

Die Erfindung, der Einsatz und die Verbreitung sauberer Energietechnologien gelten als wichtige Hebel im Kampf gegen den globalen Klimawandel. Zwei Indikatoren – FuE(D)-Ausgaben und Patente – ermöglichen eine quantitative Einschätzung potenzieller Energieinnovationen. Ein Vergleich zwischen Technologien (insbesondere zwischen Energie-, Klimaschutz- und anderen Technologien), zwischen Ländern und über die Zeit zeigt, dass die Energieforschung über einen Zeitraum von 25 Jahren gegenüber anderen Technologiebereichen an Gewicht verloren hat und erst in den letzten Jahren, nicht zuletzt durch die Aktivitäten der Schwellenländer, Boden gut machen konnte. Der Anteil der potenziellen Klimaschutzausgaben an den energiebedingten FuE-D-Ausgaben hat jedoch mehr oder weniger beständig zugenommen. Die Zahl potenzieller Klimaschutzpatente wächst zugleich schneller als die Zahl der Patente bei fossil-nuklearen Technologien. Ebenso hat sich der Anteil potenzieller Klimaschutzpatente an allen Patenten, trotz länderspezifischer Besonderheiten, in den letzten 25 Jahren beständig erhöht. Generell ist von einem Übergewicht von Technologien der Energieangebotsseite gegenüber Maßnahmen der Energieeffizienz und -einsparung auszugehen, was unter dem Gesichtspunkt kostengünstiger Emissionsminderung als problematisch zu werten ist.

Weltweit decken fossile Energieträger zu rund 80% den Primärenergieverbrauch. Dabei konnten, anders als in Deutschland, Kohle, Öl und Gas ihre dominierende Stellung im Markt in den letzten 60 Jahren sogar noch leicht erhöhen, trotz der Entwicklung der Kernenergie und des Ausbaus moderner erneuerbarer Energien. Der weltweite Einsatz von Kohle stieg zwischen 1950 und 2010 um etwas mehr als 200%, von Erdöl um fast 700% und der Einsatz von Erdgas (von geringem Ausgangsniveau) um mehr als 1 300% (vgl. BMWi 2011). Da bei der Verbrennung der fossilen Energieträger unausweichlich CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen, stiegen diese von 5 Mrd. t im Jahr 1950 auf heute 31 Mrd. t pro Jahr. Gemäß des sog. Current-policies-Szenarios der Internationalen Energieagentur ist bis 2035 mit einer Steigerung des Energiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen um je ca. 50% gegenüber 2009 zu rechnen (IEA 2011). Folge des Anstiegs der Treibhausgasemissionen ist wiederum die Erhöhung der globalen Jahresmitteltemperatur um fast 0,8° C von 1900 bis heute. Legt man das Current-policies-Szenario der IEA zugrunde, erhöht sich die Temperatur um durchschnittlich mindestens 6° C bis zum Jahr 2035. Das wäre eine eklatante Verletzung des 2°-Ziels bzw. des Ziels der Verringerung der weltweiten Treibhausgasemissionen um 50–80% bis zum Jahr 2050. Um dieses Ziel zu erreichen, wäre

eine jährliche Verringerung der CO<sub>2</sub>-Intensität um ca. 5–6% bei einem unterstellten jährlichen BIP-Wachstum von etwa 3% erforderlich. Bislang wurde aber selbst in Europa die CO<sub>2</sub>-Intensität zwischen 2000 und 2009 um durchschnittlich 2% pro Jahr nur verringert. Angesichts dieser Herausforderungen ist, neben Verhaltensanpassungen und Substitutionsprozessen sowie einer Begrenzung des Bevölkerungs- und ggf. Wirtschaftswachstums pro Kopf, insbesondere eine regelrechte Technologierevolution erforderlich (vgl. Galiana und Green 2009). Die Erfindung, der Einsatz und die Verbreitung neuer sauberer Technologien, vor allem auf der Energieangebots- und Energienachfrageseite, sind daher wichtige Instrumente auf dem Weg zu einer Welt mit niedrigem Emissionsniveau.

Energietechnologische Innovationen werden üblicherweise entlang der verschiedenen Phasen des Innovationsprozesses und der dort wirksamen Einflussgrößen analysiert: Forschung, Entwicklung, Demonstration, Marktformierung und Diffusion (vgl. Gallagher et al. 2012). Die Analyse wird dadurch erschwert, dass nicht immer alle Phasen für die Generierung von Innovationen nötig (z.B. Innovationsaktivitäten ohne formelle FuE) und die Phasen oft mehrfach miteinander rückgekoppelt sind. Differenziert wird häufig auch zwischen Inputs, Outputs und Outcomes

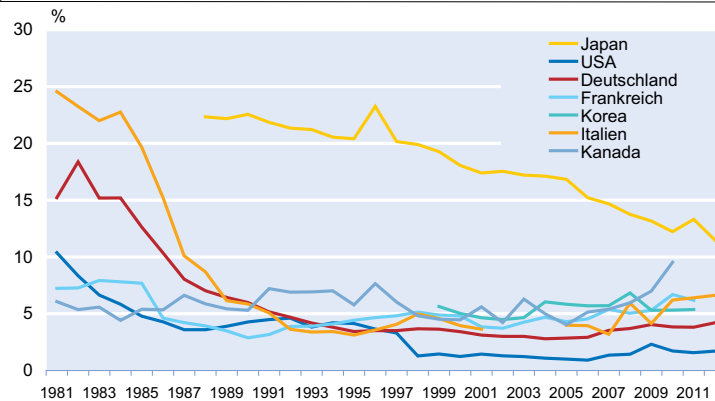
von Innovationssystemen, wobei unter Inputs z.B. FuE-Ausgaben oder der Einsatz von Humankapital gezählt werden, Outputs z.B. über die Zahl der Patente oder über die Zahl/Kapazität eingesetzter Technologien approximiert und Outcomes etwa über die Marktpenetration, Lernraten, die realisierten ökonomischen Produktivitätsgewinne und die verringerte CO<sub>2</sub>- bzw. Energieintensität gemessen werden (vgl. Gallagher et al. 2011).

