

## Atomkraft



**Bericht** von Claudia Kemfert, Thorsten Burandt, Karlo Hainsch, Konstantin Löffler, Pao-Yu Oei und Christian von Hirschhausen

Atomkraft für Klimaschutz unnötig –  
Kostengünstigere Alternativen sind verfügbar 1049

**Interview** mit Claudia Kemfert

»Klimaziele können weltweit günstiger  
ohne Atomkraft erreicht werden« 1059

**Bericht** von Heike Belitz

Unternehmen mit Forschung im Ausland stärken  
den Forschungsstandort Deutschland 1060

**Bericht** von Claudia Kemfert und Olga Egerer

Frauen sind in Top-Positionen der größten Energie-  
und Verkehrsunternehmen in Deutschland deutlich  
unterrepräsentiert 1070

**Am aktuellen Rand** Kommentar von Karsten Neuhoff

Einigung zum Emissionshandel:  
Ein wichtiger Schritt für Europa und für das Klima 1078



DIW Berlin – Deutsches Institut  
für Wirtschaftsforschung e.V.  
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin  
T +49 30 897 89 -0  
F +49 30 897 89 -200  
84. Jahrgang  
22. November 2017

#### Herausgeberinnen und Herausgeber

Prof. Dr. Tomaso Duso  
Dr. Ferdinand Fichtner  
Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.  
Prof. Dr. Peter Haan  
Prof. Dr. Claudia Kemfert  
Prof. Dr. Lukas Menkhoff  
Prof. Johanna Möllerstrom, Ph.D.  
Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.  
Prof. Dr. Jürgen Schupp  
Prof. Dr. C. Katharina Spieß  
Prof. Dr. Gert G. Wagner

#### Chefredaktion

Dr. Gritje Hartmann  
Mathilde Richter  
Dr. Wolf-Peter Schill

#### Redaktion

Renate Bogdanovic  
Dr. Franziska Bremus  
Rebecca Bühner  
Claudia Cohnen-Beck  
Prof. Dr. Christian Dreger  
Dr. Daniel Kemptner  
Sebastian Kollmann  
Matthias Laugwitz  
Markus Reiniger  
Dr. Alexander Zerrahn

#### Lektorat

Nils May  
Dr. Uwe Kunert  
Dr. Katharina Wrohlich

#### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice  
Postfach 74  
77649 Offenburg  
leserservice@diw.de  
Tel. (01806) 14 00 50 25  
20 Cent pro Anruf  
ISSN 0012-1304  
ISSN 1860-8787 (Online)

#### Gestaltung

Edenspiekermann

#### Satz

Satz-Rechen-Zentrum, Berlin

#### Druck

USE gGmbH, Berlin

Nachdruck und sonstige Verbreitung –  
auch auszugsweise – nur mit Quellen-  
angabe und unter Zusendung eines  
Belegexemplars an die Serviceabteilung  
Kommunikation des DIW Berlin  
(kundenservice@diw.de) zulässig.

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.



Der DIW Wochenbericht wirft einen unabhängigen Blick auf die Wirtschaftsentwicklung in Deutschland und der Welt. Er richtet sich an die Medien sowie an Führungskräfte in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Wenn Sie sich für ein Abonnement interessieren, können Sie zwischen den folgenden Optionen wählen:

**Standard-Abo:** 179,90 Euro im Jahr (inkl. MwSt. und Versand).

**Studenten-Abo:** 49,90 Euro.

**Probe-Abo:** 14,90 Euro für sechs Hefte.

Bestellungen richten Sie bitte an [leserservice@diw.de](mailto:leserservice@diw.de) oder den DIW Berlin Leserservice, Postfach 74, 77649 Offenburg; Tel. (01806) 14 00 50 25, 20 Cent/Anruf aus dem dt. Festnetz, 60 Cent maximal/Anruf aus dem Mobilnetz. Abbestellungen von Abonnements spätestens sechs Wochen vor Laufzeitende

#### NEWSLETTER DES DIW BERLIN



Der DIW Newsletter liefert Ihnen wöchentlich auf Ihre Interessen zugeschnittene Informationen zu Forschungsergebnissen, Publikationen, Nachrichten und Veranstaltungen des Instituts. Wählen Sie bei der Anmeldung die Themen und Formate aus, die Sie interessieren. Ihre Auswahl können Sie jederzeit ändern, oder den Newsletter abbestellen. Nutzen Sie hierfür bitte den entsprechenden Link am Ende des Newsletters.

>> Hier Newsletter des DIW Berlin abonnieren: [www.diw.de/newsletter](http://www.diw.de/newsletter)

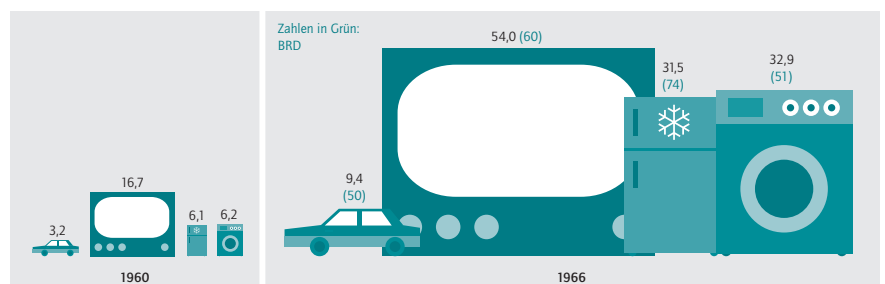
#### RÜCKBLIQUE: IM WOCHENBERICHT VOR 50 JAHREN

## Zur Konsumgüterversorgung in Mitteldeutschland seit 1960

Der Industriewarenumsatz ist seit 1960 [...] um 2,4 Prozent im Jahr auf 23,1 Milliarden MDN (1966) gestiegen. Seit 1964 hat sich das Angebot industrieller Güter allerdings zunehmend günstiger entwickelt, zumal Strukturveränderungen innerhalb des gesamten Industriewarenumsatzes zu berücksichtigen sind. Bei stark differenziertem Konsumverhalten der Bevölkerung ist auch in Mitteldeutschland eine Tendenz zum höherwertigen Industrieartikel zu erkennen [...]. Notwendigerweise gewinnt die Markt- und Bedarfsforschung an Bedeutung.

#### Abbildung

#### Bestand ausgewählter industrieller Konsumgüter in Stück je 100 Haushalte



Quellen: Statistisches Jahrbuch der DDR 1967; Statistisches Bundesamt; Ifak-Institut für Absatzforschung.

© DIW Berlin 1967 (Tabelle)/2017 (Abbildung)

aus dem DIW Wochenbericht Nr. 47 vom 24. November 1967

# Atomkraft für Klimaschutz unnötig – Kostengünstigere Alternativen sind verfügbar

Von Claudia Kemfert, Thorsten Burandt, Karlo Hainsch, Konstantin Löffler, Pao-Yu Oei und Christian von Hirschhausen

Die Notwendigkeit weltweiter Anstrengungen für den Klimaschutz ist unbestritten. Jedoch herrscht über die Fragen, mit welchen Technologien der Energiesektor dekarbonisiert werden soll, keine Einigkeit. Während viele internationale Szenarien auch zukünftig von einer relevanten Rolle für die Atomkraft ausgehen, zeigt eine am DIW Berlin durchgeführte Studie, dass das Pariser Klimaschutzziel – die Begrenzung der Erderwärmung auf unter zwei Grad – kostengünstig ohne Atomkraft erreicht werden kann. Die Ergebnisse eines globalen Energiesystemmodells verdeutlichen, dass zur Erfüllung der Klimaziele weltweit kein neues Atomkraftwerk gebaut werden müsste. Vielmehr erweist sich eine Kombination aus erneuerbaren Energien und Energiespeichern als günstiger.

Mit dem Übereinkommen von Paris im Jahr 2015 haben sich weltweit fast alle Staaten verpflichtet, auf eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf unter zwei Grad hinzuwirken. Prinzipiell steht es dabei jedem Staat frei, spezifische Technologien zum Erreichen ihrer nationalen Klimaziele zu wählen. Einige Länder halten aus politischen Gründen an der Nutzung der Atomkraft fest, unter anderem, weil Atomkraft eng mit der Entwicklung von Atomwaffen verknüpft ist. Beispielsweise wird in den USA derzeit ein Vorschlag zu noch umfangreicheren Subventionen für Atomkraft diskutiert.<sup>1</sup> Bestehende direkte oder indirekte Förderungen betreffen insbesondere die Kosten für die langfristige Lagerung des Atomabfalls sowie von möglichen Unfällen, wie im japanischen Fukushima.

Sowohl im Bereich der internationalen Organisationen als auch in der wissenschaftlichen Community besteht kein Konsens zur Rolle der Atomkraft für den Klimaschutz. Einige Institutionen haben die Förderung der Atomkraft direkt als Mandat, wie zum Beispiel die Internationale Atomenergie-Behörde (IAEA) oder die Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM). Daneben sehen sowohl die Internationale Energieagentur (IEA) als auch die Europäische Union regelmäßig eine relevante Rolle für Atomkraft als Teil eines zukünftigen Technologiemix.<sup>2</sup> Jedoch gehen insgesamt unter Umwelt- und KlimaökonomInnen die Meinungen bezüglich der zukünftigen Bedeutung der Atomkraft stark auseinander.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. US Department of Energy (2017): Notice of Proposed Rulemaking (NOPR) 18 CFR Part 35, Grid Resilience Pricing Rule. Washington DC (online verfügbar, abgerufen am 3. November 2017). Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt).

<sup>2</sup> Vgl. IEA (2016): World Energy Outlook 2016. Paris; Europäische Kommission (2016): Reference Scenario 2016 – Energy, transport and GHG emissions trends to 2050 (online verfügbar).

<sup>3</sup> Vgl. die kontroverse Diskussion zwischen Mark Z. Jacobson et al. (2017): The United States can keep the grid stable at low cost with 100 % clean, renewable energy in all sectors despite inaccurate claims. PNAS 114 (26), E5021-E5023; und Christopher T.M. Clack et al. (2017): Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with 100 % wind, water, and solar. PNAS 114 (26) 6722–6727.

Aus einzelwirtschaftlicher Sicht bildet sich hingegen in der Literatur die Perspektive heraus, dass Atomkraft in der Vergangenheit keine ökonomische Form der Stromversorgung gewesen ist. Dies belegen Analysen von diversen Forschungsinstituten, darunter auch Rechnungen am DIW Berlin, welche sich detailliert mit der Wettbewerbsfähigkeit der Atomkraft beschäftigt haben.<sup>4</sup> So stellt eine umfangreiche Metastudie fest, dass es der Atomwirtschaft auch über 70 Jahre nach der ersten atomaren Kettenreaktion nicht gelungen ist, Atomstrom unter wettbewerblichen Bedingungen herzustellen.<sup>5</sup> Eine historische Aufarbeitung der Entstehung aller Atomkraftwerke seit den 1950er-Jahren belegt diese Modellrechnungen empirisch: Kein einziges der insgesamt über 500 Atomkraftwerke ist unter marktlich-wettbewerblichen Rahmenbedingungen errichtet worden; vielmehr waren die Kosten so hoch, dass es sich stets um vom Staat beziehungsweise Stromverbraucher hoch subventionierte, zentral geplante Investitionsvorhaben gehandelt hat.<sup>6</sup>

Dieser Bericht beleuchtet die Frage nach der Rolle der Atomkraft für den Klimaschutz unter Verwendung eines Energiesystemmodells. Die Simulation der kostenoptimalen Entwicklung des weltweiten Energiemix zeigt, dass Atomkraft als Klimaschutztechnologie keine günstige Alternative darstellt. Stattdessen können erneuerbare Energien bis zum Jahr 2050 die Welt nachhaltig und kosteneffizient mit Energie versorgen.

## Struktur und Annahmen des Energiesystemmodells

Um die Rolle der Atomkraft in Klimaschuttszenarien zu untersuchen, wurde das Energiesystemmodell *Global Energy System Model* (GENESYS-MOD) verwendet (Kasten). Das Modell basiert auf dem etablierten *Open Source Energy Modelling System* (OSEMOSYS), einer quelloffenen Software für langfristige Energiesystemanalysen.<sup>7</sup> OSEMOSYS wird von einer Vielzahl an Forschern weltweit dezentral weiterentwickelt und in zahlreichen wissenschaftlichen und politikberatenden Veröffentlichungen

verwendet.<sup>8</sup> Für die vorliegende Analyse wurde hierauf aufbauend das Modell GENESYS-MOD entwickelt.<sup>9</sup> Die Zielfunktion des Modells umfasst die globalen, gesamten Kosten zur Bereitstellung der Energie für die Sektoren Elektrizität, Verkehr und Wärme. Das Modellergebnis ist eine kostenminimale Kombination von Technologien, um die Energienachfrage jederzeit zu decken. Dabei werden Klimaschuttsziele, wie etwa ein CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget, als Rahmenbedingung für die Modellrechnungen explizit vorgegeben.

Da das Dargebot der erneuerbaren Energien Wind- und Solarenergie mit den Wetterbedingungen schwankt, ist ein zeitlicher und räumlicher Ausgleich zentral, um jederzeit die Energienachfrage decken zu können. Hierfür sind im Modell mehrere Technologien zur Speicherung oder Sektorenkopplung implementiert. Vor allem Lithium-Ionen-Batterien dienen zum Ausgleich zeitlicher Schwankungen von Energiebereitstellung und -nachfrage. Zudem ermöglicht die Kopplung des Elektrizitätssektors mit den Sektoren Wärme und Verkehr deren Dekarbonisierung.

Räumlich aggregiert das Modell verschiedene Länder zu insgesamt zehn größeren Regionen. Hierdurch wird vom Energietransport innerhalb dieser Regionen abstrahiert. Zwischen den Regionen ist der Austausch von Brennstoffen, jedoch nicht von Elektrizität und Wärme, möglich. Um die Komplexität des Modells in einem berechenbaren Rahmen zu halten, wird zudem auf zeitlicher Ebene aggregiert. Hierzu wird der Betrachtungszeitraum von allen Stunden eines Jahres auf sechs Perioden (sogenannte Zeitscheiben) reduziert, die saisonale und tageszeitliche Schwankungen von Nachfrage und dem Dargebot erneuerbarer Energien repräsentieren. Insgesamt werden die Jahre 2020 bis 2050 in Fünfjahresschritten betrachtet; dabei wird von perfekter Voraussicht ausgegangen, was die zukünftigen Entwicklungen von Nachfrage, Kosten und Dargebot erneuerbarer Energien angeht.

