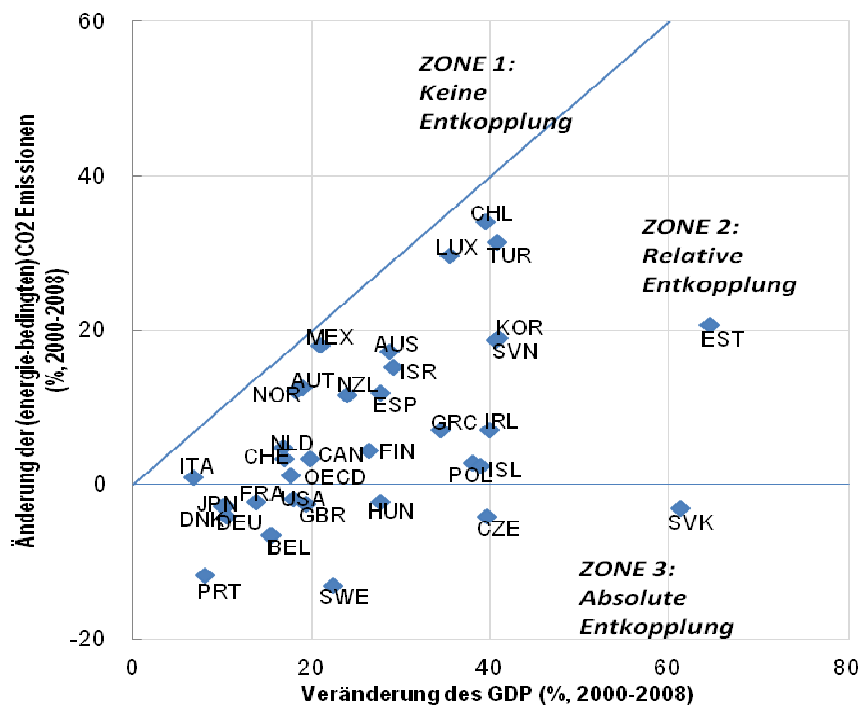


Abbildung 5.9: Veränderung der energiebedingten CO₂-Emissionen gemäß produktionsbasiertem Berechnungsansatz vs. Veränderung des GDP zwischen 2000 und 2008. Quelle: OECD (2011a).

5.4 Grüne Investitionen

Umweltschutzmaßnahmen sind zwar kostenintensiv, jedoch mit erheblichen positiven externen Effekten verbunden. Darüber hinaus schaffen sie neue Märkte für Umwelterzeugnisse und -dienstleistungen. Im Folgenden werfen wir einen Blick auf die Entwicklung der Umweltschutzausgaben in der vergangenen Dekade auf europäischer Ebene sowie die entsprechende Entwicklung in Deutschland. Als Umweltschutzausgaben sind dabei „alle Ausgaben für sinnvolle Maßnahmen zur direkten Vermeidung, Verringerung und Beseitigung von Verschmut-

zungen oder sonstigen Umweltbelastungen“ definiert (EuroStat, 2011). Sie sind die Summe aus laufenden Ausgaben und Umweltschutzinvestitionen.²⁶

Entwicklung der Umweltschutzausgaben in den Ländern der EU-27

Die Umweltschutzausgaben sowohl der Industrie als auch des öffentlichen Sektors der EU-27-Länder verzeichneten im Zeitraum zwischen 2003 und 2008 mit 28% einen erheblichen Zuwachs (vgl. Abbildung 5.9). In 2008 jedoch war krisenbedingt ein Knick in diesem positiven Trend zu beobachten, wobei das in 2009 erreichte Niveau mit insgesamt 138 Mrd. € immer noch um 23% über dem Wert des Jahres 2003 lag.

Bei den Umweltschutzausgaben der Industrie war der positive Trend getragen von der Entwicklung in Großbritannien, Finnland, Spanien und Portugal sowie den osteuropäischen Mitgliedstaaten (Bulgarien, der Tschechischen Republik, Estland, Litauen, Rumänien, Slowenien, Slowakei), die die Ausgaben im betrachteten Zeitraum teilweise verdoppelt hatten. In Italien und Österreich waren die Umweltschutzausgaben der Industrie hingegen rückläufig, in Polen, Schweden und Deutschland in etwa konstant, wobei in Deutschland zwischenzeitlich (2004–2006) ein signifikanter Rückgang zu beobachten war. Die Umweltschutzausgaben des öffentlichen Sektors waren im betrachteten Zeitraum in fast allen EU-Mitgliedstaaten, insbesondere in Spanien (+70%), Frankreich (+38%) und Italien (+20%), im Steigen begriffen.

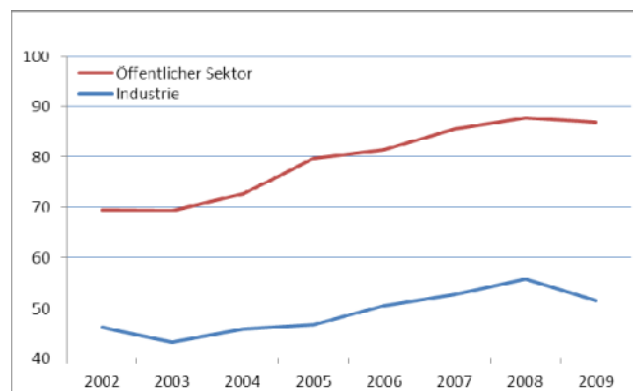


Abbildung 5.10: Umweltschutzausgaben des öffentlichen Sektors und der Industrie in den EU-27-Ländern (in Mrd. €). Quelle: EuroStat (2011).

Die Entwicklung in Deutschland

Die Umweltschutzausgaben in Deutschland tendierten zwischen 1996 und 2007 insgesamt leicht abwärts (vgl. Abbildung 5.10). Der Rückgang des Gesamtvolumens der deutschen Umweltschutzausgaben von 35,8 auf 33,9 Mrd. € im genannten Zeitraum ist auf den Rückgang des Engagements der Industrie (-2,4 Mrd. €) sowie die rückläufigen staatlichen Umweltschutzausgaben (-5 Mrd. €) zurückzuführen. Die Umweltschutzausgaben des öffentlichen Sektors als auch jene der Industrie sanken von über 21,7 Mrd. € in 1996 auf 14,3 Mrd. € in 2007. Der auf den ersten Blick dramatische Rückgang der öffentlichen Ausgaben für den Umweltschutz erklärt sich allerdings durch die umfangreiche Auslagerung öffentlicher Umweltschutzmaßnahmen auf privatisierte Unternehmen, deren Ausgaben, wie an Abbildung 5.11 zu erkennen ist, im selben Zeitraum sehr deutlich (+5,5 Mrd. €) zugenommen haben. Der auf den ersten Blick deutliche Rückgang der Umweltschutzausgaben der Industrie ist seinerseits u.a. durch einen statistischen Sondereffekt bedingt, denn in der amtlichen Statistik werden seit dem Jahr 1996 die integrierten Umweltschutzinvestitionen im produzierenden Gewerbe nicht mehr erfasst. Dieser Posten hatte einen Anteil in der Größenordnung von 10–15% der gesamten industriellen Umweltschutzinvestitionen.

²⁶ Umweltschutzinvestitionen sind als „alle innerhalb eines bestimmten Jahres getätigten Ausgaben für Maschinen, Ausrüstungen und Grundstücke, die dem Umweltschutz dienen“ definiert.