An dieser Stelle soll anhand von Indikatoren eine erste quantitative Einschätzung zur Entwicklung von (möglichen) Energieinnovationen im Ländervergleich gegeben werden. Dabei wird auch auf verschiedene Arten von Energietechnologien und einen Vergleich mit der Innovationsstätigkeit insgesamt abgestellt, um die jeweiligen Trends und Spezialisierungsprofile zu verdeutlichen. Angesichts datenbedingter und methodischer Schwierigkeiten von Ländervergleichen wird hier vereinfacht nur auf zwei oft genutzte und leicht verfügbare Maßgrößen zurückgegriffen: FuE-Ausgaben als Input und Patente als (intermediären) Output. In beiden Fällen können die gewünschten technologischen Differenzierungen getroffen und langfristige Trends aufgezeigt werden.

### Ausgaben für Forschung, Entwicklung und Demonstration

Einen ersten Überblick über FuE-Ausgaben im Allgemeinen und energiebedingte FuE-Ausgaben im Besonderen liefern die Daten der OECD und der Internationalen Energieagentur (IEA). In beiden Fällen beziehen sich die Daten im Wesentlichen nur auf die Mitgliedsländer und auf öffentlich finanzierte Budgetausgaben. Etwas enger gefasst sind die sog. GBAORD-Daten (*government budget appropriations on research and development*) der OECD, die es ermöglichen, die gesamten Ausgaben nach sozioökonomischen Zielen zu untergliedern, darunter das Ziel der »Produktion, Verteilung und rationellen Nutzung von Energie«. Bezogen auf die für die Energieforschung wichtigsten Länder lässt sich gegenüber den frühen 1980er Jahren mit einem Anteil von durchschnittlich 13% an den Gesamtausgaben ein deutlich rückläufiger Trend erkennen (vgl. Abb. 1).<sup>1</sup> Seit dem Tiefpunkt im Jahre 2006 (5,5% im Durchschnitt) lässt sich erst am aktuellen Rand ein Anstieg auf rund 6% erkennen. Der Rückgang ist dabei besonders in

**Abb. 1**  
Anteil der energiebedingten FuE-Ausgaben an den öffentlichen FuE-Gesamtausgaben



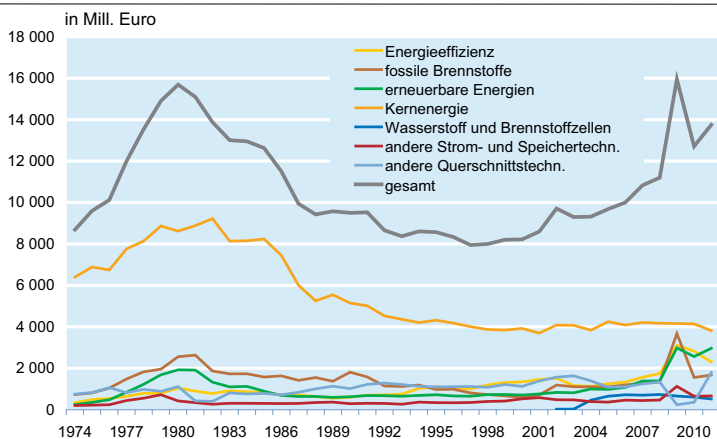
Quelle: OECD, Government Budget Appropriations or Outlays for R&D.

Italien, Deutschland, den USA und in dem für die Energieforschung führenden Japan deutlich erkennbar, während dies in Frankreich und Kanada nur bedingt bzw. gar nicht der Fall ist. Insgesamt zeichnet sich ab, dass die gesamten öffentlichen FuE-Ausgaben beständig gewachsen sind, während die energierelevanten FuE-Ausgaben deutlichen Zyklen unterliegen und kumuliert unter relativen Unterinvestitionen leiden.

Detaillierte Analysen für die Energieforschung ermöglichen die Daten der IEA, die etwas weiter gefasst sind und prinzipiell auch Demonstrationsvorhaben (FuED) einschließen (vgl. Gallagher et al. 2011 zu den Schwächen dieser Daten). Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der FuED-Ausgaben insgesamt und nach den sieben unterschiedenen Oberkategorien für alle IEA-Länder. Da die Daten bis Mitte der 1970er Jahre zurückreichen, lässt sich zu Beginn der Betrachtungsperiode noch ein Anstieg der Ausgaben im Zuge der iranischen Ölkrise beobachten. Daraufhin folgen eine längere Abwärtsbewegung mit einem Tiefpunkt im Jahr 1997 und dann ein zunächst moderater und anschließend rasanter Anstieg bis zum Jahr 2009, als im Zuge der Wirtschafts- und Finanzkrise die Energieforschungsausgaben in einigen Ländern sprunghaft angestiegen sind. Den größten Anteil an den kumulierten Ausgaben hat mit 52% mit Abstand die Nuklearenergie. Ihr Anteil ist von 74% (1974) mehr oder weniger stetig zurückgegangen und erreicht seit 2007 nur noch Werte von unter 40% (28% im Jahr 2011). Der zweitgrößte Anteil kumulierter Ausgaben fällt auf fossile Energieträger mit 13%, wobei der Kurvenverlauf dem Verlauf der Gesamtausgaben recht ähnlich ist. Es folgen mit jeweils etwa 10% die Bereiche Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Entgegen dem Gesamtkurvenverlauf lässt sich hier seit 1989 (jeweils 6%) ein langsamer und zuletzt deutlicher Anteilsgewinn feststellen, der auf die sich intensivierende Klimaschutzdiskussion hindeutet. Auf ebenfalls knapp 10%igen Anteil kommen mit einem seit Anfang der

<sup>1</sup> Die Datenlage für etliche OECD-Länder ist vor allem in den 1980er Jahren schlecht. Allerdings gibt es Länder, bei denen Energieforschung grundsätzlich von geringer Relevanz ist (z.B. in Österreich mit einem durchschnittlichen Anteil von 1% über 32 Jahre oder Portugal mit 2% über 27 Jahre).

Abb. 2  
Energiebedingte FuED-Ausgaben insgesamt und nach Oberkategorien



Quelle: IEA, Energy Technology R&D Statistics.