## Für erneuerbare Energien und Speicher können sinkende Kosten angenommen werden ...

Als wichtige Eingangsgröße sind die Annahmen über die zukünftigen Kosten der Technologien zentral für die abgeleiteten Modellergebnisse. Annahmen zur Ent-

<sup>4</sup> Vgl. Massachusetts Institute of Technology (2003): The Future of Nuclear Power (online verfügbar); University of Chicago (2004): The Economic Future of Nuclear Power. Chicago, Illinois, USA (online verfügbar); Paul L. Joskow und John E. Parsons (2012): The Future of Nuclear Power After Fukushima. Economics of Energy & Environmental Policy 1 (2), 99-113; William D. D'haeseleer (2013): Synthesis on the Economics of Nuclear Energy – Study for the European Commission, DG Energy. Final Report. Leuven, Belgium (online verfügbar); und Claudia Kemfert et al. (2015): Europäische Klimaschuttsziele sind auch ohne Atomkraft erreichbar. DIW Wochenbericht Nr. 45, 1063-1070.

<sup>5</sup> Vgl. Lucas W. Davis (2012): Prospects for Nuclear Power. Journal of Economic Perspectives 26 (1), 49-66.

<sup>6</sup> Für eine Argumentation bezüglich der hohen historischen Kosten bei der Errichtung von Atomkraftwerken, vgl. Jonathan Koomey, Nathan E. Hultman und Arnulf Grubler (2017): A reply to „Historical construction costs of global nuclear power reactors“. Energy Policy 102, 640-643.

<sup>7</sup> Siehe die Website des Projekts OSEMOSYS – Open Source Energy Modeling System (online verfügbar).

<sup>8</sup> Vgl. zum Beispiel Manuel Welsch et al. (2012): Modelling elements of Smart Grids – Enhancing the OSEMOSYS (Open Source Energy Modelling System) code. Energy 46 (1), 337-350; Benjamin Lyseng et al. (2016): Decarbonising the Alberta power system with carbon pricing. Energy Strategy Reviews 10, 40-52; Constantinos Taliotis et al. (2017): Natural gas in Cyprus: The need for consolidated planning. Energy Policy 107, 197-209.

<sup>9</sup> Diesem Bericht liegt ein Fachartikel zugrunde, in dem auch eine umfassende Modellbeschreibung zu finden ist, siehe Konstantin Löffler et al. (2017): Designing a Model for the Global Energy System – GENESYS-MOD: An Application of the Open-Source Modeling System (OSEMOSYS). Energies 10 (10), 1468 (online verfügbar).

wicklung von Technologiekosten sowie des Energieverbrauchs werden bei GENeSYS-MOD vorgegeben. Hierzu wurden am DIW Berlin durchgeführte Kostenanalysen für die vorliegenden Modellrechnungen aktualisiert und anhand aktueller Trends und internationaler Literatur weiterentwickelt (Tabelle 1).<sup>10</sup>

Dabei muss insbesondere auf die deutlich gesunkenen Kostenerwartungen für Photovoltaik hingewiesen werden. Hierbei stützt sich dieser Bericht auf eine Vielzahl etablierter Studien zu beobachteten und prognostizierten Lernkurven.<sup>11</sup> Aufgrund fortschreitender Verbesserungen in Technologie und Produktion wird bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Kosten für Material und Installation auf ein gutes Drittel der aktuellen Werte angenommen. So konnte auch in der Vergangenheit beobachtet werden, dass selbst optimistische Prognosen zur Kostenentwicklung regelmäßig in der Realität unterboten wurden.<sup>12</sup> Auch für die Kosten von Windkraftanlagen wird von einem Rückgang ausgegangen, sowohl

im Onshore- als auch im Offshore-Bereich. Gerade bei Offshore-Windparks können in den kommenden Jahren deutliche Kostensenkungen angenommen werden. Hierbei spielen sowohl die erwarteten Lernkurven als auch technologische Entwicklungen bei den Anlagen und der Errichtung von Offshore-Windparks eine Rolle.<sup>13</sup>

Bei Speichertechnologien, insbesondere bei Lithium-Ionen-Batterien, wird ebenso von deutlich fallenden Kosten ausgegangen. Dabei sorgen die günstigere Produktion auf einem wachsenden Markt und sinkende Materialkosten für niedrigere Kosten von Batteriespeichern.<sup>14</sup> In Verbindung mit sinkenden Kosten für Photovoltaik stellen sie eine günstige Form der Stromerzeugung dar.

### ... für fossile und nukleare Kraftwerke nicht

Während die Prognosen von über die Jahre abnehmenden Kosten für erneuerbare Energien ausgehen, bleiben die Kosten für fossile Kraftwerke ungefähr auf dem heutigen Niveau. Diese werden dadurch immer weniger konkurrenzfähig. Auch die Kostenschätzungen bezüglich der Atomkraft bleiben auf dem für heute angenomme-

<sup>10</sup> Vgl. Andreas Schröder et al. (2013): Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050. DIW Data Documentation 68 (online verfügbar).

<sup>11</sup> Vgl. Fraunhofer ISE (2015): Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Studie im Auftrag von Agora Energiewende (online verfügbar); World Energy Council (2016): World Energy Resources 2016 (online verfügbar); Fraunhofer ISE (2017): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg (online verfügbar).

<sup>12</sup> Vgl. Christian Breyer et al. (2017): On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios. Progress in Photovoltaics Research and Applications 25 (8), 727-745.

<sup>13</sup> Vgl. David E.H.J. Gernaat et al. (2014): Global long-term cost dynamics of offshore wind electricity generation. Energy 76, 663-672; KIC InnoEnergy and BVG Associates (2014): Future renewable energy costs: offshore wind. Eindhoven (online verfügbar).

<sup>14</sup> Vgl. Bloomberg New Energy Finance (2017): Lithium-ion Battery Costs and Market (online verfügbar); Gert Berckmans et al. (2017): Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030. Energies 10 (9), 1314 (online verfügbar).

Tabelle

## Annahmen bezüglich der Kosten ausgewählter Energietechnologien für den Betrachtungszeitraum 2015-2050

Kosten in Euro je Kilowatt

Technologie	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Quelle
Photovoltaik	1.000	800	650	550	490	440	400	370	Gulagi et al. (2017)
Onshore-Wind	1.250	1.150	1.060	1.000	965	940	915	900	Gulagi et al. (2017)
Offshore-Wind	3.470	2.880	2.730	2.580	2.480	2.380	2.330	2.280	JRC (2014)
Biomasse-Kraftwerk	2.890	2.620	2.495	2.370	2.260	2.150	2.050	1.950	JRC (2014)
Atomkraftwerk	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	Schröder et al. (2013)
Kohlekraftwerk	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	Schröder et al. (2013)
Gaskraftwerk	675	675	675	675	675	675	675	675	Schröder et al. (2013)
Lithium-Ionen-Batterie	1.500	1.300	1.300	1.000	1.000	800	800	700	Wietschel et al. (2015)
Wärmepumpe	1.300	1.286	1.271	1.257	1.243	1.229	1.214	1.200	DEA und Energinet.dk (2012); Fraunhofer ISE (2012); UBA (2015)

Quellen: Eigene Zusammenstellung auf der Basis von Danish Energy Agency (DEA) und Energinet.dk (2012): Technology Data for Energy Plants – Generation of Electricity and District Heating, Energy Storage and Energy Carrier Generation and Conversion. Kopenhagen (online verfügbar); Fraunhofer ISE (2012): 100% Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland. Freiburg (online verfügbar); Schröder et al. (2013), a. a. O.; Joint Research Centre (JRC) (2014): Energy Technology Reference Indicator (ETRI) projections for 2010–2050. Luxembourg (online verfügbar); Umweltbundesamt (UBA) (2015): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. CLIMATE CHANGE 06/2016. Dessau-Roßlau (online verfügbar); Martin Wietschel et al. (Hrsg.) (2015): Energietechnologien der Zukunft. Wiesbaden; Ashish Gulagi et al. (2017): Electricity system based on 100% renewable energy for India and SAARC. PLOS ONE 12 (7) (online verfügbar).

Insbesondere bei erneuerbaren Energien wird von stark fallenden Kosten ausgegangen.

## Kasten

### Das Global Energy System Model (GENeSYS-MOD)

Das globale Energiesystemmodell Global Energy System Model GENeSYS-MOD<sup>1</sup> basiert auf der Open-Source-Modellfamilie OSeMOSYS (Open Source Energy Modelling System).<sup>2</sup> Die OSeMOSYS-Modellfamilie zeichnet sich durch ein hohes Niveau an Transparenz und geringe Zugangsbarrieren aus: Sämtliche Programmcodes und Inputdaten werden unter freier Lizenz zur Verfügung gestellt, um Nachvollziehbarkeit und eine kritische Diskussion der Ergebnisse zu ermöglichen.

GENeSYS-MOD ist modular aufgebaut (Abbildung 1). Mathematisch ist das Modell ein lineares Optimierungsprogramm,

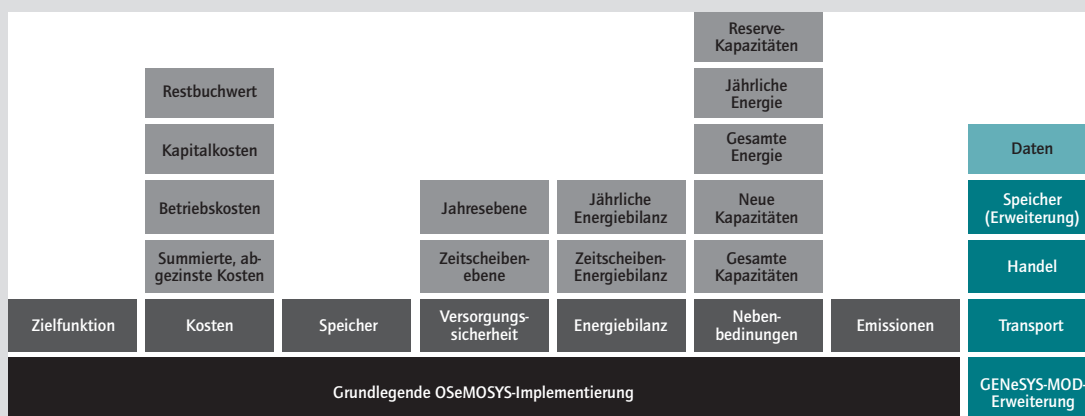
**1** Für eine ausführliche Modellbeschreibung, siehe Konstantin Löffler et al. (2017): Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). *Energies* 10 (10), 1468 (online verfügbar).

**2** Vergleiche die Website des Projekts OSeMOSYS (online verfügbar). Für eine grundlegende Einführung, siehe Mark Howells et al. (2011). OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System: An introduction to its ethos, structure and development. *Energy Policy* 39 (10), 5850–5870.

welches unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Rahmenbedingungen einen kostenminimalen Technologiemix für das Energiesystem ermittelt. Die grundlegenden Module bestehen aus der Zielfunktion, die verschiedene Kostenkomponenten erfasst: Die abgezinste Gesamtkosten für Erzeugungsanlagen, Speicher und andere Flexibilitätsoptionen setzen sich hierbei aus Kapital- und Betriebskosten sowie einem Restbuchwert zum Ende des Analysezeitraums zusammen. Hierbei ist das Modell in verschiedene Zeitschritte aufgeteilt, wobei die Energienachfrage verschiedener Sektoren stets gedeckt sein muss (Kapazitätsausgleich und Energiebilanz). Durch die Definition zusätzlicher Anforderungen, wie zum Beispiel an Reservekapazitäten oder Emissionen, können regulatorische oder politische Rahmenbedingungen, wie beispielsweise klimapolitische Ziele, berücksichtigt werden. GENeSYS-MOD erweitert das Grundmodell durch Module für internationalen Austausch sowie eine verbesserte Darstellung von Energiespeichern. Zudem trägt eine aktuelle Datenbasis den Annahmen zu Kosten und Verfügbarkeiten verschiedener Technologien Rechnung.

Abbildung 1

### GENeSYS-MOD: Die funktionellen Blöcke des Energiesystemmodells



Quellen: Löffler et al. (2017), a. a. O., angelehnt an Howells et al. (2011), a. a. O.

© DIW Berlin 2017

GENeSYS-MOD erweitert das etablierte Energiesystemmodell OSeMOSYS um neue Module.

Das Modell bildet verschiedene konventionelle und erneuerbare Energiequellen ab (Abbildung 2). Die Energie wird für die Sektoren Strom, Verkehr und Wärme verwendet, wobei die jeweilige Energienachfrage vorgegeben wird. Eine Kopplung der Energiesektoren ist durch die Verwendung von Strom für Wärme und Verkehr sowie die mögliche Umwandlung von Strom in andere Energieträger, wie zum Beispiel Wasserstoff, gegeben.<sup>3</sup>

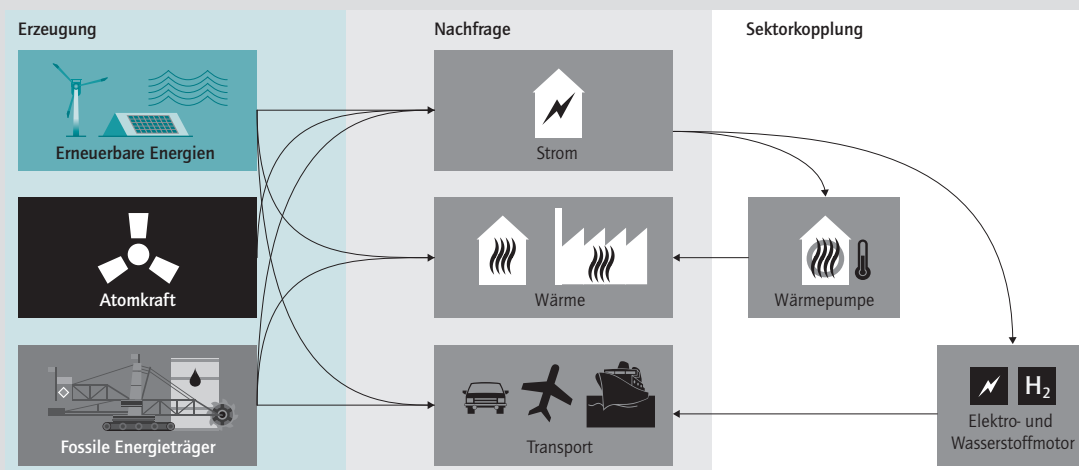
Je nach Untersuchungsgegenstand werden Regionen und Zeitschritte aggregiert. Um den begrenzten Rechenkapazitäten von Computern Rechnung zu tragen, muss der Anwender hierbei eine Abwägung zwischen Detailschärfe und Umfang treffen. Beispielsweise erlaubt es eine Aggregation auf der einen Seite,

große räumliche und zeitliche Zusammenhänge zu erfassen. Andererseits werden manche spezifischen und kleinräumigen Anforderungen für die Integration erneuerbarer Energien in geringerem Detailgrad widergegeben.