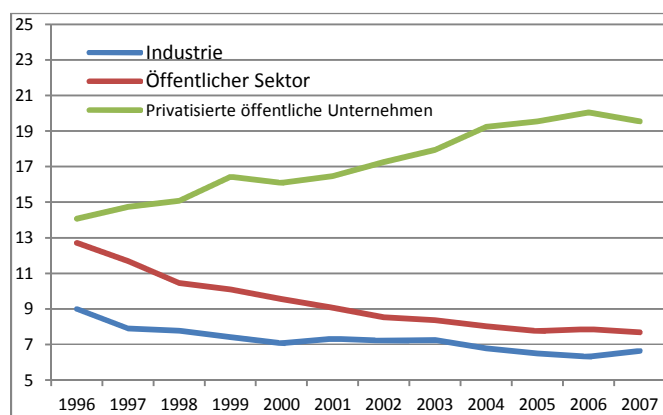


Abbildung 5.11: Entwicklung der Umweltschutzausgaben in Deutschland, 1996–2007 (Mrd. €). Quelle: Statistisches Bundesamt (2011b).

Abschließend soll die nachfolgende tabellarische Übersicht (vgl. Tabelle 5.1) einen Eindruck von der Verteilung der Umweltschutzinvestitionen der Industrie auf die einzelnen, in der Statistik berücksichtigten, Bereiche vermitteln. Bei der entsprechenden Erhebung des Statistischen Bundesamtes wird zwischen den Bereichen Abfallwirtschaft, Gewässerschutz, Lärmbekämpfung, Luftreinhaltung, Naturschutz und Landschaftspflege, Bodensanierung sowie Klimaschutz unterschieden. Der Umweltbereich "Klimaschutz" wird dabei zudem noch in "Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Emissionen von Kyoto-Treibhausgasen", "Energieeffizienzsteigerung und Maßnahmen zur Energieeinsparung" sowie "Nutzung erneuerbarer Energien" unterteilt.

Bundesland	Investitionen für den Umweltschutz insgesamt	Davon im Umweltbereich					
		Abfallwirtschaft	Gewässerschutz	Lärmbekämpfung	Luftreinhaltung	Klimaschutz	Naturschutz und Landschaftspflege + Bodensanierung
Baden-Württemberg	893,2	81,3	301,9	17,7	167,1	312,3	12,9
Bayern	327,9	26,8	110,6	7,6	54,8	120,8	7,3
Berlin	91,1	61,1	5,3	0,3	2,8	20,2	1,4
Brandenburg	151,7	23,9	75,3	1,2	3,4	47,5	0,4
Bremen	80,5	44,0	24,5	0,2	7,9	3,3	0,7
Hamburg	132,4	11,2	21,5	1,9	21,3	67,6	8,9
Hessen	302,4	29,0	185,1	2,2	21,7	61,8	2,6
Mecklenburg-Vorpommern	114,1	10,5	41,7	0,4	5,1	54,9	1,5
Niedersachsen	290,4	46,1	109,1	3,0	50,0	79,3	2,9
Nordrhein-Westfalen	1.253,5	67,3	512,7	12,1	191,6	446,5	23,3
Rheinland-Pfalz	504,9	61,7	302,6	3,6	43,3	91,1	2,6
Saarland	94,2	6,5	77,8	0,6	3,0	5,7	0,7
Sachsen	403,8	28,8	196,7	10,5	31,9	135,7	0,3
Sachsen-Anhalt	281,2	16,4	130,0	5,1	61,6	60,6	7,5
Schleswig-Holstein	172,1	19,1	106,0	0,8	36,6	9,4	0,4
Thüringen	172,5	19,6	101,0	0,7	5,9	42,5	2,9
Deutschland	5.266,0	553,3	2.301,8	67,9	708,0	1.559,2	76,2

Tabelle 5.1: Umweltschutzinvestitionen des Produzierenden Gewerbes in Deutschland nach Umweltbereichen (2009, in Mill. EUR, Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe). Quelle: Statistisches Bundesamt (2011e).

Der bei weitem größte Teil der Umweltschutzinvestitionen der deutschen Industrie entfällt auf den Bereich Gewässerschutz, gefolgt von den Bereichen Klimaschutz, Luftreinhaltung und Abfallwirtschaft. Wegen der besonderen Bedeutung der Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen seien an dieser Stelle einige detailliertere Zahlen genannt: Im Jahr 2009 investierte das Produzierende Gewerbe ca. 637 Mill. € in Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Emissionen von Kyoto-Treibhausgasen, rund 589 Mill. € flossen in Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung und Energieeinsparungen und etwa ein Viertel der Klimaschutzinvestitionen (398,0 Mill. €) gaben Unternehmen für Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien aus (vgl. auch Abbildung 5.12).

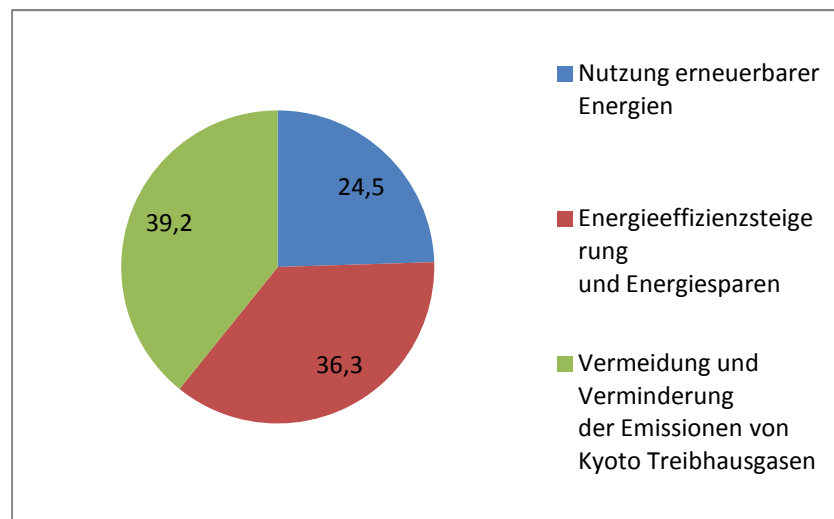


Abbildung 5.12: Umweltschutzinvestitionen für den Klimaschutz im Produzierenden Gewerbe (verschiedene Maßnahmen in % der Investitionsausgaben). Quelle: Statistisches Bundesamt (2011c).

6. Umwelt, Ressourcenproduktivität und internationale Wettbewerbsfähigkeit

Die vorangegangenen Abschnitte haben verschiedene Aspekte der Ressourcenproduktivität und Umweltschonung dargestellt. Das nun folgende Kapitel wird zunächst den Effekt von Umweltregulierungen auf den Unternehmenserfolg theoretisch wie empirisch darstellen. Anschließend werden die Motive gewinnmaximierender Firmen für Investitionen in Ressourcenproduktivität aufgegriffen und empirische Literatur diskutiert.

6.1. Regulierung, Innovationen und Produktivität

6.1.1 Die Porter-Hypothese

Die Beziehung zwischen umweltfreundlichem Handeln und Wettbewerbsfähigkeit wurde lange Zeit als Trade-off zwischen gesamtgesellschaftlichen Vorteilen und privat zu tragenden Kosten verstanden; während von besserer Luft alle profitieren, hat das Unternehmen die Kosten dafür alleine zu tragen. Unter der Annahme, dass Firmen bereits ihre kostenminimierenden Entscheidungen getroffen haben, erhöhen Regulierungen zwangsläufig die Kosten. Als Folge daraus wird das Unternehmen weniger produzieren (oder gleich viel zu höheren Kosten), was somit unausweichlich den Anteil des Unternehmens am globalen Markt reduziert.