1980er Jahre leicht zunehmenden Trend Querschnittsforschungen und -technologien (z.B. Energiesystemanalysen), die auch wesentlich mit dem Thema Klimaschutz und Umgestaltung des Energiesystems zusammenhängen dürften. Insgesamt zeigen die Anteile der Ausgabenbereiche eine starke Fokussierung auf das Energieangebot. Erst am aktuellen Rand ist ein stärkerer Ausgabenanteil auf der Nachfrageseite (Energieeffizienz, Energienutzung, Energiedienstleistungen) erkennbar.<sup>2</sup>

Neben öffentlichen FuED-Ausgaben im Energiebereich spielen auch Ausgaben des Privatsektors eine wichtige Rolle, wobei deren genaue Höhe, Struktur und Entwicklung mangels regelmäßig erhobener Daten höchstens grob geschätzt werden können. Grübler et al. (2012) gehen davon aus, dass von 50 Mrd. US-Dollar (PPP) globalen Energieforschungsausgaben 15 Mrd. US-Dollar auf den öffentlichen und 35 Mrd. US-Dollar auf den privaten Sektor fallen.<sup>3</sup> Den genannten Autoren zufolge werden private Forschungsmittel – ähnlich wie öffentliche Gelder – vorwiegend in Energieangebotstechnologien investiert, wobei zumindest ältere Untersuchungen auf Schwerpunkte bei fossilen und nuklearen Technologien hindeuten. Mit Ausnahme Japans haben private FuE-Investitionen in Energieeffizienz dagegen eine untergeordnete Bedeutung. Zumindest nach amerikanischen Daten scheinen öffentliche und private FuED-Investitionen ähnlichen Trends zu folgen. Möglicherweise senden zusätzliche öffentliche FuED-Ausgaben bzw. breit angelegte FuED-Programme ein Signal

<sup>2</sup> Wilson et al. (2012) zeigen, dass diese einseitige Ausrichtung auch für andere Inputindikatoren des Innovationssystems (z.B. durchgeführte Technologiekooperationen, Technologie-Roadmaps und vorherrschende Art der Analyse und Modellierung des Energiesystems) gilt. Zugleich zeigen sie auf der Output- und Outcome-Seite von Innovationssystemen anhand von Indikatoren, dass die Energienachfrageseite gegenüber der Energieangebotsseite deutlich höhere ökonomische und ökologische Potenziale bietet.

<sup>3</sup> Gallagher et al. (2012) gehen demgegenüber von einer Aufteilung von 27 Mrd. US-Dollar (öffentlich) und 23 Mrd. US-Dollar (privat) aus.

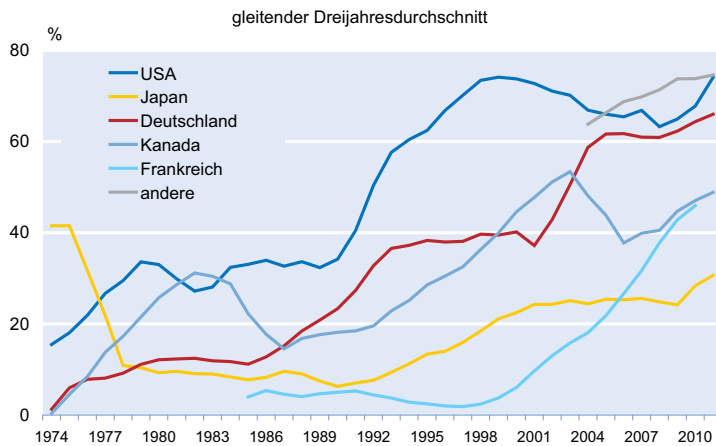
an private Investoren, ihrerseits ihre FuED-Mittel zu erhöhen (und umgekehrt bei fallenden öffentlichen Ausgaben zu senken).

Im Folgenden wird – wiederum lediglich anhand der öffentlichen FuED-Mittel – versucht, einen Indikator zu generieren, der den Anteil potenzieller Klimaschutzausgaben bei FuED im Zeitablauf und im Vergleich zu den in der Energieforschung wesentlichen Ländern darstellt.<sup>4</sup> Dem Klimaschutz werden dabei die Bereiche Energieeffizienz, erneuerbare Energien, CO<sub>2</sub>-Speicherung und -lagerung, Querschnittstechnologien, Stromspeicherung und Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien hinzugerechnet, während der verbleibende Anteil auf Nuklearenergie, fossile Energieträger und allgemeine Energieumwandlungs-, Verteil- und Übertragungstechnologien fällt. Kumuliert über die Jahre 2004–2011 fallen die größten Klimaschutz-FuED-Ausgaben mit Abstand auf die USA (21,4%), gefolgt von Japan (7,8%), Deutschland (2,8%), Frankreich (2,4%) und Kanada (2,3%). Für etliche kleinere Länder ist dieser Prozentsatz naturgemäß kleiner. Dafür tätigen einige von ihnen ihre energiebezogenen FuED-Ausgaben fast ausschließlich im Bereich potenzieller Klimaschutztechnologien (z.B. Dänemark, Schweden, die Niederlande).

Für die fünf, absolut in der Energieforschung bedeutsamsten Länder zeigt Abbildung 3 diesen Indikator im Zeitablauf. Deutlich wird ein durchschnittlicher Anteilsgewinn von etwa 15% Mitte der 1970er Jahre auf 60% am aktuellen Rand. Allerdings wird der wachsende Trend zu klimaschutzbezogenen FuED-Ausgaben durch Trendbrüche und länderspezifische Entwicklungen »gestört«. So hat etwa Japan auf die Ölkrise mit einem deutlichen Anstieg der nuklearen Forschungsausgaben und in den frühen 1980er Jahren auch der Kohle-, Öl- und Gasforschungsausgaben reagiert, während die potenziellen Klimaschutzmittel zunächst rückläufig waren (insbesondere 1977) und dann bis Mitte der 1990er Jahre mehr oder weniger auf demselben Niveau stagnierten. In Kanada wird der Anteilsgewinn potenzieller Klimaschutztechnologien zweimal deutlich ausgebremst, Mitte der 1980er Jahre vor allem durch geringere Klimaschutzausgaben und Mitte der 2000er Jahre in erster Linie durch höhere Mittel für die Kernenergie. Relativ gleichmäßig verläuft der Anteilsgewinn in den USA, Deutschland und Frankreich, wobei die starken Wachstumsphasen zeitlich auseinanderfallen. Einen hohen und seit 2004 wachsenden Anteil der Klimaschutztechnologien weisen auch alle anderen IEA-Länder auf, die hier zusammengefasst werden. Abgesehen von einigen dieser »anderen Länder« orientieren sich von allen großen Ländern anteilmäßig die USA am stärksten an potenziellen Klimaschutztechnologien in den letzten Jahrzeh-

<sup>4</sup> Zur besseren Darstellung des Trends werden gleitende Dreijahresdurchschnitte verwendet.