<sup>3</sup> Prinzipiell kann das Modell Schnittstellen zu anderen Modellen berücksichtigen, wie beispielsweise sektorspezifische Bottom-up-Modelle oder Klimasystemmodelle. Auch kann der räumliche Detailgrad skaliert werden. Zum Beispiel kann ein Unternehmen, eine Stadt, ein Land, ein Kontinent oder – wie im vorliegenden Fall – die globale Ebene betrachtet werden.

Abbildung 2

### Technologien und Sektoren im Energiesystemmodell GENeSYS-MOD



Quelle: Eigene Darstellung, angelehnt an Löffler et al. (2017), a. a. O.

© DIW Berlin 2017

Verschiedene Technologien stellen die in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr nachgefragte Energie zur Verfügung.



nen Niveau von rund 6.000 Euro pro Kilowatt, was im Lichte jüngster Erfahrungen beim Bau von neuen Atomkraftwerken als realistisch erscheint.<sup>15</sup> So liegen die Kostennahmen für Atomkraft auch in den neuen Berechnung zum sogenannten Referenzszenario der EU, einer langfristigen Projektion der Entwicklung der Energieversorgung in Europa, in dieser Größenordnung.<sup>16</sup>

### Energienachfrage und verbleibendes CO<sub>2</sub>-Budget

Für die Sektoren Elektrizität, Wärme und Verkehr in den zehn Weltregionen werden unterschiedliche Entwicklungen für die Nachfrage angenommen, die mit den derzeit und zukünftig verfügbaren Technologien gedeckt werden muss. Die Annahmen basieren auf etablierter Literatur, unter anderem den Szenarien der Internationalen Energieagentur. Sie beziehen mehrere Faktoren mit ein: So wird beispielsweise für Indien eine stark ansteigende Bevölkerung angenommen, während sie in anderen Regionen eher konstant bleibt oder abnimmt. Durch eine weitere Industrialisierung der sich entwickelnden Länder steigt dort die Nachfrage nach Strom sowie Prozesswärme für die Industrie. Gleichzeitig wird von einer sinkenden Nachfrage nach Raumwärme ausgegangen. Diese Annahme basiert vor allem auf Effizienzsteigerungen im Bereich der Gebäudeentwicklung. In stark industrialisierten Regionen wie Europa oder Nordamerika nimmt die Stromnachfrage ebenso wie die Wärmenachfrage langfristig ab, unter anderem begründet durch weitere Verbesserungen im Bereich der Energieeffizienz.

Die Menge an CO<sub>2</sub>, das noch in die Atmosphäre abgegeben werden kann, ist stark begrenzt, wenn man anspruchsvolle Klimaschutzziele erreichen möchte. Unterschiedlichen Berechnungen zufolge verbleibt ein Budget im Bereich von 550 – 1.000 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, um den Anstieg der durchschnitt-

lichen Erdtemperatur auf unter Grad zu begrenzen.<sup>17</sup> Schreibt man beispielsweise die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 2015 fort, 36 Milliarden Tonnen, so wäre dieses Budget in 16 bis 27 Jahren aufgebraucht. Um die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens aufzugreifen, liegt diesem Bericht ein Szenario zugrunde, welches dem diskutierten Temperaturanstieg von unter zwei Grad entspricht. Hierbei geht das Szenario von einem verbleibenden CO<sub>2</sub>-Budget von 650 Milliarden Tonnen aus – diese Zahl trägt bereits den im Modell nicht berücksichtigten Emissionen aus Landwirtschaft und Industrieprozessen Rechnung.

Ein großer Teil der internationalen Klimaschutzmodelle macht die Erreichung anspruchsvoller Ziele von sogenannten negativen Emissionen abhängig. Diese sollen durch Technologien erreicht werden, welche der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entziehen und dauerhaft ablagern, wie zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Abscheidung durch Biomasse (das sogenannte BECCS, *Bioenergy Carbon Capture and Storage*) oder Geo-Engineering (zum Beispiel das Verteilen von Partikeln in der Atmosphäre). Diese Technologien sind jedoch weder industriell erprobt, noch gibt es Möglichkeiten, deren langfristige Kostenentwicklung plausibel abzuschätzen; daher werden sie im Folgenden nicht berücksichtigt.

### Ergebnisse: Atomkraft nicht Teil des kosteneffizienten Energiemix

Die Modellergebnisse zeigen auf, dass bei einem CO<sub>2</sub>-Budget von 650 Milliarden Tonnen der kostenoptimale, sektorenübergreifende Energiemix sich von fossilen Energieträgern (Kohle, Erdgas, Öl) hin zu günstigeren erneuerbaren Energieträgern verschiebt (Abbildung 1). Die Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass es innerhalb der fossilen Energieträger nicht zu einer Verschiebung (*fuel switch*) von Kohle zu Erdgas kommt; vielmehr ist Kohle noch länger Teil des Energiemix als Erdgas, welches zum Ende des Betrachtungszeitraumes an Bedeutung verliert. Bei den erneuerbaren Energien sind Photovoltaik, Wind und Biomasse von ungefähr gleich großer Bedeutung. Um diese kostenoptimale und nachhaltige Energieversorgung zu realisieren, ist insgesamt ein hoher Zubau an Kapazitäten erneuerbarer Energien nötig. So sind beispielsweise im Jahr 2030 europaweit bereits knapp 1.000 Gigawatt an Photovol-

<sup>15</sup> Siehe für eine ausführliche Analyse unterschiedlicher Kostendaten Schröder et al. (2013), a. a. O. Der Wert für Atomkraft entspricht heute dem durchschnittlichen Erwartungswert der im Bau befindlichen Atomkraftwerke, für die nachvollziehbare Kostenschätzungen vorliegen – Olkiluoto (Finnland), Flamanville (Frankreich), Hinkley Point C (Vereinigtes Königreich), Vogtle und Virgil C. Summer (USA) – gemindert um 15 Prozent Kostendegression für Skalenerträge. Die konkreten Beträge sind aus den Geschäftsberichten der beteiligten Unternehmen herzuleiten. Hierzu kommen 900 Euro pro Kilowatt für den Rückbau der Atomkraftwerke nach Stilllegung und die langfristige Lagerung der radioaktiven Abfälle. Vergleiche dazu auch die Literatur zu systematischen Kostenüberschreitungen bei Atomkraftwerken, unter anderem Arnulf Grubler (2010): The cost of the French nuclear scale-up: A case of negative learning by doing. *Energy Policy* 38, 5174–5188; Lina E. Rangel und Francois Lévêque (2015): Revisiting the cost escalation curse of nuclear power: New lessons from the French experience. *Economics of Energy & Environmental Policy* 4 (2), 103–125; und die Zusammenfassung der Literatur in Christian von Hirschhausen et al. (2013): Europäische Stromerzeugung nach 2020: Beitrag erneuerbarer Energien nicht unterschätzen. DIW Wochenbericht Nr. 29, 3–13.

<sup>16</sup> Vgl. Europäische Kommission (2016), a. a. O.

<sup>17</sup> Die Maßzahl CO<sub>2</sub>-Äquivalente macht die Klimaschädlichkeit anderer Treibhausgase, wie zum Beispiel Methan oder Lachgas, mit der von CO<sub>2</sub> vergleichbar. So wird in vielen Bewertungen ein verbleibendes Emissionsbudget in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben, vgl. UNEP (2015): The Emissions Gap Report 2015. United Nations Environment Programme. Nairobi (online verfügbar). Dieser Bericht bezieht sich ausschließlich auf CO<sub>2</sub>-Emissionen.



taik installiert; eine Zahl die bis zum Jahr 2050 auf 1.700 Gigawatt steigt.<sup>18</sup>

Zur Bereitstellung von Elektrizität spielt Photovoltaik ab dem Jahr 2025 eine dominante Rolle. Wärme im Bereich der Industrie wird über einen längeren Zeitraum noch durch Erdgas, aber vor allem durch Biomasse bereitgestellt; bei Raumwärme gewinnen Wärmepumpen, die mit (erneuerbarem) Strom betrieben werden, deutlich an Bedeutung. Im Verkehrssektor spielt Erdöl noch länger eine tragende Rolle, wird aber bis zum Jahr 2050 durch einen Mix von Biotreibstoffen, Wasserstoff- und Elektroantrieben ersetzt.

Für die Atomkraft zeigen die Ergebnisse, dass die Stromproduktion von 2.640 Terawattstunden (TWh) im Jahr 2015 über die folgenden Jahrzehnte schrittweise absinkt (Abbildung 2). Geographisch liegt der Schwerpunkt der Verbreitung auf den bereits heute großen Atomstromproduzenten, vor allem China, die USA sowie Frankreich. Aufgrund der hohen Kosten kommt es nicht zum Bau neuer Atomkraftwerke, sodass mit der Stilllegung bereits gebauter Atomkraftwerke die Produktion ausläuft.

Aufgrund unterschiedlicher klimatischer Rahmenbedingungen und Zubaupotenziale variiert der Anteil von Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft weltweit (Abbildung 3). So zeigen die Modellergebnisse beispielsweise auf, dass im Jahr 2050 der Anteil der Photovoltaik an der Stromproduktion in Indien über 50 Prozent liegt. In Europa und Nordamerika hingegen ist der Anteil der Windkraft höher. Auch Länder, beziehungsweise Regionen, welchen ein besonders rasches Wachstum der Atomkraft vorhergesagt wird, können ihre Stromversorgung klimafreundlich ohne Atomkraftwerke decken.

### Auch bei anderen Kostenschätzungen spielt Atomkraft keine Rolle

Die den Modellen zugrundeliegenden Kostenschätzungen sind ein wichtiger Faktor, in dessen Lichte die Befunde zu interpretieren sind. So geht beispielsweise die Internationale Energieagentur in einigen Studien von geringeren Kosten für Investitionen als die jüngere Literatur aus; diese liegen im Bereich von 3.000 US-Dollar pro Kilowatt, etwa in China.<sup>19</sup> Dabei ist unklar, auf welcher empirischen Erhebung diese Schätzungen beruhen.

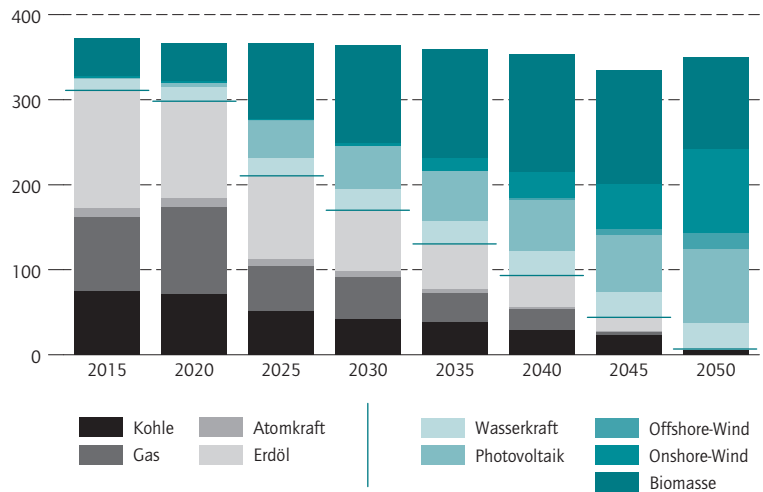
<sup>18</sup> Diese Zahlen entsprechen grundsätzlich ähnlichen Studien, die sich ebenfalls mit einer Dekarbonisierung des weltweiten Energiesystems auseinandergesetzt haben; vgl. Mark Z. Jacobsen et al. (2017): 100 % Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World. Joule 1, 108-121 (online verfügbar); Breyer et al. (2017), a. a. O.; Manish Ram et al. (2017): Global Energy System based on 100 % Renewable Energy – Power Sector. Lappeenranta.

<sup>19</sup> Vgl. IEA (2016): Power generation assumptions in the New Policies and 450 Scenarios in the World Energy Outlook 2016. Paris (online verfügbar).

Abbildung 1

### Entwicklung des globalen Energiemix bei einem CO<sub>2</sub>-Budget von 650 Milliarden Tonnen

Energiebereitstellung in Exajoule



Quellen: GENESYS-MOD v1.0, vgl. Löffler et al. (2017), a. a. O.; eigene Berechnungen.

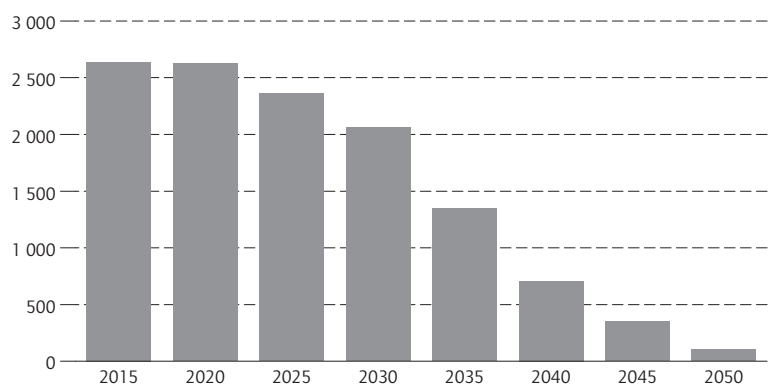
© DIW Berlin 2017

Ein dekarbonisiertes Energiesystem bis 2050 wird von erneuerbaren Energien getragen, nicht vom Atomkraft.