Die bestehende Argumentationsweise trifft allerdings die implizite Annahme, dass rationale Unternehmen jede Gelegenheit zur Gewinnmaximierung ergreifen bzw. bereits umgesetzt haben. Dementsprechend kann eine Regulierung keine Innovation induzieren, die, falls gewinnbringend, nicht ohnehin schon vorgenommen worden wäre. Porter allerdings argumentiert, dass diese Sichtweise nicht zutrifft. Als Gründe hierfür führt er unvollkommene Informationen, organisatorische Trägheit und mangelnde Anreizkompatibilität an.

Nach der Theorie von Porter und Van der Linde (1995) begünstigt Regulierung die Entstehung von Innovationen aus verschiedenen Gründen: Zum einen wird hierdurch die Unsicherheit darüber reduziert, ob Investitionen in umweltfreundlichere Technologien wertschaffend sind; größere Sicherheit über die Rentabilität einer Innovation erhöht die Investitionsanreize. Des Weiteren erhöht Regulierung den Druck auf Unternehmen zu innovieren. Generell zeigen bestehende Forschungsergebnisse, dass externer Druck (z.B. von starken Wettbewerbern, anspruchsvollen Kunden, steigenden Materialpreisen oder eben Regulierung) auf den Innovationsprozess vorteilhaft sein kann, um organisatorische Trägheit zu überwinden oder kreatives Denken zu stimulieren.

Darüber hinaus argumentiert Porter, dass die Einsparungen durch die regulierungsinduzierten Innovationen die daraus entstandenen Kosten überkompensieren können, was letztlich zwei Gründe haben kann. Vorteile auf der Produktseite entstehen, wenn Umweltregulierung nicht nur zu weniger Umweltverschmutzung, sondern gleichzeitig auch zu qualitativ hochwertigeren Produkten oder niedrigeren Produktionskosten (z.B. wegen weniger Verpackung) führt. Von Prozessvorteilen spricht man dann, wenn neben rücksichtsvollerem Umgang mit der Umwelt die Regulierung ebenfalls die Ressourcenproduktivität erhöht, z.B. durch intelligentere Verwendung von Nebenprodukten oder geringeren Energieverbrauch während der Produktion.

6.1.2 Empirische Evidenz

Die wissenschaftlichen Beiträge zur Porter-Hypothese können in zwei Gruppen geteilt werden: Die eine untersucht den Effekt von Regulierung auf Innovation und Technologien, die andere den auf Produktivität.

Innovation wird, wie in dieser Literatur üblich²⁷, in vielen Studien mit der Anzahl an Patenten gemessen (Jaffe und Palmer 1996, Brunnermeier und Cohen 2003, Popp 2001, Popp 2004). Jaffe und Palmer (1996) schätzen hierbei die Beziehung zwischen den Kosten für die Reduzierung des Schadstoffausstoßes (als Instrument für die Strenge der Regulierung) und der Anzahl an erfolgreich eingereichten Patenten. Ihre Ergebnisse suggerieren einen positiven Zusammenhang für diese Spezifikation. Allerdings finden sie keinen Effekt, wenn die abhängige Variable durch Ausgaben für Forschung und Entwicklung ersetzt wird. Andere Autoren (Arimura et al. 2007a,

²⁷ Vgl. Kapitel 3.2.3 Innovationen.

Johnstone et al. 2010, Lanoie et al. 2007) finden ebenfalls einen positiven Zusammenhang zwischen Innovation und Regulierung. Popp (2004) zeigt, dass die Einführung von umweltbezogener Regulierung in Deutschland und Japan eine Reihe relevanter Patentanmeldungen zur Folge hatte.

Der zweite empirische Ansatz untersucht den Effekt der Regulierung auf diverse Kennzahlen von Unternehmen bzw. deren Produktivität. Hierfür gibt es allerdings keine eindeutige Evidenz. Gollop und Roberts (1983) kommen beispielsweise zu dem Schluss, dass SO₂-Regulierungen das Produktivitätswachstum in den USA in den 1970er Jahren um 43% verlangsamt hat. Auf der anderen Seite belegen Berman und Bui (2001), dass regulierte Raffinerien in der Gegend um Los Angeles eine deutlich höhere Produktivität aufweisen als vergleichbare Raffinerien in anderen US-Bundesstaaten, obwohl Erstere deutlich strengeren Auflagen zu Luftverschmutzung unterlagen. Einen ähnlichen Standpunkt vertreten ebenso Alpay et al. (2002), die mit ihrer Studie zeigen, dass die Produktivität in der mexikanischen Lebensmittelindustrie mit dem Regulierungsdruck zunimmt.

Lanoie et al. (2007) sind die ersten Autoren, die beide empirischen Ansätze kombinieren und somit die gesamte Wirkungskette untersuchen. Hierfür nutzen sie OECD-Daten von über 4000 Unternehmen in sieben Industrienationen. Ihre Ergebnisse zeigen einen positiven und signifikanten Effekt von wahrgenommener Härte der Regulierung auf umweltbezogene Innovationen. Darüber hinaus zeigen sie, dass Innovationen einen signifikant positiven Effekt auf die Unternehmensrentabilität haben. Damit liefern sie die empirische Evidenz, dass Regulierung nicht nur Innovationen begünstigt, sondern angestoßenen Innovationen zusätzlich einen positiven Einfluss auf die Rentabilität von Unternehmen haben.

Jedoch argumentieren Lanoie et al. weiterhin, dass die Regulierung selbst einen negativen Effekt auf die Rentabilität von Unternehmen hat. Auch der Nettoeffekt ist nach ihren Ergebnissen negativ, da der positive Effekt der Innovation den negativen der Regulierung nicht zu kompensieren vermag. So gesehen ist Regulierung in der Summe kostspielig, allerdings nicht in dem Maße, in dem es die direkten Kosten der Regulierung suggerieren würden.

6.2. Ressourcenproduktivität und Unternehmensrentabilität

6.2.1 Wirkmechanismen

Der vorangegangene Abschnitt untersuchte den Effekt von Regulierung auf die Entstehung von Innovation und schlussendlich wie diese den Unternehmenserfolg beeinflussen. Aber auch ohne externen Druck durch Regulierung können Unternehmen Anreize haben, in grüne Technologien zu investieren. Firmen wägen hierfür die Kosten und Vorteile gegeneinander ab, wobei unter Kosten der ineffiziente Umgang mit Ressourcen subsumiert wird und das daraus entstehende Kosteneinsparpotential als Vorteil zählt (Boons und Wagner 2009).

Innerhalb dieses Forschungszweiges haben sich zwei unterschiedliche Perspektiven herauskristallisiert. Frühere Beiträge argumentieren für einen negativen Zusammenhang zwischen Vermeidung von Umweltschädigung und Rentabilität; ausgehend von der Annahme, dass ökologische Effizienz nur durch Investitionen verbessert werden kann. Diese jedoch schlagen sich wiederum in erhöhten (marginalen) Produktionskosten nieder. Bragdon und Marlin (1972) argumentieren, dass ein Unternehmen entweder die verursachte Verschmutzung kontrollieren oder seinen Gewinn maximieren kann, das Erstere jedoch auf Kosten des Letzteren komme. Die Vermeidung von Verschmutzung erfolgt demzufolge aufgrund von Philanthropie und nicht aus gewinnmaximierendem Kalkül (Friedman 2007).