**Abb. 3**  
**Anteil potenzieller Klimaschutzausgaben an energiebedingten FuED-Ausgaben im Ländervergleich**



Quelle: IEA, Energy Technology R&D Statistics; Berechnungen des ifo Instituts.

ten.<sup>5</sup> Dies scheint erstaunlich angesichts der bremsenden Rolle der USA in der internationalen Klimapolitik.

Die IEA-Daten erweisen sich für einen globalen Überblick zu den Energieforschungsausgaben als zunehmend ungeeignet. Der Grund dafür liegt in der wachsenden Bedeutung aufstrebender Schwellenländer. So ergeben Schätzungen für die sog. BRIMCS-Länder (Brasilien, Russland, Indien, Mexiko, China, Südafrika), dass die öffentlichen FuED-Ausgaben bereits 2008, dem letzten Jahr verfügbarer Schätzungen, leicht über dem Niveau aller IEA-Länder lagen (13,8 Mrd. US-Dollar gegenüber 12,7 Mrd. US-Dollar (PPP)) (vgl. Gallagher et al. 2011). Unter Hinzurechnung anderer Finanzierungsquellen (regionale/lokale Regierungen, Industrie, halbstaatliche Unternehmen, NGOs) ergibt sich sogar ein Volumen von etwa 18,6 Mrd. US-Dollar (PPP). Den mit Abstand größten Anteil an den öffentlichen FuED-Mitteln im Energiebereich der BRIMCS-Länder nimmt China ein (85,5%), gefolgt von Indien (8,4%) und den anderen drei Ländern. Bei den anderen Finanzierungsquellen spielen neben China (27,3%) auch Brasilien (28,3%) und Russland (19,2%) eine bedeutendere Rolle.

China konnte dabei zwischen 2000 und 2008 seine energiebezogenen FuED um jah-

<sup>5</sup> Wenn man allerdings die Kernenergie unter die Klimaschutztechnologien subsumiert, liegt der Anteil der Klimaschutztechnologien an allen Energietechnologien eines Landes in Deutschland, Japan und zeitweise auch Frankreich höher als in den USA. Zudem ist der über die Zeit wachsende Trend zu Gunsten von Klimaschutztechnologien in allen Ländern deutlich weniger stark erkennbar.

<sup>6</sup> Auch unter den IEA-Ländern rücken bei einer Betrachtung der energiebezogenen FuED-Ausgaben relativ zum BIP zum Teil andere Länder in den Fokus. Am forschungsintensivsten sind demnach Finnland, Ungarn, Japan, Kanada und Dänemark.

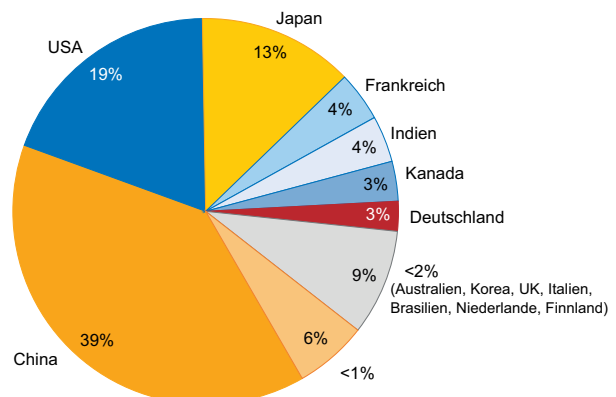
resdurchschnittlich 40% erhöhen, während die allgemeinen FuED-Mittel nur mit einer durchschnittlichen Rate von rund 20% wuchsen. Weitere Mittel sind zudem infolge der Wirtschafts- und Finanzkrise vor allem im Jahr 2009 investiert worden. Unter Einbeziehung der Schwellenländer ist nach diesen Schätzungen China mit Abstand das Land mit den größten öffentlichen Energieforschungsausgaben (vgl. Abb. 4). Auch Indien nimmt mit 4% der Ausgaben noch vor Deutschland den fünften Platz der Länder (IEA + BRIMCS) ein. Bei einer entsprechenden Gewichtung dieser absoluten Daten verblasst die herausgehobene Stellung Chinas und der anderen Schwellenländer allerdings wieder deutlich. Ausgedrückt in FuE-Ausgaben (*gross expenditures on R&D, GERD*) pro Einheit BIP erreicht China nur etwa 60% des Durchschnitts

der fünf größten IEA-Länder (USA, Japan, Deutschland, Frankreich, Kanada). Relativ zur Bevölkerung sind es sogar nur etwa 10%.<sup>6</sup> Auffällig ist im Fall Chinas schließlich auch noch der geringe Anteil der Grundlagenforschung an der gesamten FuE. Er beläuft sich auf lediglich 5%, während er in den größeren OECD/IEA-Ländern typischerweise zwischen 40 und 60% liegt. So fließen etwa drei Viertel der chinesischen FuE-Mittel in die experimentelle Entwicklung und weitere 20% in die angewandte Forschung (vgl. Walz et al. 2008). Die Forschung in China ist damit stark auf die Aneignung und Weiterentwicklung importierter Technologien gerichtet, weniger auf die für eine Technologierevolution im Energiebereich als notwendig angesehene Entwicklung von Basistechnologien.

Die Aufteilung der Energieforschungsmittel in den BRIMCS-Ländern auf die verschiedenen Energietechnologien und Einsatzbereiche erweist sich mangels geeigneter Daten und

**Abb. 4**  
**Anteil der Länder an den Energieforschungsausgaben**

IEA + BRIMCS, Durchschnitt 2008–2011 bzw. 2008 für BRIMCS



Quelle: IEA, Energy Technology R&D Statistics; Gallagher et al. (2011).

angesichts methodischer Probleme als schwierig. Gallagher et al. (2011), die dies dennoch versucht haben, legen nahe, dass bezüglich China knapp 60% der öffentlichen Energie-FuED fossilen Energieträgern zugutekommen und erneuerbare Energien und Energieeffizienz nur einen untergeordneten Stellenwert einnehmen. In Indien scheinen die öffentlichen FuED-Mitteln demgegenüber stark auf die Kernenergie konzentriert zu sein.