Abbildung 2

### Entwicklung der Atomkraft im globalen Kontext bis 2050

Stromerzeugung durch Atomkraft in Terawattstunden (TWh)



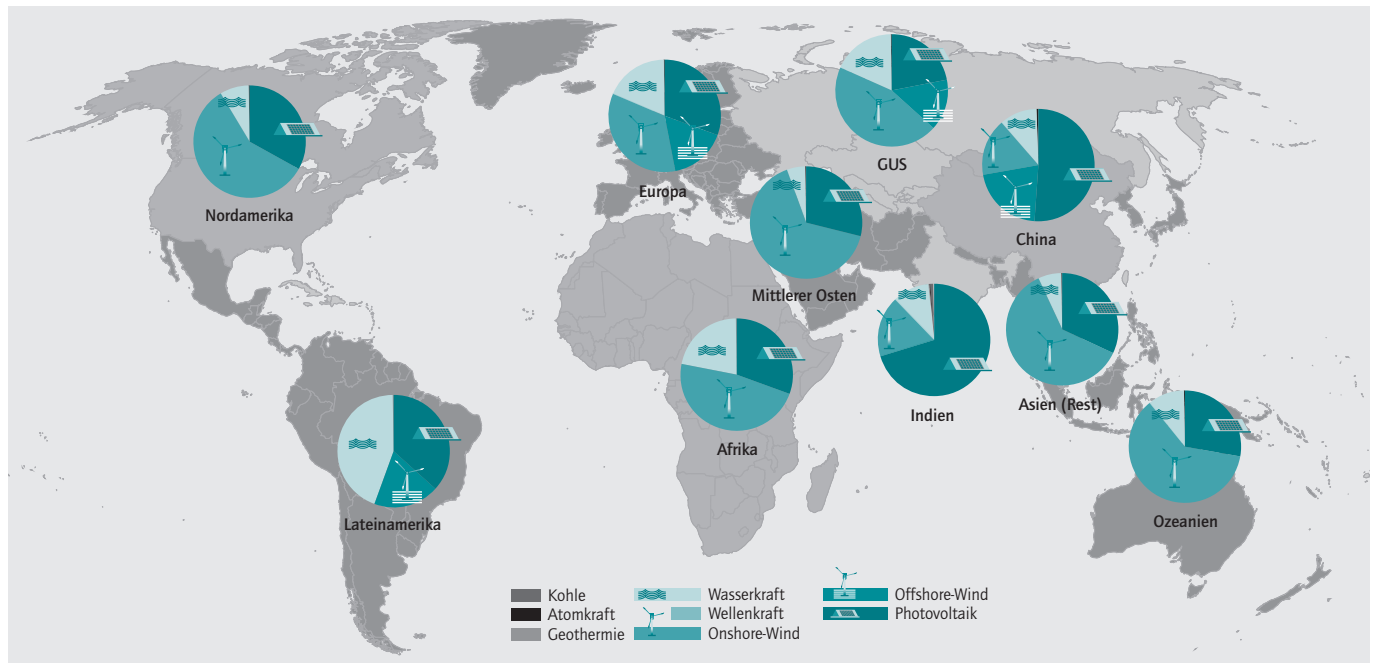
Quellen: GENESYS-MOD v1.0, vgl. Löffler et al. (2017), a. a. O.; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Bei Betrachtung einer kostenoptimalen Energiebereitstellung läuft Atomkraft bis 2050 aus.

Abbildung 3

### Regionale Stromerzeugung im Jahr 2050



Quelle: Eigene Darstellung, angelehnt an Löffler et al. (2017), a. a. O.

© DIW Berlin 2017

Der Mix von erneuerbaren Energien reflektiert die regionalen klimatischen Gegebenheiten.

Doch auch bei diesen niedrigen Kosten spielt Atomkraft in den Modellergebnissen keine Rolle.<sup>20</sup> So werden für eine entsprechende Sensitivitätsrechnung globale Kosten von 2.800 Euro pro Kilowatt für Atomkraft angenommen. Die Modellergebnisse zeigen, dass diese reduzierten Kostenannahmen nicht ausreichend sind, um Atomkraft gegenüber erneuerbaren Energien wettbewerbsfähig zu machen.<sup>21</sup> Die Befunde bleiben quantitativ unverändert; in der Modellrechnung wird kein Atomkraftwerk zugebaut.

<sup>20</sup> Vielmehr lässt sich der hohe Anteil der Atomkraft in den IEA-Szenarien durch die starke Überzeichnung der Kosten der erneuerbaren Energien erklären. Dieses Artefakt wird inzwischen von einem Großteil der wissenschaftlichen Community kritisiert, vgl. Mathieu Metayer, Christian Breyer und Hans-Josef Fell (2015): The Projections for the Future and Quality in the Past of the World Energy Outlook for Solar PV and Other Renewable Energy Technologies. Proceedings of the 31<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3112-3238; Felix Creutzig et al. (2017): The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. Nature Energy 2 (9), 17140.

<sup>21</sup> Diese Modellrechnungen implizieren nicht, dass es nicht in einigen Ländern tatsächlich zum Bau neuer Atomkraftwerke kommen kann. So planen derzeit beispielsweise Indien und China, ihre Kapazitäten in den kommenden Jahren deutlich zu erhöhen. Die Ergebnisse weisen vielmehr darauf hin, dass Atomkraft auch in diesen Ländern keine preiswerte Option ist und unter rein kostenbasierten Rahmenbedingungen nicht vorkommen würde.

Zudem ist die Höhe der Investitionen aus volkswirtschaftlicher Perspektive nachrangig, bildet diese doch nur einen geringen Teil der Gesamtkosten ab. Neben den Investitionskosten sind auch die Betriebskosten, die Kosten des Rückbaus und der langfristigen Lagerung, Systemkosten wie Forschung und Entwicklung sowie die externen Kosten der Atomkraft, wie zum Beispiel bei Unfällen, relevant. Somit liegt nahe, dass sie aus wohlfahrtsökonomischer Perspektive nicht zum Einsatz kommen sollte, auch nicht als vermeintliche Klimaschutztechnologie.<sup>22</sup>

### Diskussion der zeitlichen und räumlichen Aggregation

Bei einem globalen Modell mit einem weit in die Zukunft reichenden Zeithorizont, wie in diesem Bericht, müssen notwendigerweise vereinfachende Annahmen getroffen werden. Insbesondere die Integration erneuerbarer

<sup>22</sup> Vgl. für eine differenzierte Betrachtung des Kostenbegriffs und eine Übersicht über die Literatur Christian von Hirschhausen (2017): Nuclear Power in the 21<sup>st</sup> Century – An Assessment (Part I). DIW Berlin Discussion Paper 1700.

Energien in das Stromsystem ist hierbei in zeitlicher und räumlicher Dimension vereinfacht abgebildet.

So verwendet das Modell sechs Zeitschritte pro Jahr, für drei Jahreszeiten jeweils einen Tag und eine Nacht, um sich der zeitlichen Variabilität von Energienachfrage und Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien zu nähern. Ein Großteil dieser Variabilität ist somit nicht explizit berücksichtigt und es kann zu einer Überschätzung des Beitrags von Windkraft und Photovoltaik kommen. Während die Schwankungen des Dargebots in der Realität zu längeren Phasen mit sehr niedriger Erzeugung führen können, impliziert eine Reduktion der betrachteten Zeitschritte eine optimistische Perspektive auf deren Verfügbarkeit. So wird angenommen, dass innerhalb eines Zeitschritts und einer Region die Erzeugung aus erneuerbaren Energien einem gewissen Prozentsatz der installierten Kapazität entspricht. Dies geht tendenziell mit einer Unterschätzung des Bedarfs an ergänzender zeitlicher Flexibilität zur Systemintegration erneuerbarer Energien einher, etwa durch Energiespeicher. Nach den vorliegenden Berechnungen sind im Jahr 2050 weltweit insgesamt circa 5 000 Gigawatt an Energiespeichern installiert. Lithium-Ionen-Batterien können hierbei die Energie vom Tag in die Nacht verschieben; Pumpspeicher und Power-to-Gas-Anlagen auch über Jahreszeiten hinweg. Eine detailliertere Betrachtung der zeitlichen Schwankungen des Dargebots an erneuerbaren Energien ließe einen höheren Bedarf erwarten, sowohl an erneuerbaren Erzeugungsanlagen als auch an Speichern, und somit auch höhere Kosten. Wie sich dies explizit auf den optimalen Technologiemix auswirkt, ist unklar.

Auch die räumliche Zusammenfassung von Ländern in Regionen abstrahiert von möglichen regionalen Engpässen. So müssen in der Realität Standorte mit gutem Dargebot an erneuerbaren Energien nicht notwendigerweise mit den Standorten zusammenfallen, an denen die Nachfrage konzentriert ist. Innerhalb der zehn Modellregionen wird von unbegrenzten Übertragungskapazitäten ausgegangen. Indem das Modell von einer konkreten Darstellung des räumlichen Ausgleichs abstrahiert, sind auch technologische Fragen nach der optimalen Dimensionierung und Bewirtschaftung von Netzen nicht explizit berücksichtigt. Eine räumlich differenziertere Darstellung könnte höhere Ausbauraten für erneuerbare Energien oder die nachgeordnete Infrastruktur nach sich ziehen, und damit höhere Kosten. Allerdings benötigen auch nukleare und fossile Technologien ein gewisses Maß an Infrastruktur zur räumlichen Verteilung der Energie. Ebenso ist durch die räumliche Aggregation die Qualität von Standorten für Windkraft und Photovoltaik vereinfacht abgebildet.

## Schlussfolgerungen

Über die Einschätzung der Bedeutung der Atomkraft als Technologie für den Klimaschutz herrscht in internationalen Studien keine Einigkeit. Insbesondere gibt es nach wie vor eine Diskrepanz zwischen der Perspektive vieler Studien, auch von internationalen Organisationen, die die zukünftige Entwicklung des globalen Energiesystems untersuchen, und einer einzelwirtschaftlichen Betrachtung, der zufolge Atomkraft in einem wettbewerblichen Umfeld keine Bedeutung zukommt. Um Klimaschuttszenarien in einem globalen Umfeld abzubilden, wurde für diesen Bericht ein etabliertes, quelloffenes Energiesystemmodell weiterentwickelt und angewendet. Das Modell optimiert die Ausbaupfade für verschiedene Technologien, indem es die globalen Kosten der Bereitstellung von Energie für Elektrizität, Wärme und Verkehr minimiert. Dabei berücksichtigt es ein verbleibendes CO<sub>2</sub>-Budget von 650 Milliarden Tonnen – entsprechend des Ziels, die globale Erwärmung auf höchstens zwei Grad zu begrenzen. Dieser große räumliche und zeitliche Umfang geht allerdings mit einer vereinfachten Betrachtung der Systemintegration erneuerbarer Energien einher.

Die Modellergebnisse legen nahe, dass Atomkraft zur Erreichung zukünftiger Klimaschuttsziele unnötig ist. Angesichts der hohen Kosten der Atomkraft sowie der Kostendegression erneuerbarer Energien und von Energiespeichern läuft die Nutzung der Atomkraft aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten aus. Der Bau neuer Atomkraftwerke lohnt sich nicht. Der kostenminimale Energiemix besteht, je nach Region, aus Solar-, Wind- und Wasserkraft sowie Bioenergie, unterstützt durch Technologien zur Energiespeicherung und Kopplung der Sektoren Elektrizität, Wärme und Verkehr. Über die direkten Kosten für Investitionen und Betrieb hinaus sind die Umweltkosten und Risiken der Atomkraft von hoher Relevanz. Diese umfassen unter anderem die Risiken von Unfällen und Proliferation sowie die unklare langfristige Lagerung von Atommüll. Diese Aspekte sind in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt, müssen aber, über das reine Kostenargument hinaus, für eine umfassende ökonomische Würdigung zusätzlich bedacht werden.

Entsprechend kann die Förderung der Atomkraft als kontraproduktiv angesehen werden, auch weil sie die Entwicklung anderer, günstigerer Energien behindern kann. Ressourcen für Forschung und Entwicklung sowie internationale finanzielle Förderung sollten eher in erneuerbare Energien und Speichertechnologien sowie die Möglichkeiten der Sektorenkopplung gelenkt werden.

**Claudia Kemfert** ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [ckemfert@diw.de](mailto:ckemfert@diw.de)

**Thorsten Burandt** ist Doktorand an der TU Berlin | [thb@wip.tu-berlin.de](mailto:thb@wip.tu-berlin.de)

**Karlo Hainsch** ist studentischer Mitarbeiter an der TU Berlin | [kh@wip.tu-berlin.de](mailto:kh@wip.tu-berlin.de)

**Konstantin Löffler** ist studentischer Mitarbeiter an der TU Berlin | [kl@wip.tu-berlin.de](mailto:kl@wip.tu-berlin.de)

**Pao-Yu Oei** ist Gastwissenschaftler in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [poei@diw.de](mailto:poei@diw.de)

**Christian von Hirschhausen** ist Forschungsdirektor für internationale Infrastrukturpolitik und Industrieökonomie am DIW Berlin | [chirschhausen@diw.de](mailto:chirschhausen@diw.de)

**JEL:** L91, L95, Q4

**Keywords:** Nuclear power, renewable energy, energy system model, climate policy, decarbonization

This report is also available in an English version as DIW Economic Bulletin 48/2017:

[www.diw.de/econbull](http://www.diw.de/econbull)





Prof. Dr. Claudia Kemfert,  
Leiterin der Abteilung Energie,  
Verkehr, Umwelt am DIW Berlin