Die zweite, neuere, Perspektive argumentiert hingegen für einen positiven bzw. nichtlinearen Zusammenhang. Diesem Standpunkt liegt die Annahme zugrunde, dass Firmen Kosten durch effizienteren Umgang mit Ressourcen sparen könnten. Abgesehen davon wird häufig argumentiert, dass Unternehmensführer die Chancen von Müllvermeidung unterschätzen (King und Lenox 2002). Denn dadurch, dass der Müll bereits vor seiner Entstehung vermieden würde, ergäben sich signifikante Potentiale zur Prozessverbesserung, die andernfalls bei der anschließenden umweltgerechten Entsorgung nicht entstanden wären. Nach Ansicht dieser Autoren (Ashford

und Heaton Jr 1983, Porter und Van der Linde 1995) können diese Prozessoptimierungen die dafür anfallenden Kosten überkompensieren.

Allerdings scheint dieser Zusammenhang nicht notwendigerweise linear zu sein. Ab einem gewissen Punkt werden die Kosten für Müllvermeidung die Ersparnisse der optimierten Prozesse übersteigen, so dass der kombinierte Effekt wieder abnimmt und schlussendlich ins Negative dreht.

6.2.2 Empirische Evidenz

Die Zusammenfassung der Ergebnisse vielfältiger Studien zu diesem Thema ergibt, dass es keine eindeutigen Ergebnisse für den Zusammenhang von Ressourcenproduktivität und Unternehmenserfolg gibt. Obwohl es tendenziell wenig Evidenz für einen negativen Effekt gibt, reicht das Spektrum der Resultate dennoch von negativ über insignifikant bis stark positiv.

Hart und Ahuja (1996) zeigen beispielsweise, dass Vermeidung von Luftverschmutzung den finanziellen Erfolg eines Unternehmens (gemessen in Return on Sales (ROS), Return on Assets (ROA) und Return on Equity (ROE)) für eine Auswahl von S&P500-Unternehmen positiv beeinflusst. Für ein ähnliches Sample suggerieren die Ergebnisse von Konar und Cohen (2001), dass die Vermeidung von toxischen chemischen Emissionen eine positive Wirkung auf Tobin's Q (Marktwert-Buchwert-Verhältnis) hat. Dieselbe Schlussfolgerung ziehen auch King und Lenox (2002), die dieselbe Ausgangslage für börsennotierte amerikanische Firmen im produzierenden Gewerbe untersuchen.

Auf der Gegenseite zeigen Wagner et al. (2001) mit ihren Ergebnissen, dass ein nachlässigerer Umgang mit der Umwelt allerdings den Return on Capital Employed (ROCE) erhöht und keinen signifikanten Effekt auf Kennzahlen wie ROS oder ROE hat.

Iwata und Okada (2010) allerdings suggerieren mit ihrer Studie, dass der Effekt von ökologischer Effizienz auf die Kennzahlen des Unternehmens vielmehr von der Art des Umweltproblems abhängt. Die Resultate für Abfallvermeidung zeigen grundsätzlich keinen statistisch signifikanten Effekt, wohingegen die Vermeidung von Treibhausgasen die meisten langfristig ausgelegten Kennzahlen positiv beeinflusst. Kurzfristige Kennzahlen wie ROS allerdings werden nicht signifikant beeinflusst. Die Autoren ziehen daraus den Schluss, dass Investoren und Aktionäre tendenziell an der langfristigen Performance interessiert sind. Stakeholder wie Kunden oder Handelspartner hingegen zeigen in der kurzen Frist kein großes Interesse an nachhaltigem Umgang mit der Umwelt seitens des Unternehmens.

Auch wenn die präsentierten Ergebnisse stark heterogen in ihren Implikationen sind, so findet sich dennoch ein gemeinsamer Nenner in den meisten Studien. Ein rücksichtsvollerer Umgang mit der Umwelt ist für große Firmen aus ökonomischer Sicht in aller Regel nicht nachteilhaft (Boons und Wagner 2009). Der Umkehrschluss kann jedoch für kleine Firmen nicht gezogen werden.

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, herauszustellen, welche Faktoren das Wirtschaftswachstum der letzten Jahre in besonderem Umfang beeinflusst haben und welche Zusammenhänge dabei zwischen Veränderungen im BIP-Wachstum und der gesamtwirtschaftlichen Produktivität bestehen. Darüber hinaus sollten die Determinanten der Entwicklung des Faktorverbrauchs im Zuge wirtschaftlicher Entwicklung sowie der Einfluss von Regulierung und erhöhter Ressourcenproduktivität auf unternehmerisches Kalkül geklärt werden.

Für ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum spielt neben den geleisteten Arbeitsstunden die Arbeitsstundenproduktivität eine entscheidende Rolle. Dabei zeichnet sich ein kontinuierlicher Rückgang im Wachstum der deutschen Arbeitsproduktivität über den Zeitraum von 1991 bis 2005 ab. Trotz einer Erholung in 2006 war der darauf folgende Einbruch während der Finanz- und Wirtschaftskrise stärker als in den USA. Die seit Mitte der 1990er Jahre voranschreitende Produktivitätsdivergenz zwischen Deutschland und USA wird somit weiterhin durch aktuelle Daten gestützt.

Neben einer Reihe von potentiellen Einflussfaktoren auf das Produktivitätswachstum belegen empirische Ergebnisse, dass insbesondere Innovationen in der IKT-Industrie maßgeblich zur Beschleunigung des Produktivitätswachstums beigetragen haben. Allerdings fokussieren sich diese Beiträge größtenteils auf den Zeitraum nach 1995 in den USA; für Deutschland fallen die Effekte geringer aus. Auch dem Humankapital wird ein positiver Effekt auf die Produktivität zugeschrieben. Allerdings ist der Anteil der tertiären Bildung in Deutschland verhältnismäßig gering, so dass die Ergebnisse hierfür nur bedingt anwendbar sind.

Die Ergebnisse zum Zusammenhang von Wachstum, Ressourcenproduktivität und Umwelteffizienz zeigen für Deutschland eine merkbare Entkopplung des Ressourcenverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Produktion. Allerdings zeichnet der internationale Vergleich ein deutlich heterogeneres Bild. Während in OECD-Ländern größtenteils eine relative Entkopplung mit Tendenzen zur absoluten Entkopplung erkennbar ist, weisen Entwicklungs- und Schwellenländer häufig noch keine vergleichbare Entwicklung auf.

Die positiven Ergebnisse in Bezug auf Deutschland und andere Industrienationen müssen allerdings kritisch gesehen werden, da herkömmliche Statistiken den Ressourceneinsatz und die CO₂-Emissionen, welche bei der Produktion von importierten Gütern anfallen, nur unzureichend erfassen. Um die Entkopplung der Endnachfrage von Ressourceneinsatz und Umweltnutzung abzubilden, müsste eine konsumbasierte, lebenszyklusorientierte Betrachtungsweise gewählt werden. So kommen Studien, die beispielsweise die Entwicklung des Carbon Footprint für Deutschland untersuchen, zu dem Ergebnis, dass sich der Rückgang der produzierten Emissionen nicht im Carbon Footprint widerspiegelt.