## Patente

FuED-Ausgaben setzen auf der Inputseite des Innovationsprozesses an und können mehr oder weniger hilfreich und notwendig für die Generierung und Verbreitung von Innovationen sein. Patente bilden bereits einen Output von Forschungsaktivitäten und können als ein intermediärer und zählstatistischer Indikator für Innovationen angesehen werden. Patentanalysen haben für unsere Zwecke zwei wesentliche Vorteile. Sie sind zum einen über einen längeren Zeitraum und im globalen Maßstab verfügbar, so dass Entwicklungstendenzen und Hinweise über Richtung, Dynamik und regionale Schwerpunkte des technologischen Wandels aufgezeigt werden können. Zum anderen sind in jüngster Zeit erhebliche Anstrengungen unternommen worden, potenzielle Umwelt- und Klimaschutzpatente aus der Gesamtheit der Patente zu isolieren. Die Grundlage dafür bildet meist die disaggregierte Klassifikation der Patente nach technischem Anwendungsbereich (Patentklassen nach International Patent Classification IPC) (vgl. OECD 2011). Allerdings ist die Analyse von Patenten mit gewissen Nachteilen verbunden. So bleibt offen, ob die patentierten Erfindungen auf dem Markt eingeführt werden. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass viele Innovationen nicht patentiert werden (können). So werden viele Innovationen durch andere Mechanismen (z.B. betriebliche Geheimhaltung, Schnelligkeit in der Entwicklung oder der Vermarktung, spezifisches Produktdesign) geschützt. Die Patentneigung variiert damit stark über Sektoren/Industriezweige und Anwendungsbereiche hinweg. Auch der Wert und die Qualität von Patenten können deutlich voneinander abweichen. Patente stellen oft nur Teilausschnitte von technologischen Neuerungen dar, was die Bewertung – auch im Hinblick auf die Umwelt- bzw. Klimaschutzwirkungen – erschwert. Schließlich ist noch

<sup>7</sup> Alternativ kann auf Anmeldungen nach dem Patent Cooperation Treaty (PCT) zurückgegriffen werden. Hierbei werden nur internationale Patentanmeldungen erfasst, von denen angenommen werden kann, dass sie im Einzugsbereich aller regionalen Patentämter zur Geltung kommen sollen. Damit wird zwar ein möglicher »home bias« zugunsten europäischer Länder vermieden; allerdings verringert sich die Zahl der Patente auch insgesamt deutlich.

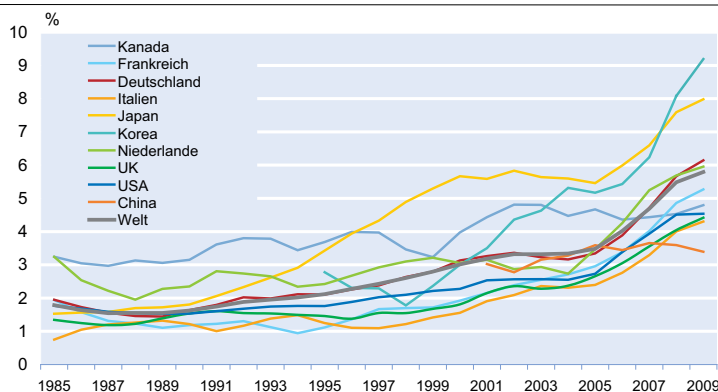
<sup>8</sup> Nicht betrachtet werden hier andere Umwelttechnologien (z.B. Minderung von Schadstoffemissionen im Verkehr, Abfallbeseitigung etc.).

zu bedenken, dass die Patentneigung aufgrund unterschiedlicher rechtlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen von Land zu Land verschieden sein kann.

Daher bietet es sich an, den Schwerpunkt auf den relativen Vergleich zwischen Ländern zu legen und vor allem Trends und weniger absolute Niveaus der Patentierung in bestimmten Bereichen zu betrachten. Der unterschiedlichen Patentneigung zwischen den Ländern lässt sich näherungsweise durch die Betrachtung der Anteile der Klimaschutztechnologien an allen Technologien begegnen. Für die folgenden ländervergleichenden Betrachtungen wird die Zahl der Patentanmeldungen beim Europäischen Patentamt nach der EPO Bibliographic Database zugrunde gelegt, wobei sowohl Patentanmeldungen enthalten sind, die nur dort geschützt sind, als auch Patentanmeldungen, die auch bei anderen Patentämtern eingereicht wurden (sog. Patentfamilien). Die EPO-Patentaktivitäten sind im Vergleich zu Daten anderer Patentämter vergleichsweise gut und vollständig erfasst und werden oft für internationale Vergleiche herangezogen.<sup>7</sup> Die EPO-Anmeldungen werden dabei nach Land des Erfinders und erstem internationalem Anmeldedatum (sog. priority date) betrachtet.

Zu den potenziellen Klimaschutzpatenten können in der Datenbank der OECD und des Europäischen Patentamts (EPO) folgende Oberkategorien gerechnet werden: Energieerzeugung aus erneuerbaren/nicht fossilen Quellen; Verbrennungstechnologien mit Treibhausgasreduzierungs potenzial (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung, integrierter GuD-Prozess, Wärmerückgewinnung); Kohlenstoffabscheidung, -speicherung, -sequestrierung und -lagerung (»CO<sub>2</sub>-Technologien«); Technologien mit potenziellen und indirekten Emissionsminderungspotenzial (Energiespeicher, Wasserstofftechnologien, Brennstoffzellen); Energieeffizienz im Verkehr; und Energieeffizienz in Gebäuden sowie bei der Beleuchtung.<sup>8</sup> Abbildung 5 zeigt den Anteil potenzieller Klimaschutzpatente an

**Abb. 5**  
Entwicklung des Anteils potenzieller Klimaschutzpatente an allen Patenten eines Landes



Quelle: OECD, Patents by Main Technology and by International Patent Classification (IPC); Berechnungen des ifo Instituts.