INTERVIEW MIT CLAUDIA KEMFERT

## »Klimaziele können weltweit günstiger ohne Atomkraft erreicht werden«

1. Frau Kemfert, welche Rolle soll die Atomkraft in zukünftigen Bemühungen um den internationalen Klimaschutz spielen? Sie ist einfach zu teuer und nicht wettbewerbsfähig. Vor allen Dingen werden die Kosten der Atomenergie generell massiv unterschätzt. Sowohl beim Bau als auch beim Rückbau und der Endlagerung entstehen erhebliche Kosten durch die Atomenergie. Gleichzeitig werden in vielen Studien die Kosten der erneuerbaren Energien überschätzt. Gerade im Bereich der erneuerbaren Energien gibt es eine erhebliche Kostendegression, und wenn man das beides gegeneinander rechnet, gibt es gar keine andere Antwort: Die erneuerbaren Energien sind die Zukunft und die Atomenergie ist die Vergangenheit.
2. Das Pariser Klimaschutzziel kann also auch ohne Atomkraft erreicht werden? Ganz genau. Das Pariser Klimaziel und die Begrenzung der Erderwärmung auf zwei Grad kann ohne Atomenergie erreicht werden, insbesondere durch den massiven Ausbau der erneuerbaren Energien. Wir haben ein massives Klimaproblem und das CO<sub>2</sub>-Budget ist sehr begrenzt. Wenn man das sehr ernst nimmt und auch umsetzen will, dann muss man zukunftsweisende Technologien ausbauen, und da gehört die Atomenergie nicht dazu.
3. Gilt das auch für große energiehungrige Schwellenländer, wie China und Indien? Gerade in diesen beiden Ländern gibt es erhebliche Potentiale durch die erneuerbaren Energien, und diese sollte man dort auch nutzen. Die erneuerbaren Energien sind kosteneffizient, sie sind relativ preiswert, und sie sind vor allem dezentral und partizipativ. Das alles ist gerade auch in Ländern wie China und Indien von Vorteil. Obwohl sie stark wachsen, können sie auch ihren Energiehunger mit erneuerbaren Energien decken. Die Atomenergie ist einfach wahnsinnig teuer. Man darf aber nicht vergessen: Wenn sie sich in diesen Ländern durchsetzt, geht es hier in erster Linie um Macht und auch um Atomwaffen. Auch das muss man thematisieren.
4. Was unterscheidet das Modell GENeSYS-MOD, mit dem Sie gerechnet haben, von anderen Rechenmodellen? Wir nutzen ein ganz ähnliches Modell wie alle anderen auch. Das ist ein Standard-Energiesystemmodell, das alle Weltregionen umfasst. Die wesentlichen Unterschiede liegen darin, dass wir realistische Kosten für die Atomenergie annehmen und auch realistische Annahmen für die erneuerbaren Energien und die zukünftig eingesetzten Speichertechnologien einsetzen. Diese Kosten sinken massiv, und das spiegelt sich auch in unseren Modellrechnungen wieder.
5. Auf welchen fossilen Energieträger werden wir noch am längsten angewiesen sein? Aller Voraussicht nach werden das am ehesten Erdgas und Kohle sein, allerdings mit abnehmender Tendenz. Es geht darum, dass wir, um das Pariser Klimaziel zu erreichen, den größten Teil der fossilen Energieträger im Boden belassen müssen. Für einen begrenzten Zeitraum werden wir noch Kohle und auch Erdgas verfeuern, aber all das wird im Zeitverlauf abnehmen.
6. Auf welche Energieformen beziehungsweise welchen Energiemix wird es langfristig hinauslaufen, wenn wir die Zwei-Grad-Grenze dauerhaft nicht überschreiten wollen? Es wird langfristig auf die erneuerbaren Energien hinauslaufen, und da sind alle gefragt: die Wasserkraft, die Geothermie, die Solarenergie und die Biomasse genauso wie die Windenergie. All diese Technologien werden zusammen als Teamplayer in allen Regionen der Welt im Einsatz sein, und auch die Speichertechnologien werden immer preiswerter werden. Das ist die Zukunft der Energieversorgung.

Das Gespräch führte Erich Wittenberg.



Das vollständige Interview zum Anhören finden  
Sie auf [www.diw.de/interview](http://www.diw.de/interview)

# Unternehmen mit Forschung im Ausland stärken den Forschungsstandort Deutschland

Von Heike Belitz

Deutsche Unternehmen haben in den letzten Jahren verstärkt im Ausland in Forschung und Entwicklung (FuE) investiert. Damit stieg der Auslandsanteil nach längerer Stagnation auf fast 35 Prozent, während gleichzeitig ihre FuE-Ausgaben auch in Deutschland weiter kräftig zunahmen. Der Zuwachs im Ausland erfolgt also nicht auf Kosten des heimischen Forschungsstandorts. Zudem haben ausländische Unternehmen in Deutschland zuletzt wieder etwas mehr in FuE investiert, erreichen aber nicht den bisherigen Höchstwert von 2011. Gemessen am Bestand an Direktinvestitionen aus dem Ausland dürfte bei ihnen noch Potential für ein stärkeres Engagement in FuE bestehen. Im internationalen Vergleich war der Zuwachs der privaten FuE-Investitionen in Deutschland in den letzten Jahren hoch. Getragen wurde er überwiegend von deutschen Unternehmen mit FuE im Ausland.

Die Globalisierung von Forschung und Entwicklung (FuE) ist in den forschungsstärksten multinationalen Unternehmen weit fortgeschritten. Sie sind in wenigen Industrieländern beheimatet, zu denen Deutschland gehört. Zielregionen für ihre internationalen FuE-Aktivitäten sind vor allem die USA, Westeuropa und Japan, zunehmend aber auch China.<sup>1</sup> Forschungsstandorte können von der Globalisierung profitieren, wenn damit ein Wissenszufluss aus Forschungseinheiten multinationaler Unternehmen im Ausland verbunden ist und das Wissen auch lokalen Unternehmen zugutekommen kann.<sup>2</sup> Der Umfang und die Entwicklung der FuE-Aktivitäten ausländischer Unternehmen werden oft als Zeichen für die Attraktivität der Forschungsbedingungen in einem Land angesehen.

Im Zusammenhang mit der Übernahme von forschenden Unternehmen durch ausländische Eigentümer gibt es aber auch die Befürchtung, dass technologisches Wissen ins Ausland abfließt und der heimische Forschungsstandort ausgehöhlt werden könnte.<sup>3</sup> In den Heimatländern multinationaler Unternehmen werden FuE-Investitionen im Ausland oft als Verlagerungen von Kapazitäten interpretiert, die dem heimischen Standort verloren gehen. Dabei sind die wichtigsten Motive der Internationalisierung nicht kosten-, sondern markt- und technologiebezogen: Multinationale Unternehmen müssen ihre Produkte und Prozesse in den Zielmärkten weiterentwickeln und an lokale Bedingungen und Kunden-

<sup>1</sup> Für 2013 werden die FuE-Ausgaben ausländischer Unternehmen in den USA auf knapp 40 Milliarden Euro, in der EU (ohne Berücksichtigung der innereuropäischen Internationalisierung) auf knapp 28 Milliarden Euro und in China auf etwa 4,3 Milliarden Euro geschätzt. Siehe AIT, SPRU, IRCRES und NIFU (2017): Internationalisation of business investments in research and development and analysis of their economic impact (BERD Flows). DG for Research and Innovation (European Commission). Brüssel, 43.

<sup>2</sup> Vgl. Heike Belitz und Florian Mölders (2016): International Knowledge Spillovers Through High-Tech Imports and R&D of Foreign-Owned Firms, *The Journal of International Trade & Economic Development* 25 (4), 590-613.

<sup>3</sup> So wurden etwa in der Öffentlichkeit bei der Übernahme des deutschen Roboterbauers Kuka durch den chinesischen Midea-Konzern Bedenken geäußert, dass damit wichtiges technologisches Know-how nach China abfließen könnte.



## Kasten 1

**Daten zur Globalisierung privater FuE**

Für Deutschland stellt die Stifterverband Gesellschaft für Wissenschaftsstatistik mbH (SV) seit Mitte der 1990er Jahre im Zweijahresrhythmus Sonderauswertungen der FuE-Daten der Unternehmen zur Verfügung, die nach dem Eigentümerprinzip erhoben sind. Die Ergebnisse werden seit 2003 in den eigenen Publikationen des Stifterverbandes veröffentlicht<sup>1</sup> und auch internationalen Organisationen, wie der OECD, Wissenschaft und Politik zur Verfügung gestellt.<sup>2</sup>

Die FuE-Aufwendungen deutscher Unternehmen im Ausland werden vom Stifterverband ermittelt, indem die weltweiten (einschließlich der in Deutschland getätigten) FuE-Gesamtaufwendungen der 100 forschungstärksten Unternehmen um ihre Aufwendungen in Deutschland reduziert werden.

Die Bestimmung der FuE ausländischer Unternehmen in Deutschland erfolgt über die im Rahmen der nationalen FuE-Erhebung befragten forschenden Unternehmen. Diesen wird mit Hilfe einer externen Datenbank der letzte Eigentümer („ultimate owner“) zugewiesen.

Die Datenbasis zur Messung der Globalisierung von FuE in den Unternehmen ist in vielen Ländern noch wenig entwickelt.<sup>3</sup> Vor allem für die FuE-Aufwendungen im Ausland fehlen Informationen. Die OECD (AMNE Database – Activity of Multinational Enterprises) und Eurostat (FATS – Foreign Affiliates Statistics) stellen die verfügbaren Daten aus nationalen Quellen für den internationalen Vergleich zusammen.

<sup>1</sup> Zuletzt in: a:ra:n'di: Zahlenwerk 2017 – Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2015. Herausgeber: SV Gesellschaft für Wissenschaftsstatistik mbH. Essen.

<sup>2</sup> Sie werden auch für die Studien zum deutschen Innovationssystem für die unabhängige Expertenkommission Forschung und Innovation der Bundesregierung aufbereitet, zuletzt in Heike Belitz (2017): Internationalisierung privater Forschung und Entwicklung im Ländervergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 12-2017. Berlin.

<sup>3</sup> OECD (2015): Science, Technology and Industry Scoreboard. Paris, 135.

wünsche anpassen. Der Aufbau von eigenen Forschungslaboren im Ausland dient aber auch dazu, neues technologisches Wissen von Wettbewerbern, Hochschulen und Forschungsinstituten zu erwerben. Schließlich ist die Nutzung von qualifiziertem Forschungspersonal im Zielland ein wichtiges Motiv für FuE im Ausland. In diesem Bericht wird die Internationalisierung der FuE deutscher Unternehmen im Ausland und ausländischer

Tabelle 1

**FuE-Aufwendungen deutscher Unternehmen weltweit und im Ausland, 1995–2015**

	1995	2001	2003	2007	2013	2015
<i>In Milliarden Euro</i>						
Weltweit	22,1	34,4	36,3	38,6	55,3	68,9
Darunter:						
im Ausland	5,1	11,9	10,9	9,4	17,3	24,0
<i>In Prozent</i>						
Auslandsanteil	23	35	30	24	31	35

Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

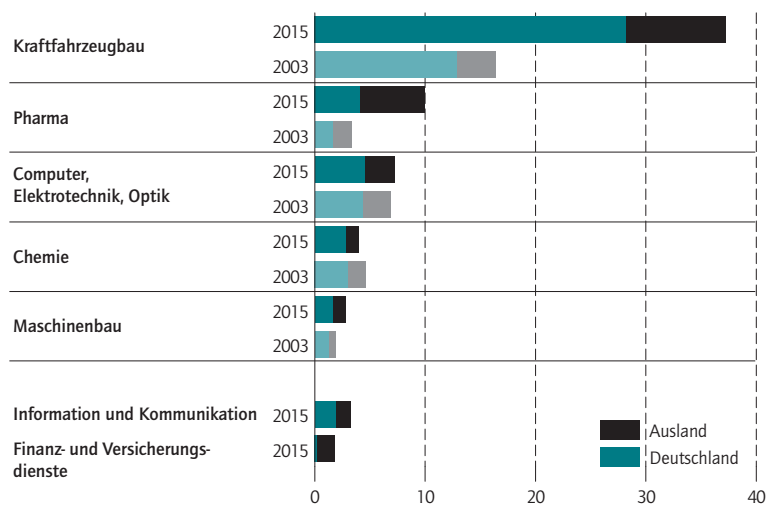
© DIW Berlin 2017

Der Auslandsanteil der FuE-Aufwendungen lag 2015 (wie bereits 2001) wieder bei 35 Prozent.

Abbildung 1

**FuE-Aufwendungen deutscher Unternehmen ausgewählter Branchen im In- und Ausland, 2003 und 2015**

In Milliarden Euro



Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

FuE im Ausland wächst bei Kraftfahrzeugbauern und Pharmaunternehmen am stärksten, die auch im Inland am meisten zulegen.

Unternehmen in Deutschland anhand aktueller Daten (Kasten 1) untersucht und mit anderen Industrieländern verglichen.

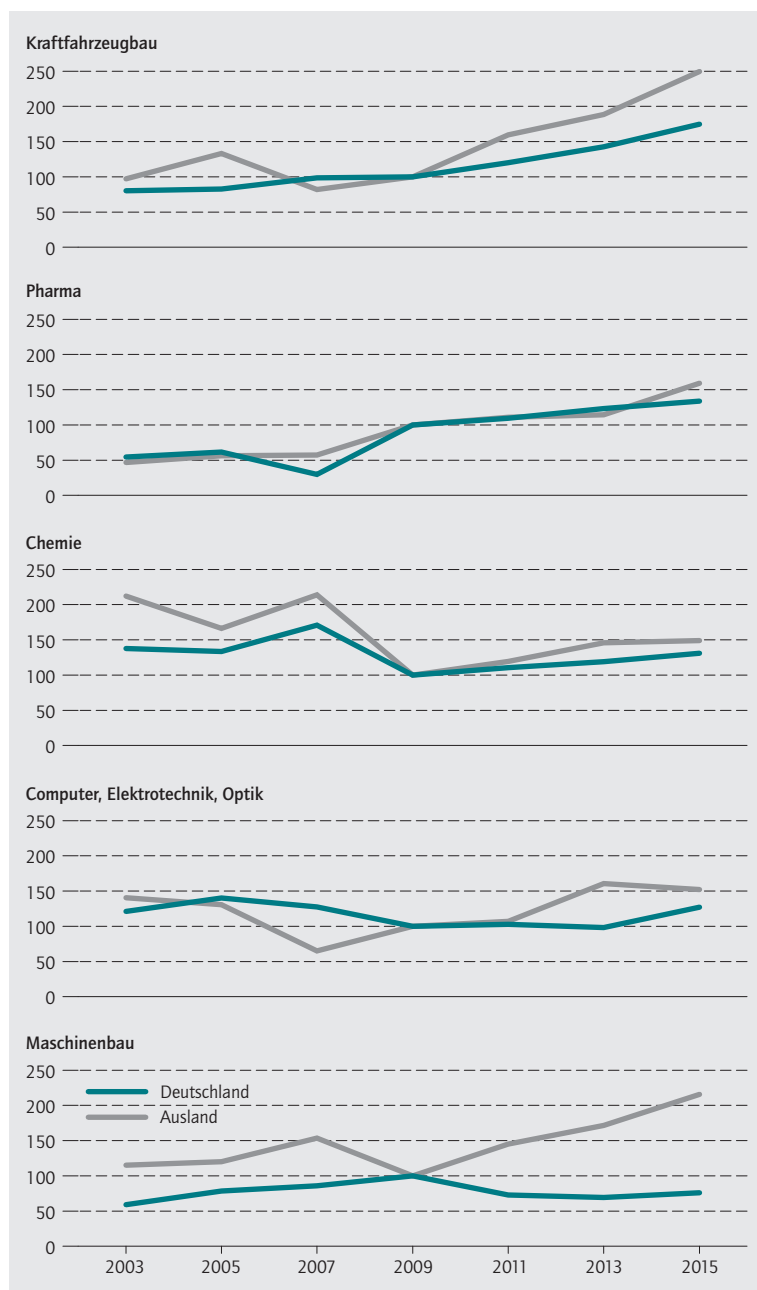
**FuE deutscher Unternehmen im Ausland**

Die FuE-Aufwendungen deutscher Unternehmen im Ausland erreichten 2015 mit 24 Milliarden Euro den bis-

Abbildung 2

**FuE im Ausland und In Deutschland, 2003 bis 2015**

Index 2009=100



Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

In fast allen Branchen entwickelt sich die FuE deutscher Unternehmen im In- und Ausland parallel.