Es wurde weiterhin darauf hingewiesen, dass dem Indikator Ressourcenproduktivität nur eine begrenzte Aussagekraft zugeschrieben werden kann, da er häufig als Durchschnitt über sämtliche Ressourcen berechnet wird und zudem keine Aussage über die wirtschaftliche wie auch die absolute Knappheit von Ressourcen erlaubt.

Die grundsätzliche Frage nach den langfristigen Grenzen der Dematerialisierung kann ex ante kaum beantwortet werden. Die ökonomische Literatur ist hier gespalten, da die Potenziale von Substituierbarkeit und Produktivitätssteigerung unterschiedlich beurteilt werden. Ist die Produktion langfristig hinreichend flexibel, so wird die Anreizwirkung von Preisen und Regulierung als ausreichend eingeschätzt, um die notwendigen Investitionen in effizienzsteigernde Technologien und damit langfristiges Wachstum zu generieren.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, den Effekt von Regulierung auf Unternehmen zu untersuchen. Empirische Ergebnisse zeigen, dass externer Druck durch Regulierung einen signifikant positiven Einfluss auf die Innovationstätigkeit von Unternehmen hat. Gleichwohl diese Arbeiten weiterhin einen positiven Effekt von Innovation auf Unternehmenserfolg postulieren, bleibt der Nettoeffekt von Regulierung auf Unternehmenserfolg negativ.

Die Befunde zum Thema Ressourcenproduktivität und Unternehmenserfolg votieren größtenteils, gleichwohl nicht unisono, für einen positiven Zusammenhang. Obwohl der schonende Umgang mit Ressourcen kostenin-

tensiv ist, ergeben sich dennoch durch eine schlankere Produktion Kostensenkungspotentiale, welche in der langen Frist die entstandenen Kosten überkompensieren können.

8. Literaturverzeichnis

- Aaronson, D. und D. Sullivan (2001), Growth in Worker Quality, *Economic Perspectives*, Federal Reserve Bank of Chicago.
- Acemoglu, D. (1998), Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality, *Quarterly Journal of Economics*, 113, 1055–1090.
- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. und D. Hemous (2009), Directed Technical Change and the Environment, NBER Working Paper No. 15451.
- Aghion, P. und P. Howitt (1998), *Endogenous Growth Theory*, Cambridge MA: The MIT Press.
- Aichele, R. und G. Felbermayr (2011a), Kyoto and the Carbon Footprint of Nations, ifo Working Paper Nr. 103.
- Aichele, R. und G. Felbermayr (2011b), What a Difference Kyoto Made: Evidence from Instrumental Variables Estimation, ifo Working Paper Nr. 102.
- Albrecht, J., Triebswetter, U. und J. Lippelt (2010), Kurz zum Klima: Seltene Erden: Chinas Weltmonopol bei Hightechinputs, ifo Schnelldienst, 63(22), 64-67.
- Alpay, E., Buccola, S. und J. Kerkvliet (2002), Productivity growth and environmental regulation in Mexican and US food manufacturing, *American Journal of Agricultural Economics*, 887–901.
- Andreoni, J. und A. Levinson (2001), The simple analytics of the environmental Kuznets curve, *Journal of Public Economics*, 80(2), 269-286.
- Antweiler, W., Copeland, B.R. und M.S. Taylor (2001), Is Free Trade Good for the Environment?, *American Economic Review*, 91(4), 877-908.
- Arimura, T., Hibiki, A. und N. Johnstone (2007a), An empirical study of environmental R&D: what encourages facilities to be environmentally innovative, *Environmental Policy and Corporate Behaviour*, Cambridge University Press, Cheltenham, 142–173.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., Jansson, B.-O., Levin, S., Mäler, K.-G., Perrings, C. and D. Pimentel (1995), Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment, *Science*, 268, 520-521.
- Aschauer, D.A. (1989), Is Public Expenditure Productive?, *Journal of Monetary Economics*, 23, 177–200.
- Ashford, N.A. und G.R. Heaton Jr. (1983), Regulation and technological innovation in the chemical industry. *Law & Contemp. Probs.*, 46, 109.
- Aslanidis, N. (2009), Environmental Kuznets Curves for Carbon Emissions: A Critical Survey, *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper Nr. 75*.
- Aslanidis, N. und S. Iranzo (2009), Environment and development: is there a Kuznets curve for CO₂ emissions?, *Applied Economics*, 41, 803-810.
- Baily, M.N. und R.Z. Lawrence (2001), Do We Have a New E-Conomy?, *American Economic Review*, 91(2), 308–312.
- Barbier, E.B. (1999), Endogenous Growth and Natural Resource Scarcity, *Environmental and Resource Economics*, 14, 51-74.
- Basu, S., Fernald, J., Oulton, N. und S. Srinivasan (2003), The Case of the Missing Productivity Growth, or Does Information Technology Explain Why Productivity Accelerated in the United States but Not in the United Kingdom? *NBER Macroeconomics Annual*, 18.
- Benarroch, M. und R. Weder (2006), Intra-industry trade in intermediate products, pollution and internationally increasing returns, *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(3), 675-689.
- Berman, E. und L.T.M. Bui (2001), Environmental regulation and productivity: evidence from oil refineries. *Review of Economics and Statistics*, 83(3), 498–510.
- Bernard, A. und J. B. Jensen (1999), Exceptional exporter performance: cause, effect, or both?, *Journal of International Economics*, 47, 1–25.

- Bilbao-Osorio, B. und A. Rodríguez-Pose (2004), From R&D to innovation and economic growth in the EU, *Growth and Change*, 35(4), 434–455.
- Binswanger, M., Beltrani, G., Jochem, A. und O. Schelske (2005), Wachstum und Umweltbelastung: Findet eine Entkopplung statt?, *Umwelt-Materialien* Nr. 198, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Boons, F. und M. Wagner (2009), Assessing the relationship between economic and ecological performance: Distinguishing system levels and the role of innovation. *Ecological Economics*, 68(7), 1908–1914.
- Bosworth, B. P. und J. E. Triplett (2004), *Productivity in the U.S. Services Sector: New Sources of Economic Growth*, Washington DC: Brookings Institution Press.
- Boulhol, H. und L. Turner (2009), *Employment-Productivity Trade-off and Labour Composition*, OECD Economics Department Working Papers, No. 698, OECD Publication.
- Bragdon, J.H. und J. Marlin (1972), Is pollution profitable?, *Risk management*, 19(4), 9–18.
- Bresnahan, T.F. und M. Trajtenberg (1995), General Purpose Technologies: Engines of Growth?, *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108.
- Bretschger, L., Smulders, S. und H. Egli (2010), Economic Growth and the Diffusion of Clean Technologies: Explaining Environmental Kuznets Curves, *Environmental and Resource Economics*, 49, 79-99.
- Bringezu, S., Schütz, H. und S. Moll (2003), Rationale for and Interpretation of Economy-wide Material Flow Analysis and Derived Indicators, *Journal of Industrial Ecology*, 7(2), 43-64.
- Bringezu, S., Schütz, H., Steger, S. und J. Baudisch (2004), International Comparison of Resource Use and its Relation to Economic Growth - The development of Total Material Requirement, Direct Material Inputs and Hidden Flows and the structure of TMR. *Ecological Economics*, 51, 97–124.
- Brock, W.A. und M.S. Taylor (2005), Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics, in: P. Aghion und S. N. Durlauf (Hrsg.), *Handbook of Economic Growth* vol. 1B.
- Brunnermeier, S.B. und M.A. Cohen (2003), Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(2), 278–293.
- Brynjolfsson, E. und L.M. Hitt (2003), Computing Productivity: Firm-Level Evidence, *The Review of Economics and Statistics*, 85 (4), 793–808.
- Brynjolfsson, E. und A. Saunders (2009), *Wired for Innovation: How Information Technology is Reshaping the Economy*, Cambridge, MA: The MIT Press.
- Bundesbank (2009), Zur Entwicklung der staatlichen Investitionsausgaben, Monatsbericht Oktober, Bundesbank.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2011), Kreislaufwirtschaft- Abfall nutzen – Ressourcen schonen“, online verfügbar unter: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_kreislaufwirtschaft_bf.pdf.
- Bundesregierung (2002), *Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*, Berlin.
- Büttner, T. und M. Ruf (2007), Tax Incentives and the Location of FDI: Evidence from a Panel of German Multinationals, *International Tax and Public Finance*, 14, 151–64.
- Caldara, D. und C. Kamps (2008), What are the Effects of Fiscal Policy Shocks? A VAR-Based Comparative Analysis, ECB Working Paper 877, Europäische Zentralbank, Frankfurt am Main.
- Carson, R.T. (2010), The Environmental Kuznets Curve: Seeking Empirical Regularity and Theoretical Structure, *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(1), 3-23.
- Clerides, S.K., Lach, S. und J.R. Tybout (1998), Is Learning by Exporting Important? Microdynamic Evidence from Colombia, Mexico, and Morocco, *The Quarterly Journal of Economics*, 113, 903-47.
- Cole, M.A. (2004), Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages, *Ecological Economics*, 48, 71-81.