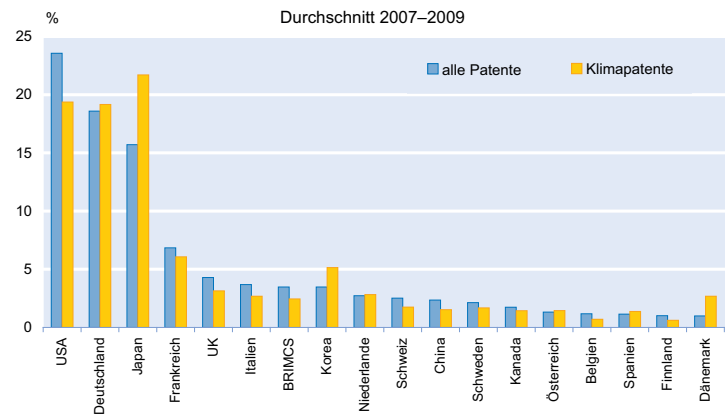
allen Patenten eines Landes im Zeitablauf für eine Auswahl von Ländern mit vielen Patentanmeldungen (mindestens 2000 am aktuellen Rand). Ausgangspunkt ist – bis auf Korea und China – das Jahr 1985, ab dem die Zahl der Patente insgesamt jeweils mindestens 400 beträgt. Im Weltdurchschnitt zeigt sich über den Zeitraum von 25 Jahren – bei deutlich steigender Patentierung insgesamt – ein Anteilsgewinn der Klimaschutzpatente von knapp 2% auf knapp 6%. Dabei fallen die Zuwächse in die zweite Hälfte der 1990er Jahre und insbesondere in die Zeit nach 2005. Deutlich über dem globalen Durchschnitt liegen Japan und Korea, mit 8% bzw. etwas über 9%. In Korea ist in den letzten zehn Jahren ein rasanter Bedeutungsgewinn der Klimaschutztechnologien zu verzeichnen, während der Zuwachs in Japan kontinuierlicher verläuft.<sup>9</sup> Die meisten der dargestellten Länder weisen einen ähnlichen Kurvenverlauf wie der globale Durchschnitt auf (Deutschland und Niederlanden mit etwas überdurchschnittlichem Anteil 2009, Frankreich, USA, Großbritannien und Italien mit unterdurchschnittlichem Anteil). Oft zeigt sich in diesen Ländern erst in den 2000er Jahren ein eindeutiger Anteilzuwachs. Abweichend von den anderen Ländern, weist Kanada und China kaum einen wachsenden Trend auf. Kanada hat zwar in den 1980er und 1990er Jahren einen vergleichsweise hohen Anteil an potenziellen Klimaschutztechnologien, kann diesen aber in den 2000er Jahren nur geringfügig erhöhen. Tendenziell deutet dies – auch im Kontext mit den Trendbrüchen bei der Energie-FuE – darauf hin, dass Politikanreize hier eine geringe Rolle gespielt haben. In China ist auch nur ein schwacher Zuwachs in den letzten neun Jahren zu erkennen, obwohl gerade in dieser Phase die Energieforschungsmittel deutlich erhöht worden sind. Auch dies legt nahe, dass patentierte Neuerfindungen in China weniger bedeutsam sind als Maßnahmen zur Anpassung und Modifikation ausländischer Technologien.

Abbildung 6 betrachtet alternativ nicht die länderspezifische Entwicklung, sondern den Anteil der im Patentbereich wichtigsten Län-

<sup>9</sup> Bei einigen kleinen Ländern, die in Abbildung 5 nicht aufgeführt werden, lässt sich ebenfalls ein deutlich überdurchschnittlicher Anteil der Klimaschutztechnologien verzeichnen. Dies gilt vor allem für Dänemark mit fast 18% im Jahr 2009 (von 4% im Jahr 2000), Norwegen (etwa 9% in 2009) und Spanien (fast 8% im Jahr 2009).

<sup>10</sup> Die Rangfolge zwischen diesen drei Ländern ändert sich, wenn anstelle der Anmeldungen beim Europäischen Patentamt internationale Patente nach dem sog. Patent Cooperation Treaty (PCT) betrachtet werden. Bei allgemeinen Patenten (Klimaschutzpatenten) liegt die USA mit 35% (26%) vor Japan mit 15% (25%) und Deutschland mit 12% (14%).

**Abb. 6**  
Anteil der Länder an allen Patenten und allen potenziellen Klimaschutzpatenten

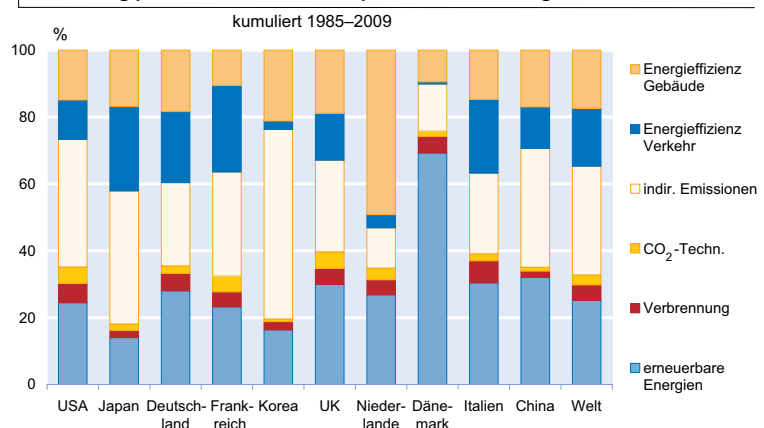


Quelle: OECD, Patents by Main Technology and by International Patent Classification (IPC); Berechnungen des ifo Instituts.

der an allen Patenten und an allen potenziellen Klimaschutzpatenten im Durchschnitt der Jahre 2007–2009. Hierbei fällt zunächst auf, dass etwa 60% aller (Klimaschutz-)Patente von Erfindern aus den USA, Deutschland und Japan angemeldet werden.<sup>10</sup> Die USA weisen dabei eine stärkere Konzentration auf »allgemeine« Patente auf, während Japan und weniger deutlich Deutschland stärker auf Klimaschutzpatente setzt. Ein schon deutlich geringeres Gewicht im Patentwesen nehmen schließlich Frankreich, Großbritannien und Italien ein. Die Anteile Italiens entsprechen dabei etwa dem aufsummierten Anteilen aller BRIMCS-Länder, wobei darunter wiederum China deutlich dominiert. In all den zuletzt genannten Ländern liegt der Anteil der allgemeinen Patente höher der Anteil der Klimaschutzpatente. Unter den kleinen Ländern weisen demgegenüber Korea, die Niederlande und Dänemark noch einen relativ hohen Anteil an den Klimaschutzpatenten auf.