Tabelle 2

**Anteil der FuE-Aufwendungen deutscher Unternehmen im Ausland in ausgewählten Branchen, 2003 und 2015**

	2003	2015
Chemie	34	28
Pharma	50	58
Maschinenbau	32	41
Computer, Elektrotechnik, Optik	37	37
Kraftfahrzeugbau	21	24
Information u. Kommunikation	-	40
Finanz- und Versicherungsdienste	-	88

Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Deutsche Finanzdienstleister und Pharmaunternehmen investieren im Ausland mehr in FuE als in Deutschland.

her höchsten Wert.<sup>4</sup> Der Auslandsanteil lag damit wieder bei 35 Prozent, wie bereits im Jahr 2001. Danach war er zunächst gesunken, stieg aber ab 2007 wieder (Tabelle 1).

Zwischen 2003 und 2015 wuchsen die jährlichen globalen FuE-Aufwendungen international forschungsaktiver deutscher Unternehmen von 36 Milliarden Euro auf knapp 69 Milliarden Euro. Sie haben sich damit nominal fast verdoppelt. Der Zuwachs von gut 32,5 Milliarden Euro im Vergleich zu 2003 entfiel zu 60 Prozent auf Standorte in Deutschland und zu 40 Prozent auf das Ausland. Im Inland wird die Dynamik vom Kraftfahrzeugbau bestimmt, auf den 80 Prozent der zusätzlichen FuE-Aufwendungen multinationaler Unternehmen entfallen. Im Ausland sind es immerhin 42 Prozent. Dort hat auch die Pharmaindustrie ihre FuE-Aufwendungen stark ausgeweitet und ist damit für weitere 32 Prozent des Zuwachses der FuE-Ausgaben deutscher Unternehmen im Ausland nach 2003 verantwortlich. Aber auch im Inland haben die deutschen Pharmaunternehmen ihre FuE ausgebaut (Abbildung 1). Insgesamt entfällt also das Gros der FuE im Ausland auf den Kraftfahrzeugbau und die Pharmaindustrie. Bereits mehr als die Hälfte der FuE-Aufwendungen verausgaben Pharmaunternehmen im Ausland. Einen noch höheren Auslandsanteil haben die deutschen Finanz- und Versicherungsdienstleister, die mit 1,5 Milliarden Euro sogar 88 Prozent ihrer weltweiten FuE-Aufwendungen im Ausland investieren. Aber nicht in allen Branchen nahm der Auslandsanteil der FuE in den letzten Jahren zu (Tabelle 2). So blieb er in der

<sup>4</sup> Siehe a.ran'di: Zahlenwerk 2017 (und frühere Veröffentlichungen) – Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2015. Herausgeber: SV Gesellschaft für Wissenschaftsstatistik mbH, Essen.

Computer- und Elektrotechnikbranche etwa gleich und verringerte sich in der Chemieindustrie sogar.

Die Entwicklung der FuE-Aufwendungen im In- und Ausland verläuft dabei in den Branchen weitgehend parallel: mit einem Zuwachs oder Rückgang der FuE im Inland geht oft eine gleichgerichtete Veränderung im Ausland einher (Abbildung 2). Die Ausweitung der FuE-Aktivitäten deutscher Unternehmen im Ausland wird also vor allem von Unternehmen getrieben, die auch im Inland ihre FuE ausbauen (Automobilbauer und Pharmaunternehmen). In deutschen Unternehmen der Computer- und Elektrotechnik und der Chemiebranche stagnieren die FuE-Aufwendungen dagegen sowohl im Inland als auch im Ausland oder gehen sogar zurück. Lediglich bei den Maschinenbauern expandierte FuE im Ausland und schrumpfte zugleich im Inland nach 2009 etwas.

### FuE im Ausland im internationalen Vergleich

Eine Bewertung der Auslandsinvestitionen der Unternehmen in FuE muss im Zusammenhang mit den Investitionen am Heimatstandort vorgenommen werden. Daten zu den FuE-Aufwendungen im In- und Ausland liegen aber neben deutschen nur für US-amerikanische und schwedische Unternehmen vor. In den Unternehmen aus diesen drei Ländern haben sich die Aufwendungen im Zeitraum seit 1997 etwa gleichläufig entwickelt (Abbildung 3). Für die international besonders forschungsaktiven schweizerischen Unternehmen gibt es diese Informationen nur für das Ausland. Ihre Aufwendungen sind im Ausland bereits größer als die gesamten inländischen Aufwendungen von Unternehmen in der Schweiz,<sup>5</sup> sie sind aber im Zeitraum 1992 bis 2012 im Ausland nicht stärker gewachsen als letztere.

Die Entwicklung der FuE-Aufwendungen heimischer Unternehmen im In- und Ausland kann auch näherungsweise mit Patentdaten geschätzt werden (Kasten 2).<sup>6</sup> Dies geschieht hier für Deutschland und sieben weitere Industrieländer, in denen besonders viele forschungsstarke multinationale Unternehmen beheimatet sind (Frankreich, Großbritannien, Japan, Schweden, Schweiz, Südkorea, USA).

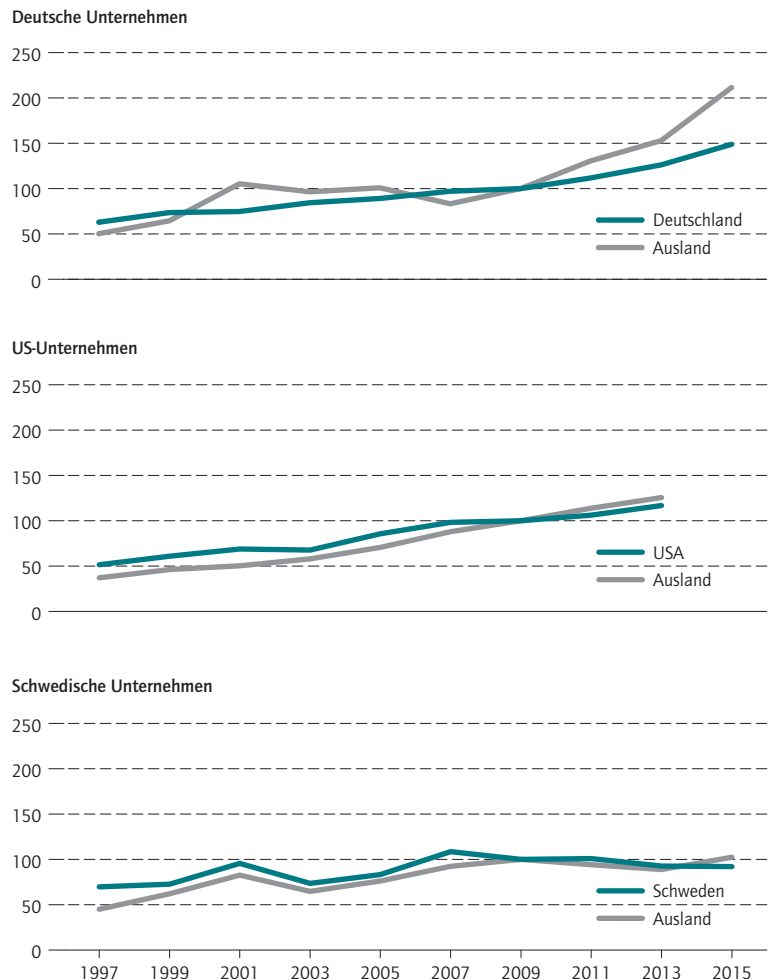
<sup>5</sup> Neben den Unternehmen in schweizerischem Mehrheitseigentum mit FuE im Ausland gehören dazu auch die ausländischen und die nicht international forschenden schweizerischen Unternehmen.

<sup>6</sup> Die Zahl der Patentanmeldungen wird in der Forschung häufig als Maß für FuE-Investitionen verwendet. Dabei muss in Kauf genommen werden, dass FuE mit nicht patentierbaren Ergebnissen nicht erfasst wird und Abweichungen beider Indikatoren unter anderem durch die unterschiedliche Patentierneigung in verschiedenen Branchen und Unternehmensgrößenklassen bedingt ist.

Abbildung 3

### FuE-Aufwendungen deutscher, US-amerikanischer und schwedischer Unternehmen im In- und Ausland, 1997 bis 2015

Index 2009=100



Quellen: SV Wissenschaftsstatistik, Bureau of Economic Analysis (BEA)/U.S. Department of Commerce, Swedish Agency for Growth Policy Analysis; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

FuE deutscher, US-amerikanischer und schwedischer Unternehmen wachsen im Ausland kaum schneller als im Herkunftsland.

Die Anteile der Patentanmeldungen heimischer Anmeldender mit Erfindern im Ausland unterscheiden sich zwischen diesen Ländern stark (Abbildung 4). Hohe Auslandsanteile der Erfinder, die auf umfangreiche FuE-Aktivitäten im Ausland hinweisen, haben die Schweiz und Schweden. Multinationale Unternehmen dieser relativ kleinen Länder müssen schon deshalb verstärkt im Ausland forschen, weil die Kapazitäten im Heimatland begrenzt sind. Unternehmen aus Frankreich, Großbritannien, Deutschland und den USA haben ein mittleres Internationalisierungsniveau der Forschung. Die

## Kasten 2

**Messung der Internationalisierung der Unternehmensforschung mit Patentdaten zum Sitz von Anmeldern und Erfindern**

Die OECD stellt Daten für Anmeldungen von internationalen Patenten (darunter auch von sogenannten PCT-Patenten, siehe unten) bereit, an denen mindestens ein Erfinder im Ausland beteiligt war. Der entsprechende Indikator „Erfindungen im Ausland im heimischen Eigentum“ (domestic ownership of inventions made abroad) spiegelt das Ausmaß wider, in dem Unternehmen eines Landes Erfindungen auf Basis von FuE in Tochterunternehmen im jeweiligen anderen Land kontrollieren. Den Auswertungen dieser Daten zu Patentanmeldungen liegt dabei die Annahme zugrunde, dass die weit überwiegende Zahl der verwendeten internationalen Patente von Unternehmen und nur zu einem geringen Teil etwa von Forschungseinrichtungen oder den Erfindern selbst angemeldet wird. Der Anteil der Patentanmeldungen heimischer Anmelder (Unternehmen) mit ausländischen Erfindern entspricht dann etwa dem Anteil der Erfinder im Ausland. Damit ergänzt der Indikator die FuE-Daten für Töchter heimischer Unternehmen im Ausland.<sup>1</sup>

Demgegenüber kann die Internationalisierung von FuE aus der Sicht der Zielländer anhand der Zahl der Patentanmeldungen von ausländischen Anmeldern mit Erfindern im Inland gemessen werden (foreign ownership of domestic inventions).

Auf der Basis dieser Daten können auch die Patentanmeldungen einheimischer Unternehmen in ihrem Heimatland geschätzt werden, indem von allen Patenten die Patente von ausländischen Anmeldern mit Erfindern im jeweiligen Land abgezogen werden. Um die Schwankungen der jährlichen Anmeldungszahlen in kleinen Ländern zu glätten, wurden hier zur Berechnung

aller Indikatoren die Summe der Patentanmeldungen des jeweiligen und des Vorjahres verwendet.

**PCT-Patente**

Um im Ausland Patentschutz zu erhalten, muss der Anmelder grundsätzlich beim jeweiligen nationalen Patentamt eine gesonderte Anmeldung einreichen. Da dieses Verfahren umständlich und teuer ist, wurde mit dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens (PCT)<sup>2</sup> die Möglichkeit geschaffen, mit einer einzigen (internationalen) Anmeldung die Wirkung einer nationalen Anmeldung in allen PCT-Vertragsstaaten zu erreichen.<sup>3</sup> Nach der Anmeldung hat der Anmelder bis zu 18 Monate Zeit, darüber zu entscheiden, ob er die Patentanmeldung in anderen Ländern weiterverfolgen möchte. Der PCT ist ein internationaler Vertrag zwischen mehr als 150 Ländern, der von der Weltorganisation für geistiges Eigentum (WIPO) verwaltet wird. Für die Patenterteilung im eigentlichen Sinn sind jedoch weiterhin die nationalen oder regionalen Patentämter während der sogenannten nationalen Phase zuständig.

Aufgrund der internationalen Ausrichtung dieses Verfahrens und der hohen Qualität der Recherche über die mögliche Patentfähigkeit einer Erfindung spiegeln die PCT-Anmeldungen eher (als Patente unterschiedlicher nationaler Patentämter) gleichwertige Erfindungen wider.

<sup>1</sup> OECD (2009): Patent Statistics Manual. Paris, 127.

<sup>2</sup> [www.wipo.int/pct/de/texts/index.htm](http://www.wipo.int/pct/de/texts/index.htm)

<sup>3</sup> Siehe auch Informationen zu PCT-Anmeldungen unter [www.wipo.int/pct/de](http://www.wipo.int/pct/de).

geringsten Auslandsanteile der Erfinder sind in Südkorea und Japan zu beobachten. In den meisten Ländern stieg der Internationalisierungsgrad der Unternehmen im Zeitraum zwischen 2000 und 2014 etwas, in Südkorea und Japan ging er jedoch leicht zurück. Die Zahl der Patentanmeldungen heimischer Anmelder mit Erfindern am heimatlichen Forschungsstandort und im Ausland verändert sich dabei weitgehend parallel (Abbildung 5). Sowohl der Ausbau als auch der Rückgang der Patentzahlen am heimischen Standort führen zu gleichgerichteten Veränderungen im Ausland. Dies deutet darauf hin, dass die Forschung im Ausland für die Unternehmen in der Regel kein Ersatz, sondern eine Erweiterung ihrer Aktivitäten im Heimatland ist.