- Colecchia, A. und P. Schreyer (2002), ICT Investment and Economic Growth in the 1990s: Is the United States a Unique Case? A Comparative Study of Nine OECD Countries, *Review of Economic Dynamics*, 5(2), 408–442.
- Conference Board (2011), The Conference Board – Total Economy Database, September 2011.
- Copeland, B.R. und M.S. Taylor (1994), North–South trade and the environment, *Quarterly Journal of Economics*, 109, 755–787.
- Copeland, B.R. und M.S. Taylor (2004), Trade, Growth, and the Environment, *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7-71.
- Crosby, M. (2000), Patents, innovation and growth. *Economic Record*, 76(234), 255–262.
- Daly, H.E. und Farley, J. (2004), *Ecological Economics: Principles and Applications*, Washington DC.
- Daly, H.E. (1994), Operationalizing Sustainable Development by Investing in Natural Capital, in: Jansson et.al. (Hrsg.), *Investing in Natural Capital*, Washington.
- Daly, H.E. (1995), On Wilfred Beckerman's Critique of Sustainable Development, *Environmental Values*, 4, 49-55.
- Daly, H.E. (1997), Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz, *Ecological Economics* 22, 261-266.
- Dasgupta, P.S. und G.M. Heal (1974), The Optimal Depletion of Exhaustible Resources, *Review of Economic Studies*, 41, 3-28 .
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H. und D. Wheeler (2002), Confronting the Environmental Kuznets Curve, *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147- 168.
- Dearden, L., Reed, H. und J. Van Reenen (2006), The Impact of Training on Productivity and Wages: Evidence from British Panel Data, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 68(4), 397–421.
- Devereux, M. und R. Griffith (1998), Taxes and the location of production: evidence from a panel of US multinationals, *Journal of Public Economics*, 68 (3), 335–367.
- Dinda, S. (2004), Environmental Kuznets Curves Hypothesis: A Survey, *Ecological Economics*, 49, 431-455.
- EEA (2010), *Die Umwelt in Europa, Zustand und Ausblick 2010. Synthesebericht*, online verfügbar unter: <http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/translations/die-umwelt-in-europa-2014>.
- Eicher, T.S. und O. Roehn (2007), Sources of the German Productivity Demise: Tracing the Effects of Industry-Level Information and Communication Technology Investment, *German Economic Review*, 8(2), 211–236.
- Eicher, T.S. und T. Strobel (2008), Der deutsche Produktivitätsabschwung: Ursachenforschung auf Branchenebene, *ifo Schnelldienst*, 61(15), 33–40.
- Esty, D.C. und M.E. Porter (2005), National environmental performance: an empirical analysis of policy results and determinants, *Environmental and Development Economics*, 10, 391-434.
- European Commission (DG ENV) (2011), A project under the Framework contract ENV.G.4/FRA/2008/0112, Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste – SR1, Final Report Task 2, February 2011. Verfügbar online unter: http://eu-smr.eu/cdw/docs/BIO_Construction%20and%20Demolition%20Waste_Final%20report_09022011.pdf.
- EuroStat (2009), *Nachhaltige Entwicklung in der Europäischen Union - Fortschrittsbericht über die EU-Strategie für nachhaltige Entwicklung 2009*, Brüssel.
- EuroStat (2011), *Umweltschutzausgaben in Europa - detaillierte Daten (Nace Rev. 1.1,[env_ac_exp1])*, verfügbar online: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
- Friedman, M. (2007), The social responsibility of business is to increase its profits, *Corporate ethics and corporate governance*, 173–178.
- Garg, P.C. und J.L. Sweeney (1978), Optimal Growth with Depletable Resources, *Resources and Energy*, 1, 43-56.
- Georgescu-Roegen, N. (1973), The Entropy Law and the Economic Problem, in: Daly, H. E. (Hrsg.), *Economics, Ecology, Ethics: Essays Toward a Steady State Economy*, San Francisco.