Abbildung 7 nimmt eine Aufteilung der Klimaschutztechnologien in die sechs oben genannten Oberkategorien nach

**Abb. 7**  
Aufteilung potenzieller Klimaschutzpatente in Oberkategorien nach Ländern



Quelle: OECD, Patents by Main Technology and by International Patent Classification (IPC); Berechnungen des ifo Instituts.

Ländern vor (kumuliert über die Jahre 1985–2009). Im globalen Durchschnitt fällt ein knappes Drittel auf Technologien zur potenziellen und indirekten Emissionsminderung (Energiespeicherung, Brennstoffzellen etc.), gefolgt von Technologien im Bereich erneuerbare Energien (25%), Verkehrs- und Gebäudeeffizienz (je rund 17%), Verbrennungstechnologien (knapp 5%) und »CO<sub>2</sub>-Technologien« (3%). Bei der Betrachtung der patentstarken Länder fallen bereits einige bedeutende Abweichungen von diesem Muster auf. Überdurchschnittlich stark vertreten ist in Japan und den USA (und erst recht in Korea) die Kategorie indirekte und potenzielle Emissionsminderung, bei der der Klimaschutzbeitrag vermutlich von allen Kategorien am wenigsten greifbar ist (40% bzw. 38% bzw. 57%). In Deutschland sind erneuerbare Energien überdurchschnittlich vertreten (28%), was sicherlich am umfangreichen Förderinstrumentarium in diesem Bereich liegt. Den Schwerpunkt bilden dabei die Photovoltaik und die Windenergie. Ebenfalls gut repräsentiert sind sowohl in Deutschland als auch in Japan Energieeffizienztechnologien im Verkehr (21% bzw. 25%). Zusammen decken allein diese beiden Länder rund 60% aller einschlägigen Patente weltweit ab. Offensichtlich spiegelt sich darin die traditionelle Stärke der Verkehrs- und Automobilindustrie in beiden Ländern wider. In den USA spielen demgegenüber u.a. »CO<sub>2</sub>-Technologien« eine herausgehobene Rolle (5%), was sich auch darin ausdrückt, dass 36% aller weltweiten Patente in diesem Bereich US-amerikanischen Ursprungs sind. Bei den kleineren bzw. weniger patentstarken Ländern sind ebenfalls einige Besonderheiten zu vermerken. So fällt bei der Gebäudeeffizienz der starke Schwerpunkt in den Niederlanden auf (49%iger Anteil bzw. knapp 9% an allen weltweiten Patenten in diesem Bereich). Der Bereich der erneuerbaren Energien ist mit Ausnahme von Korea und Frankreich in den übrigen aufgeführten Ländern überdurchschnittlich stark. Von herausgehobener Bedeutung sind sie in Dänemark, das sich eine starke weltweite Position vor allem bei der Windenergie erarbeitet hat (69%iger Anteil bzw. rund 4% aller weltweiten erneuerbaren Energiepatente). In China mit einem Anteil von 32% liegt demgegenüber der Schwerpunkt bei der Photovoltaik.<sup>11</sup> Aufgrund dieser Profile verliert in diesen Ländern (vor allem in den Niederlanden und Dänemark) damit auch der im Hinblick auf die Klimaschutzwirkung unsichere Bereich der indirekten und potentiellen Emissionsminderung deutlich an Gewicht.

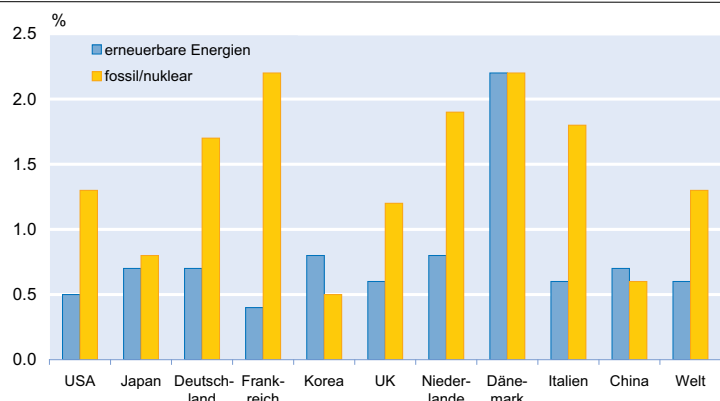
<sup>11</sup> Überdurchschnittliche Anteile bei den erneuerbaren Energien weisen eine Reihe weiterer Länder mit insgesamt geringer Anzahl an Patenten auf, darunter Spanien (73% an allen Klimaschutzpatenten), Norwegen (51%), Australien (50%), Belgien (49%), Israel (45%) und Finnland (40%).

<sup>12</sup> Eine Analyse mit Patentendaten trifft hier auf die Schwierigkeit Energieeffizienztechnologien überhaupt erst in ihrer Breite zu identifizieren. Außerdem dürften zahlreiche Maßnahmen nicht patentiert werden.

Statt kumuliert können die genannten Kategorien auch in Wachstumsraten ausgedrückt werden, um Trends zu verdeutlichen. Die durchschnittliche Wachstumsrate aller weltweiten Klimaschutzpatente von rund 10% wird dabei von Technologien bei erneuerbaren Energien am deutlichsten übertroffen (12%). Ebenfalls überdurchschnittlich sind auf einem niedrigeren Niveau »CO<sub>2</sub>-Technologien« (11,1%), wobei dieser Trend von den USA und Japan geprägt ist. Verkehrstechnologien (und hier vor allem deutsche und japanische Hybrid- und Elektroantriebe) wachsen ebenfalls etwas schneller als der Durchschnitt (10,9%). Unterdurchschnittlich nehmen dagegen Technologien zur potenziellen und indirekten Emissionsminderung (9,6%) und Verbrennungstechnologien (6,4%) zu. Energieeffizienztechnologien im Gebäudebereich wachsen ebenfalls deutlich langsamer als der Durchschnitt (7,4%). Über die Patentdaten lassen sich somit zwar einzelne Energieeffizienztechnologien bzw. entsprechende länderspezifische Entwicklungen in diesem Bereich identifizieren, die auf eine überdurchschnittliche Dynamik hinweisen. Im Mittel lässt sich aber nicht die bei den FuE-Ausgaben bereits getroffene Aussage widerlegen, dass Energieangebotstechnologien (insbesondere erneuerbare Energien) einen relativ größeren Stellenwert einnehmen als innovative Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz und -einsparung.<sup>12</sup>