**FuE-Investitionen ausländischer Unternehmen in Deutschland ...**

Nach den Angaben des Stifterverbandes hatten alle ausländischen Unternehmen in Deutschland im Jahr 2015 interne FuE-Aufwendungen von insgesamt 13,1 Milliarden Euro.<sup>7</sup> Damit gaben sie wieder mehr aus als 2013 (11,9 Milliarden Euro), verfehlten aber knapp die bisherige Höchstmarke von 13,2 Milliarden Euro im Jahr 2011. Gemessen in Vollzeitäquivalenten waren in ausländischen Unternehmen im Jahr 2015 wie schon 2011 ungefähr 90.000 Personen in FuE beschäftigt. Der Anteil des

<sup>7</sup> Siehe a: rön'di: Zahlenwerk 2017, a. a. O.

FuE-Personals in ausländischen Unternehmen lag mit gut 22 Prozent auf dem niedrigsten Wert seit dem Jahr 2001 (Tabelle 3). Dabei ging ihr Anteil auch in den meisten Wirtschaftszweigen zuletzt zurück. Leichte Steigerungen gab es nur im Maschinenbau, der Metallerzeugung und -bearbeitung und in der Dienstleistungsbranche Wissenschaftliche Forschung und Entwicklung, auf die zusammen aber weniger als ein Fünftel der FuE-Beschäftigten in ausländischen Unternehmen entfallen (Tabelle 4).

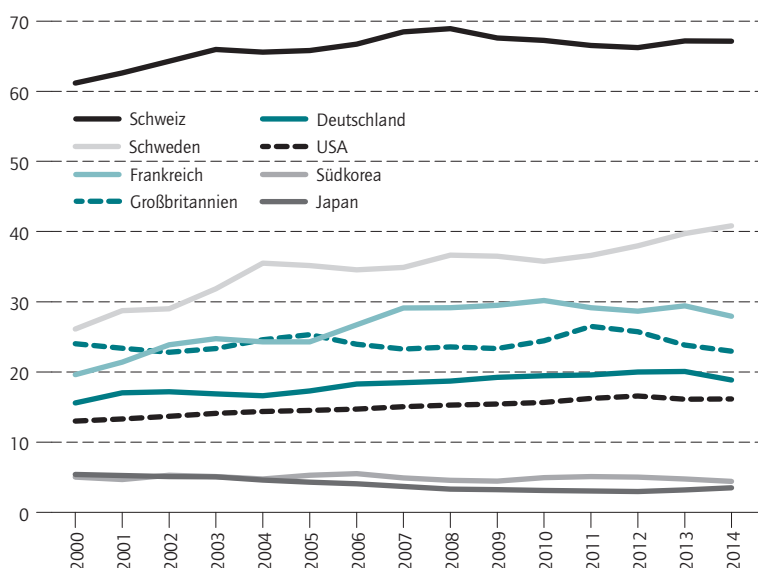
Besonders hohe Anteile haben ausländische Unternehmen am FuE-Personal des Luft- und Raumfahrzeugbaus (78 Prozent) und der Pharmaindustrie (36 Prozent). In diesen und weiteren für die künftige technologische Entwicklung besonders vielversprechenden industriellen Spitzentechnologiebranchen<sup>8</sup> engagieren sich ausländische Unternehmen stärker. 39 Prozent ihrer gesamten FuE-Aufwendungen entfallen auf diesen Bereich, in deutschen Unternehmen sind es nur gut 17 Prozent. Dabei investieren Unternehmen aus anderen europäischen Ländern bereits mehr als die Hälfte ihrer FuE in Deutschland in industriellen Spitzentechnologie-zweigen, während US-Unternehmen mit nur 23 Prozent in diesem Bereich weniger aktiv sind (Tabelle 5). Das geringe Engagement deutscher Unternehmen in den Spitzentechnologien ist allerdings auch Resultat ihrer Stärke im Bereich der sogenannten hochwertigen Technik, zu dem unter anderem der Kraftfahrzeugbau gehört, auf den allein 39 Prozent ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen entfallen. Alle deutschen Unternehmen investieren zudem mit 14 Prozent einen doppelt so hohen Anteil ihrer FuE-Aufwendungen in forschungsintensiven Dienstleistungen wie ausländische Unternehmen.

### ... und im internationalen Vergleich

In Belgien, Irland, Tschechien, Großbritannien, Österreich und Polen wurde zuletzt bereits etwa die Hälfte oder mehr der privaten FuE-Aufwendungen von ausländischen Unternehmen verausgabt (Tabelle 6). Unter den forschungsstarken Industrieländern hatte Japan mit gut sechs Prozent den geringsten Ausländeranteil an den privaten FuE-Aufwendungen, gefolgt von Finnland mit knapp 15 Prozent und den USA mit 16 Prozent. Mit 22 Prozent ist der Anteil in Deutschland nur etwas höher und liegt damit in der Nähe der Werte von Italien, Frankreich und der Schweiz. In den letzten Jah-

Abbildung 4

#### Anteil der Patente mit Erfindern im Ausland an allen Patenten einheimischer Anmelder, 2000-2014<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Berechnet auf Basis von PCT-Anmeldungen des jeweiligen Jahres und des Vorjahres.

Quellen: OECD; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

#### Moderater Zuwachs der Anteile von Erfindern der Unternehmen im Ausland.

ren stieg der Beitrag ausländischer Unternehmen zu FuE in einigen Ländern deutlich, darunter in Polen und Tschechien, Spanien, Norwegen und Belgien. In zehn der 17 Länder, für die Daten seit 2003 vorliegen, nahm er jedoch nur wenig zu oder ging sogar etwas zurück,

Tabelle 3

#### Anteil ausländischer Unternehmen an den FuE-Aufwendungen der Unternehmen

In Prozent

	1995	2001	2007	2013	2015
Daten des Stifterverbandes					
Wirtschaft insgesamt					
FuE-Personal	15,7	24,2	25,8	22,8	22,4
Interne FuE-Aufwendungen	16,1	24,8	27,3	22,6	21,5
Verarbeitendes Gewerbe					
FuE-Personal	15,9	25,2	26,8	23,8	24,5
Interne FuE-Aufwendungen	16,4	25,6	27,6	23,1	22,7

Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

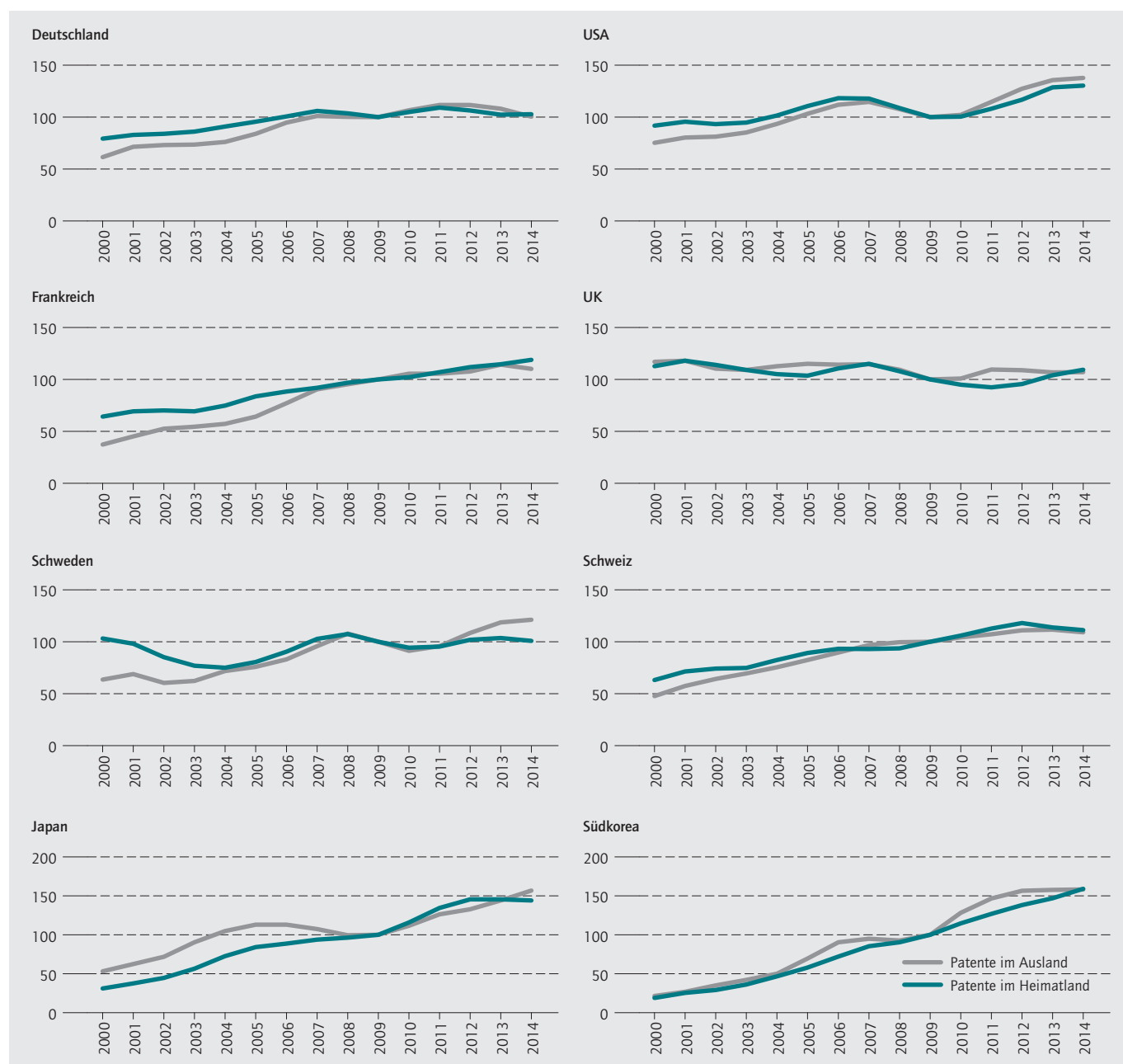
Im Jahr 2015 war der Anteil der FuE in ausländischen Unternehmen in Deutschland seit dem Jahr 2001 am niedrigsten.

<sup>8</sup> Branchen der industriellen Spitzentechnologie haben definitionsgemäß FuE-Aufwendungen von mehr als neun Prozent in Relation zum Umsatz. In den Branchen der Hochwertigen Technik sind es drei bis neun Prozent. Siehe a.ran'di: Zahlenwerk 2017, a. a. O.

Abbildung 5

**Patentanmeldungen der Unternehmen ausgewählter Heimatländer mit Erfindern im In- und Ausland<sup>1</sup>**

Index 2009=100

<sup>1</sup> Berechnet auf Basis von PCT-Anmeldungen des jeweiligen Jahres und des Vorjahres.

Quellen: OECD; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Gleichgerichtete Veränderungen der Erfinderzahlen im In- und Ausland.



wie in Irland, Deutschland Schweden, Italien und Frankreich. Das Tempo der Internationalisierung privater FuE war somit in den Industrieländern in den letzten Jahren nur mäßig.

Ausländische Unternehmen tragen in Deutschland einen vergleichsweise geringen Anteil an den FuE-Aufwendungen aller Unternehmen, die in Relation zum Bruttoinlandsprodukt mit 2 Prozent jedoch hoch sind (Abbildung 6). Deutlich geringere FuE-Intensitäten haben Frankreich mit einem ähnlichen und Großbritannien mit einem höheren Beitrag der ausländischen Unternehmen. Starke Zuwächse der privaten FuE-Intensität verzeichneten in den letzten Jahren neben Deutschland vor allem Österreich, Japan und die USA. In Deutschland war diese Intensivierung von den einheimischen Unternehmen getragen, aber auch in Japan und den USA entfiel der größere Beitrag auf Unternehmen unter einheimischer Kontrolle. Lediglich in Österreich trugen ausländische und einheimische Unternehmen in ähnlichem Umfang zur FuE-Intensivierung der Wirtschaft bei. Der internationale Vergleich zeigt, dass größere Anteile ausländischer Unternehmen an den FuE-Investitionen nicht mit höherer FuE-Intensität einhergehen und somit für sich genommen noch kein Beleg für gute Forschungsbedingungen in einem Land sind.

Es ist naheliegend, dass die Anteile ausländischer Unternehmen an FuE mit ihren Anteilen an Produktion und Beschäftigung im jeweiligen Land zusammenhängen. Da für viele Länder entsprechende Daten nicht vorliegen, werden hier die Bestände ausländischer Direktinvestitionen in Relation zum Bruttoinlandsprodukt als Indikator für die Bedeutung ausländischer Unternehmen

Tabelle 4

### Anteil des FuE-Personals in ausländischen Unternehmen in Deutschland, 2009 und 2015

In Prozent

	2009	2015
Verarbeitendes Gewerbe	26,8	24,5
Chemische Industrie	17,5	15,0
Pharmaindustrie	44,0	35,7
Hersteller von Gummi und Kunststoffwaren sowie Glaswaren und Keramik	34,3	26,7
Metallerzeugung und -bearbeitung, Hersteller von Metallerzeugnissen	21,0	28,2
Maschinenbau	20,8	23,6
DV-Geräte, elektronische und optische Erzeugnisse	29,5	27,5
Elektrische Ausrüstungen	26,6	21,0
Kraftfahrzeugbau	19,2	17,1
Luft- und Raumfahrzeugbau	87,4	78,4
Information u. Kommunikation	22,6	11,8
Finanz- und Vers.dienstl.	16,2	2,7
Architektur, Ingenieurbüros; technische, physische, chemische Untersuchung	6,8	4,6
Wissenschaftliche Forschung und Entwicklung	16,7	19,0
Insgesamt	24,3	22,4

Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Anteil ausländischer Unternehmen am FuE-Personal ging in den meisten Wirtschaftszweigen zurück.

verwendet. Wie erwartet zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen den Anteilen auslandskontrollierter Unternehmen an FuE und an Produktion. Dieser ist allerdings recht schwach (Abbildung 7). Israel, Belgien, Tschechien, Großbritannien, Österreich und Polen ziehen deutlich mehr FuE-Aufwendungen ausländischer

Tabelle 5

### Anteile der FuE-intensiven Branchen an den internen FuE-Aufwendungen der Unternehmensgruppen in Deutschland, 2013 und 2015<sup>1</sup>

In Prozent

	Deutsche Unternehmen		Ausländische Unternehmen		Darunter aus			
	2013	2015	2013	2015	Europa		USA	
FuE-intensive Industrien	75,6	74,7	76,6	78,1	74,8	78,5	79,9	80,4
Spitzentechnologie	20,8	17,4	37,2	39,2	46,1	51,1	23,8	22,9
Hochwertige Technik	54,8	57,3	39,3	38,8	28,7	27,4	56,1	57,5
Forschungsintensive Dienstleistungen	11,4	13,7	5,5	5,7	5,4	5,2	5,2	5,7
Restl. Abschnitte	13,0	11,6	18,0	16,2	19,8	16,3	14,9	13,9
Insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

<sup>1</sup> Die Forschungsintensitäten orientieren sich ab 2013 an der Abgrenzung der forschungsintensiven Industrien und Güter des NIW/IS/ZEW (Liste 2012).