- Georgescu-Roegen, N. (1979), *Energy Analysis and Economic Valuation*, *Southern Economic Journal*, 45, 1023-1058.
- Georgescu-Roegen, N. (1986), *Man and Production*, in: Baranzini, M./Scazzieri, R. (Hrsg.), *Foundations of Economics*, Oxford.
- Gollop, F.M. und M.J. Roberts (1983), *Environmental regulations and productivity growth: The case of fossil-fueled electric power generation*. *The Journal of Political Economy*, 654–674.
- González, J.F. (2010), *Empirical evidence of direct rebound effect in Catalonia*, *Energy Policy*, 38(5), 2309-2314.
- Gordon, R.J. (2003), *Exploding Productivity Growth: Context, Causes, and Implications*, *Brookings Papers on Economic Activity*, 2, 207–298.
- Gordon, R.J. (2010), *Revisiting U. S. Productivity Growth over the Past Century with a View of the Future*, NBER Working Paper 15834, National Bureau of Economic Research, Boston.
- Gramlich, E. (1994), *Infrastructure Investment: A Review Article*, *Journal of Economic Literature*, 32(3), 1176–1196.
- Grimaud A. und L. Rougé (2003), *Non-renewable Resources and Growth with Vertical Innovations: Optimum, Equilibrium and Economic Policies*, *Journal of Environmental Economics and Management*, 45, 433-453.
- Grimaud, A. und L. Rouge (2008), *Environment, Directed Technical Change, and Economic Policy*, *Environmental and Resource Economics*, 4, 439-463.
- Grossman, G.M. und A.B. Krueger (1991), *The environmental impacts of a North American Free Trade Agreement*, NBER Working Paper No. 3914.
- Grossman, G.M. und A.B. Krueger (1995), *Economic Growth and the Environment*, *The Quarterly Journal of Economics*, 110, No. 2, 353-377.
- Hanley, N., McGregor, P.G., Swales, J.K. und K. Turner (2009), *Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability?*, *Ecological Economics*, 68, 692-709.
- Hanushek, E.A. und L. Wößmann (2011), *The Economics of International Differences in Educational Achievement*, in E.A. Hanushek, S. Machin und L. Woessmann (Hrsg.), *Handbook of the Economics of Education*, Amsterdam, North Holland: Elsevier.
- Harbaugh, W.T., Levinson, A. und D. M. Wilson (2002), *Reexamining the Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve*, *The Review of Economics and Statistics*, 84, Nr. 3, 541-551.
- Hart, S.L. und G. Ahuja (1996), *Does it pay to be green? An empirical examination of the relationship between emission reduction and firm performance*, *Business strategy and the Environment*, 5(1), 30–37.
- Heiduk, G. und K. Wong (Hrsg.) (2005), *WTO and world trade: challenges in a new era*, Heidelberg.
- Inklaar, R., Timmer, M. P. und B. van Ark (2008), *Market services productivity across Europe and the US.*, *Economic Policy*, 23(53), 139–194.
- Iwata, H. und K. Okada (2010), *How does environmental performance affect financial performance? Evidence from Japanese manufacturing firms*.
- Jaffe, A. B., Newell, R. G. und R. N. Stavins (2005), *A Tale of two market failures: Technology and environmental policy*, *Ecological Economics*, 54, 164-174.
- Jaffe, A.B. und K. Palmer (1996), *Environmental regulation and innovation: a panel data study*, National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass.
- Johannson, A., Heady, C., Arnold, J., Brys, B. und L. Vartia (2008), *Tax and Economic Growth*, OECD Economic Working Paper 620. Paris.
- Johnstone, N., Haščič, I. und D. Popp (2010), *Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts*. *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133–155.
- Jorgenson, D. und K.-Y. Yun (2001), *Lifting the Burden: Tax Reform, the Cost of Capital, and U.S. Economic Growth*, Cambridge, MA: The MIT Press.

- Jorgenson, D.W., Ho, M.S. und K.J. Stiroh (2005), *Productivity – Information Technology and the American Growth Resurgence*, 3, Cambridge, MA: MIT Press.
- Jorgenson, D.W., Ho, M.S. und K.J. Stiroh (2008), A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence, *Journal of Economic Perspectives*, 22 (1), 3–24.
- Jovanovic, B. und P.L. Rousseau (2005), *General Purpose Technologies*, NBER Working Papers 11093, National Bureau of Economic Research, Boston.
- Keil, T. (2010), Substitution or technological progress: a production theoretic perspective on the sustainability debate.
- Kijima, M., Nishide, K. und A. Ohyama (2010), Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey, *Journal of Economic Dynamics & Control*, 34, 1187-1201.
- King, A. und M. Lenox (2002), Exploring the locus of profitable pollution reduction. *Management Science*, 289–299.
- Konar, S. und M.A. Cohen (2001), Does the market value environmental performance? *Review of Economics and Statistics*, 83(2), 281–289.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.H., Haberl, H. und M. Fischer-Kowalski (2009), Growth in global materials use, GDP and population during the 20th Century, *Ecological Economics*, 68(10), 2696-2705.
- Kristof, K., Liedtke, C., Lemken, T. und C. Baedeker (2008), Erfolgsfaktoren für eine erfolgreiche Ressourcenpolitik: Kostensenkung, Rohstoffsicherheit, Arbeitsplätze und Umweltschutz, Paper zu Arbeitspaket 8 des Projekts Materialeffizienz und Ressourcenschonung, Wuppertal.
- Lanoie, P., Laurent-Lucchetti, J., Johnstone, N. und Ambec, S. (2007), Environmental policy, innovation and performance: new insights on the Porter hypothesis, CIRANO.
- Levinson, A. und M.S. Taylor (2008), Unmasking the pollution haven effect, *International Economic Review*, 49(1), 223-254.
- Lieb, C.M. (2002), The Environmental Kuznets Curve – A Survey of the Empirical Evidence and of Possible Causes, Universität Heidelberg Discussion Paper No. 391.
- Lippelt, J., Ketterer, J. und G. Ruta (2011), Kurz zum Klima: Ein Rucksack voller Kohlenstoff, ifo Schnelldienst, Nr. 7.
- Lovely, M. und D. Popp (2011), Trade, technology, and the environment: Does access to technology promote environmental regulation?, *Journal of Environmental Economics and Management*, 61, 16-35.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. und W. W. Behrens III (1972), *The Limits to Growth*, New York: Universe Books.
- Mai, C.-M. (2010), Der Arbeitsmarkt im Zeichen der Finanz- und Wirtschaftskrise, *Wirtschaft und Statistik* 3/2010, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Melitz, M. (2003), The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity, *Econometrica*, 71(6), 1695–1725.
- Melitz, M. und G. Ottaviano (2008), Market Size, Trade, and Productivity, *The Review of Economic Studies*, 75(1), 295–316.
- Netzwerk Ressourceneffizienz (2011), Internetauftritt, online verfügbar unter www.netzwerk-ressourceneffizienz.de, abgerufen am 25.10.2011.
- Neumayer, E. (2003), *Weak Versus Strong Sustainability*, Cheltenham: Edward Elgar.
- Nickell, S. (1998), Unemployment: Questions and some Answers, *The Economic Journal*, 108, 802–816.
- OECD (2007), *International investment perspectives: Freedom of investment in a changing world*, Paris: OECD Publishing.
- OECD (2008a), *Measuring material flows and resource productivity – Volume I, The OECD Guide*, Chapter 4, OECD, Paris.