Zusätzliche Daten der OECD (2012) ermöglichen es – kumuliert für die Jahre 1988 bis 2007 –, die Zahl der Patente bei erneuerbaren Energie den Patenten bei fossilen und nuklearen Energieträgern gegenüberzustellen und beide als Anteil aller Patente darzustellen (vgl. Abb. 8). Dabei fällt zunächst wiederum der geringe Anteil der Energiepatente an allen Patenten von etwa 2% weltweit auf. Im Vergleich zu der Betrachtung der öffentlichen FuE-Ausgaben (vgl. Abb. 1), bei der im selben Zeitraum der Anteil an den Gesamtausgaben mindestens dreimal so hoch war, dürfte dies zum Teil an der Vernachlässigung anderer Energietechnologien (Energieeffizienz, Brennstoffzellen etc.) und ggf. an

**Abb. 8**  
Patenten bei erneuerbaren Energien und bei fossilen und nuklearen Energieträgern



Quelle: OECD (2011).

der engen Abgrenzung der Patentklassen liegen. Der große Unterschied bei den Anteilen lässt aber vermuten, dass die Patentneigung bei Energietechnologien geringer ist als in anderen Bereichen und/oder das im Energiebereich relativ umfangreiche öffentliche Mittel verausgabt werden (müssen), die nicht unmittelbar mit innovativen Aktivitäten (Patentaktivitäten) in Verbindung stehen (z.B. für den Aufbau von Forschungsinfrastruktur). Zumindest für die asiatischen Länder Japan, Korea und China liegt diese Vermutung nahe, weniger dagegen für Dänemark. Der Anteil kumulierter fossil nuklearer Patente an allen Patenten ist schließlich im weltweiten Durchschnitt rund doppelt so hoch wie der Anteil der kumulierten Patente bei erneuerbaren Energien. Bei den dargestellten Ländern gilt dies erst recht für Frankreich, Italien, Niederlande, Deutschland und die USA. Ausgeglichen ist das Verhältnis demgegenüber in Asien und Dänemark. Ähnlich wie bei anderen Technologien liegt der Anteil von Deutschland (19,3%), Japan (19%) und den USA (18,3%) an allen fossil-nuklearen Patenten bei knapp 60%. Die Zahl der jährlichen Patente bei fossilen und nuklearen Technologien stagniert allerdings seit vielen Jahren, während über alle Technologien hinweg und erst recht bei erneuerbaren Energien ein deutlicher Wachstumstrend zu verzeichnen ist (vgl. OECD 2012).

## Fazit

Insgesamt lässt sich in den letzten Jahren eine erfreuliche Belebung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bei Energietechnologien im Allgemeinen und klimaschonenden Energietechnologien im Besonderen beobachten, die den jahrzehntelangen relativen Unterinvestitionen in diesem Bereich entgegenwirkt. Wichtig ist es, diesen Trend zu verstetigen und die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich nicht nur einmalig wie im Rahmen der Wirtschafts- und Finanzkrise 2009, sondern kontinuierlich und insbesondere auch in den aufstrebenden Schwellenländern zu stärken.

Szenarioanalysen und Modellrechnungen im Rahmen des Global Energy Assessment haben das zukünftige Marktpotenzial spezifischer Energietechnologien abgeschätzt und dieses Potenzial der öffentlichen FuE-Förderung im Energiebereich gegenübergestellt. In einer vom Klimawandel bedrohten Welt ist demzufolge der Mix der geförderten Energietechnologien in den FuE-Portfolios noch verzerrt (vgl. Grubler und Riahi 2010; Grubler et al. 2012). Das Ergebnis verschiedener Szenarien und Sensitivitätsanalysen zeigt, dass auf Energieeffizienztechnologien und -einsparmaßnahmen typischerweise ein Treibhausgas-minderungsbeitrag bis 2100 von mindestens 50% fällt, während der Beitrag der Kernenergie typischerweise bei etwa 10% liegt. In den öffentlichen FuE-Ausgaben wird demgegenüber die Kernenergie immer noch gegenüber der Energieeffizienz und -ein-

sparung priorisiert (erst recht in der kumulativen Betrachtung). Auch die FuE-Anteile der erneuerbaren Energien und der Kohlenstoffabscheidung und -lagerung fallen demzufolge noch etwas hinter das zurück, was die Analyse der zukünftigen »technologischen Bedürfnisse« nahelegt. Wenn man die bestehenden FuE-Portfolios bei Energietechnologien als jeweilige Optionswerte alternativer Technologien in einer vom Klimawandel bedrohten Welt betrachtet, müssten demnach die bestehenden FuE-Ausgaben allein zugunsten der Energieeffizienz und -einsparung um mindestens den Faktor 5 erhöht werden.

## Literatur

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2011), *Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung*, Berlin.

Galiana, I. und C. Green (2009), »Let the Global Technology Race Begin«, *Nature* 462, 570–571.

Gallagher, K.S., L.D. Anadon, R. Kempener und C. Wilson. (2011), »Trends in Investments in Global Energy Research, Development, and Demonstration«, *Review of Climate Change* 2, 373–396.

Gallagher, K.S., A. Grubler, L. Kuhl, G. Nemet und C. Wilson. (2012), »The Energy Technology Innovation System«, *Annual Review of Environment and Resources* 37, 137–162.

Grubler, A. et al. (2012), Chapter 24 – »Policies for the Energy Technology Innovation System (ETIS)«, in: *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK und New York, NY, USA, und International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 1665–1744.

International Energy Agency (IEA) (2011), *World Energy Outlook*, International Energy Agency, Paris.

OECD (2011), *Invention and Transfer of Environmental Technologies*, OECD Studies on Environmental Innovation, Paris.

Grubler, A. und K. Riahi (2010), »Do governments Have the Right Mix in their Energy R&D Portfolios?«, *Carbon Management* 1(1), 79–87.

Walz, R., K. Ostertag, W. Eichhammer, N. Glienke, A. Jappe-Heinze, W. Mannsbart und J. Peuckert (2008), *Forschungs- und Technologiekompetenz für eine Nachhaltige Entwicklung in den BRICS-Staaten*, Studie des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung für den Rat für Nachhaltige Entwicklung, Karlsruhe.

Wilson, C., A. Grubler, K.S. Gallagher und G.F. Nemet (2012), »Marginalization of End-use Technologies in Energy Innovation for Climate Protection«, *Nature Climate Change* 2, 780–788.