- OECD (2008b), *Measuring material flows and resource productivity – Synthesis Report*, OECD, Paris.
- OECD (2011a), *Towards Green Growth: Monitoring Progress*, OECD Indicators, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2011b), verfügbar online: <http://stats.oecd.org/Index.aspx>.
- Okun, A.M. (1962), *Potential GNP: its measurement and significance*, Proceedings of the Business and Economic Statistics Section, American Statistical Association, 98-103.
- Oliner, S.D. und D.E. Sichel (2000), *The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story?*, *The Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 3–22.
- Oliner, S.D. und D.E. Sichel (2002), *Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going?*, *Federal Reserve Bank of Atlanta Economic Review*, 87(3), 15–44.
- Overesch, M. und G. Wamser (2010), *The Effects of Company Taxation in EU Accession Countries on German FDI*, *Economics of Transition*, 18, 429–57.
- Pearce, D. (2004), *Growth and the Environment: Can we have both?*, *The World Bank Group – Environment Matters*, Annual Review July 2003 – June 2004.
- Popp, D. (2001), *Pollution control innovations and the Clean Air Act of 1990*, National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass.
- Popp, D. (2004), *International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NOX and SO₂ regulation in the US, Japan, and Germany*, National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA.
- Porter, M.E. und C. Van der Linde (1995), *Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship*, *The Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118.
- Requate, T. (2005), *Dynamic incentives by environmental policy instruments – a survey*, *Ecological Economics*, 54, 175-195.
- Rohn, H., Lang-Koetz, C., Pastewski, N. und M. Lettenmeier (2009), *Identifikation von Technologien, Produkten und Strategien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial - Ergebnisse eines kooperativen Auswahlprozesses*, Meilensteinbericht zu AP 1 des MaRes-Projektes des Wuppertal Institut, Wuppertal.
- Romer, P.M. (1990), *Endogenous Technological Change*, *Journal of Political Economy*, 98, 71-102.
- Sanchez-Robles, B. (1998), *Infrastructure investment and growth: Some empirical evidence*, *Contemporary Economic Policy*, 16, 98–108.
- Schmookler, J. (1966), *Invention and economic growth*, Harvard University Press Cambridge, MA.
- Scholz, C.M. und G. Ziemes (1999), *Exhaustible Resources, Monopolistic Competition and Endogeneous Growth*, *Environmental and Resource Economics*, 13, 169-185.
- Schou, P. (1996), *A Growth Model with Technological Progress and Non-renewable Resources*, Mimeo, University of Copenhagen.
- Schütz, H. und M. Ritthoff (2006), *Steigerung der Ressourcenproduktivität als Kernstrategie einer nachhaltigen Entwicklung, Arbeitspaket 1 (Messung)*, Projekt im Auftrag des BMBF, Wuppertal.
- Schwellnus, C. und J. Arnold (2008), *Do Corporate Taxes Reduce Productivity and Investment at the Firm Level? Cross-Country Evidence from the Amadeus Dataset*, OECD Economics Department Working Papers 641, Paris: OECD Publishing.
- Schwerdt, G. und J. Turunen (2007), *Growth in Euro Area Labor Quality*, *Review of Income and Wealth*, 53(4), 716–734.
- Sedgley, N.H. (2006), *A Time Series Test of Innovation-driven Endogenous Growth*, *Economic Inquiry*, 44(2), 318–332.
- Selden, T. und D. Song (1995), *Neoclassical Growth, the J Curve for Abatement, and the Inverted U Curve for Pollution*, *Journal of Environmental Economics and Management*, 29(2), 162–68.
- Shafik, N. und S. Bandyopadhyay (1992), *Economic Growth and Environmental Quality: Time series and Cross Country Evidence*, World Bank Working Paper WPS 904, World Bank.

- Sinn, H.-W. (2008), *Das Grüne Paradoxon*, Berlin: Econ Verlag.
- Solon, G., Barsky, R. und J. Parker (1994), Measuring Cyclicity of Real Wages: How Important Is Composition Bias, *Quarterly Journal of Economics*, 109, 1–26.
- Solow, R.M. (1974), The Economics of Resources or the Resources of Economics, *American Economic Review*, 64, 1-14.
- Solow, R. M. (1997), Reply - Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz, *Ecological Economics*, 22, 267-268.
- Soytas, U. und R. Sari (2003), Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets, *Energy Economics*, 25, 33-37.
- Statistisches Bundesamt (2010), *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Indikatorenbericht 2010*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011a), *Begriffserläuterung Abiotische Rohstoffe*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011b), *Genesis-Online Datenbank*, online verfügbar unter: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online;jsessionid=4582399ED08EC71BB8ED8BD588BB533C.tomcat_GO_1_1?operation=previous&levelindex=3&levelid=1321350283625&step=3.
- Statistisches Bundesamt (2011c), *Investitionen für den Umweltschutz im Produzierenden Gewerbe 2008*, Fachserie 19, Reihe 3.1, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011d), *Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Indikatoren zu Umwelt und Ökonomie*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011e), *Umweltschutzinvestitionen nach Umweltbereichen*, online verfügbar unter: http://www.statistikportal.de/statistik-portal/de_jb10_jahrtabu6.asp.
- Statistisches Bundesamt (2011f), *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung*, Wiesbaden.
- Stern, D.I. (2004), The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve, *World Development*, 32(8), 1419-1439.
- Stern, D.I. (2006a), Reversal of the trend in global anthropogenic sulfur dioxide emissions, *Global Environmental Change*, 16, 207-220.
- Stern, D.I. (2010), Between estimates of the emissions-income elasticity, *Ecological Economics*, 69, 2173-2182.
- Stern, N. (2006b), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Stiglitz, J.E. (1974), Growth with Exhaustible Natural Resources: I) Efficient and Optimal Growth, II) The Competitive Economy, *Review of Economic Studies Symposium*, 41, 123-152.
- Stiglitz, J.E. (1979), A Neoclassical Analysis of the Economics of Natural Resources, in: Smith, V. K. (Hrsg.), *Scarcity and Growth Reconsidered*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Stiglitz, J.E. (1997), Reply - Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz, *Ecological Economics*, 22, 269-270.
- Stiroh, K.J. (2002), Are ICT Spillovers Driving the New Economy?, *Review of Income and Wealth*, 48(1), 33–57.
- Stiroh, K.J. und M. Botsch (2007), Information Technology and Productivity Growth in the 2000s, *German Economic Review*, 8(2), 255–280.
- Themelis, N.J. und S.M. Kaufman (2004), Waste in a land of plenty – Solid waste generation and management in the United States, *Waste Management World*, Sept.-Oct., 23 -28.
- Timmer, M.P., Ypma, G. und B. van Ark (2003), *IT in the European Union: Driving Productivity Divergence?*, Research Memorandum GD-67, Growth and Development Centre, Groningen.
- Tsurumi, T. und S. Managi (2010), Decomposition of the Environmental Kuznets Curve: Scale, Technique, and Composition Effects, *Environmental Economics and Policy Studies*, 11, 19-36.
- Umweltbundesamt (2008), *Ressourcenverbrauch von Deutschland - aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen*, Dessau-Roßlau.

- Umweltbundesamt (2009), Rohstoffproduktivität, Stand Juli 2009, online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodelident=2893>; abgerufen am 09.11.2011.
- Umweltbundesamt (2010a), Rohstoffeffizienz - Wirtschaft entlasten, Umwelt schonen, online verfügbar unter: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4038.html>
- Umweltbundesamt (2010b), Recycling stoppt Treibhausgase – Der Beitrag der Kreislauf- und Wasserwirtschaft zum Klimaschutz, online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3893.html>.
- Umweltbundesamt (2011a), Klimarelevanz der Abfallwirtschaft, online verfügbar unter: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4061.html>
- Umweltbundesamt (2011b), Papierverbrauch und Verwertung von Altpapier, online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodelident=2314>.
- UNEP (2011), Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A., United Nations Environmental Programme (UNEP), Paris.
- Vandenbussche, J., Aghion, P. und C. Meghir (2005), Growth, Distance to Frontier and Composition of Human Capital, CEPR Discussion Paper 4860, Center for Economic and Policy Research, Washington, DC.
- Vijverberg, C.-P.C. und W.P.M. Vijverberg (2007), Diagnosing the Productivity Effect of Public Capital in the Private Sector, *Eastern Economic Journal*, 33(2), 207–230.
- Vollebergh, H.R.J., Melenberg, B. und E. Dijgraaf (2008), Identifying reduced-form relations with panel data: The case of pollution and income, *Journal of Environmental Economics and Management*, 58, 27-42.
- Wagner, M., Schaltegger, S. und W. Wehrmeyer (2001), The relationship between the environmental and economic performance of firms: what does theory propose and what does empirical evidence tell us? *Greener Management International*, 34, 95–108.
- Wagner, M. (2008), The Carbon Kuznets Curve: A cloudy Picture Emitted by bad Econometrics?, *Resource and Energy Economics*, 30(3), 388-408.
- WCED (The World Commission on Environment and Development) (1987), *Our Common Future* [The Brundtland Report], Oxford: Oxford University Press.