Quellen: SV Wissenschaftsstatistik; eigene Berechnungen.

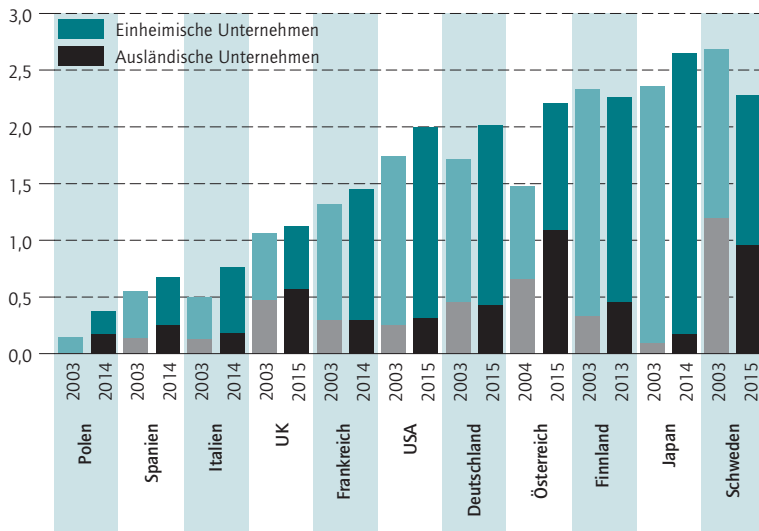
© DIW Berlin 2017

Ausländische Unternehmen konzentrieren ihre FuE stärker auf industrielle Spitzentechnologien.

Abbildung 6

### FuE-Aufwendungen einheimischer und ausländischer Unternehmen in Relation zum BIP 2003/04 und 2014/15

In Prozent



Quellen: OECD, nationale Quellen; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Höhere Beiträge ausländischer Unternehmen zu FuE gehen nicht mit höherer FuE-Intensität einher.

Tabelle 6

### Anteil ausländischer Unternehmen an den FuE-Aufwendungen in ausgewählten Ländern, 2003 und 2015

	Letztes verfügbares Jahr		Veränderung	Letztes verfügbares Jahr
	2003	In Prozent	In Prozentpunkten	
Belgien	57,1	66,0	8,9	2011
Irland	70,2	65,2	-5,0	2013
Tschechien	46,6	62,8	16,1	2013
Großbritannien	43,9	50,9	6,9	2015
Österreich	47,7	49,4	1,6	2015
Polen	9,3	47,0	37,7	2013
Schweden	45,2	42,1	-3,1	2015
Spanien	26,2	37,0	10,8	2013
Kanada	31,8	35,5	3,8	2013
Niederlande	25,4	33,5	8,1	2014
Norwegen	20,9	31,6	10,7	2012
Italien	26,3	23,9	-2,4	2014
Deutschland	25,2	21,5	-3,7	2015
Frankreich	22,6	21,0	-1,6	2014
USA	14,8	15,8	0,9	2015
Finnland	14,0	14,8	0,8	2013
Japan	4,3	6,6	2,4	2013

Quellen: OECD, nationale Quellen; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

In zehn von 17 Ländern stieg der Anteil ausländischer Unternehmen an FuE kaum oder ging sogar zurück.

Unternehmen an, als es der Bestand an Direktinvestitionen dort erwarten lassen würde. Umgekehrt ist es in der Schweiz, den USA und Japan und in geringerem Maße auch in Finnland, den Niederlanden, Deutschland und Frankreich, wo die FuE-Anteile ausländischer Unternehmen in Relation zu den Direktinvestitionsbeständen eher gering sind (Abbildung 7). Dies sind auch die Heimatländer besonders vieler forschungsstarker multinationaler Unternehmen. Gerade in diesen Ländern dürfte es, gemessen am Direktinvestitionsbestand aus dem Ausland, noch ein zusätzliches Potential für das Engagement ausländischer Unternehmen in FuE geben. Für sie könnte es schwerer sein, in Ländern mit FuE Fuß zu fassen, in denen sie auf bereits etablierte Wettbewerber treffen. Heimische Unternehmen beschäftigen dort die Mehrheit des FuE-Personals und verfügen über gewachsene Kooperationsbeziehungen untereinander sowie mit staatlichen Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Darüber hinaus dürften sie auch Hauptnutznießer staatlicher FuE-Aufträge und wichtigste Empfänger von Fördermitteln sein. Allerdings gibt es über mögliche Zutrittsbarrieren zur Forschungslandschaft für ausländische Unternehmen in Deutschland und anderen Ländern bislang keine ausreichenden Informationen.

## Schlussfolgerungen

Nach einer längeren Phase der Stagnation nahmen die FuE-Aufwendungen deutscher Unternehmen im Ausland seit 2009 wieder Fahrt auf. Bis 2015 stiegen die jährlichen Gesamtaufwendungen der deutschen Unternehmen mit internationalen FuE-Aktivitäten im Inland um knapp 50 Prozent und im Ausland sogar auf mehr als das Doppelte. Der Zuwachs war im Inland mit 14,7 Milliarden Euro gegenüber 12,7 Milliarden Euro im Ausland aber größer. Ausländische Unternehmen erhöhten ihre FuE-Investitionen in Deutschland im gleichen Zeitraum nur um etwa 10 Prozent (1,5 Milliarden Euro). Deutschland gehört damit zu den Ländern mit dem geringsten Zuwachs von FuE in ausländischen Unternehmen in den letzten Jahren. Dennoch stiegen die FuE-Aufwendungen aller Unternehmen auf 2 Prozent des Bruttoinlandsprodukts und liegen damit gleichauf mit den USA und deutlich höher als etwa in Frankreich und Großbritannien. Treiber der positiven Entwicklung waren deutsche multinationale Unternehmen mit internationalen FuE-Aktivitäten.

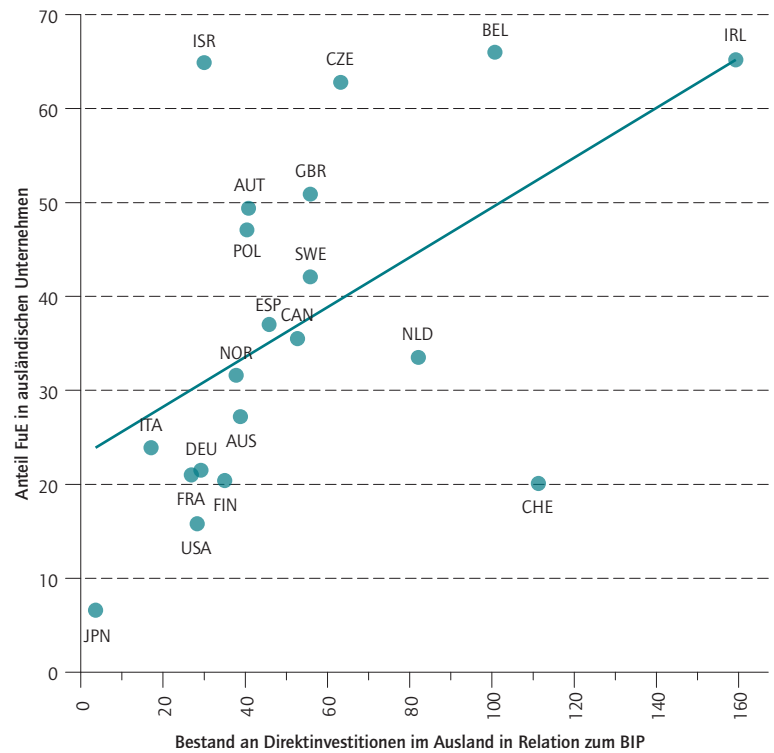
In diesen Unternehmen und bei ihren wichtigsten internationalen Wettbewerbern entwickeln sich die Investitionen in FuE im In- und Ausland überwiegend gleichläufig: im Ausland investieren vorwiegend Unternehmen, die auch im Inland ihre Investitionen ausweiten. Dies widerspricht einer Interpretation als Verlagerung von FuE ins Ausland auf Kosten des Heimatlandes.

Deutschland gehört mit Japan, den USA und der Schweiz zu den Ländern, in denen die FuE-Aktivitäten ausländischer Unternehmen geringer sind als es vor dem Hintergrund der Bestände an Direktinvestitionen aus dem Ausland zu erwarten wäre. Diese Länder verfügen selbst über zahlreiche forschungsstarke multinationale Unternehmen, die traditionell besonders am Heimatstandort forschen und durch die Beschäftigung des Großteils des Fachpersonals und die starke Nutzung der Forschungslandschaft sowie der Förderangebote neuen ausländischen Investoren möglicherweise den Zutritt zum Forschungsstandort erschweren. Die Forschungspolitik sollte klären, ob in Deutschland für ausländische Unternehmen generell oder für Teile von ihnen Zugangshemmnisse zur Forschungslandschaft bestehen. Ihre Beseitigung könnte im Spitzentechnologiebereich, wo ausländische Unternehmen bereits besonders aktiv sind, und darüber hinaus zur Intensivierung des internationalen Wissenstransfers beitragen.

Abbildung 7

**Bestand an Direktinvestitionen und Anteil ausländischer Unternehmen an FuE in ausgewählten Ländern<sup>1</sup>**

In Prozent



<sup>1</sup> Bestand an Direktinvestitionen: Mittelwert 2012-2014; Anteil FuE: 2015 oder letzter verfügbarer Wert.

Vereinfachend kann die Beziehung zwischen dem Anteil der FuE in ausländischen Unternehmen (y) und dem Bestand an Direktinvestitionen aus dem Ausland in Relation zum BIP (x) als lineare Funktion dargestellt werden:  $y = 0,2563x + 23,59$ ,  $R^2 = 0,2635$ .

Quellen: OECD; UNCTAD; eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Gemessen an ihren Direktinvestitionen ist der Anteil ausländischer Unternehmen an FuE in Deutschland gering.

Heike Belitz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Unternehmen und Märkte am DIW Berlin | [hbelitz@diw.de](mailto:hbelitz@diw.de)

JEL: D24, F21, L60, O31

Keywords: Research and Development, Globalisation, Multinational Companies

This report is also available in an English version as DIW Economic Bulletin 46-47/2017:

[www.diw.de/econbull](http://www.diw.de/econbull)



# Frauen sind in Top-Positionen der größten Energie- und Verkehrsunternehmen in Deutschland deutlich unterrepräsentiert

Von Claudia Kemfert und Olga Egerer

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil von Frauen in Führungspositionen deutlich zu erhöhen. Nach wie vor ist dieser aber gering, auch in den jeweils 50 größten Unternehmen des Energie- und Verkehrssektors, wie eine Untersuchung des DIW Berlin zeigt. Demnach sind Frauen in Vorstands-, Aufsichtsrats- und Verwaltungsgremien dieser Unternehmen deutlich unterrepräsentiert. Vor allem die Vorstandspositionen der TOP-50-Energieunternehmen werden vornehmlich mit Männern besetzt. Der Anteil von Frauen liegt bei unter sechs Prozent, während ihr Anteil unter den Beschäftigten in den untersuchten Unternehmen bei knapp 30 Prozent liegt. Der Gender Leadership Gap ist dementsprechend besonders hoch. Nur drei der 50 umsatzstärksten Energieunternehmen haben eine Frauenquote im Vorstand von mehr als 30 Prozent. Der Anteil von Frauen in Aufsichtsräten ist hingegen deutlich höher und liegt bei über 20 Prozent aller untersuchten Unternehmen. Insgesamt erfüllen 13 von 50 Unternehmen die gesetzlich feste oder freiwillige Quote von 30 Prozent Frauen in den Aufsichtsräten. In den TOP-50-Unternehmen des Verkehrs- und Logistiksektors ist der Anteil von Frauen auf Vorstandsebene nur geringfügig höher, im Bereich der Aufsichts- und Verwaltungsgremien in etwa genauso hoch wie im Energiesektor. Der Zugang von Frauen zu den höchsten Führungspositionen muss dringend verbessert werden. Hier sind Politik, zum Beispiel mit Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Familie und Beruf, und Unternehmen mit gezielten Fördermaßnahmen für weibliche Führungskräfte gefragt.

Seit Mai 2015 ist das Gesetz zur gleichberechtigten Teilhabe von Männern und Frauen an Führungspositionen in Kraft.<sup>1</sup> Ziel des Gesetzes ist eine Frauenquote von mindestens 30 Prozent im Aufsichtsrat. Außerdem müssen die unter die Regelung fallenden Unternehmen Zielvorgaben für die Geschlechterquote für Vorstände und weitere Führungsebenen setzen. Betroffen von dieser Regelung sind Unternehmen, die sowohl börsennotiert, als auch paritätisch mitbestimmt sind. Jedoch sollen grundsätzlich alle Unternehmen Zielvorgaben für die Geschlechterverteilung machen.<sup>2</sup>

Für die vorliegende Studie wurden jeweils die 50 umsatzstärksten Unternehmen in Deutschland aus den Bereichen Energie und Verkehr analysiert. Von den insgesamt 100 betrachteten Unternehmen fallen 20 (15 Verkehrs- und Logistikunternehmen sowie fünf Energieunternehmen) unter die Kategorie der paritätischen Mitbestimmung und Börsennotierung. Die restlichen Unternehmen, die entweder paritätisch mitbestimmt oder börsennotiert sind, werden dazu angehalten, auf freiwilliger Basis Zielquoten für Aufsichtsräte, Vorstände und obere Managementebenen zu vereinbaren.

## Frauenquote in Vorständen und Aufsichtsräten der Verkehrsunternehmen nicht erreicht

In den untersuchten Unternehmen der Verkehrs- und Logistikbranche liegt der Anteil von Frauen mit Aufsichtsratsmandaten lediglich bei rund 20 Prozent. Legt man die Zielsetzung einer Frauenquote von 30 Prozent zugrunde, fehlen zur Erreichung dieses Ziels also zehn

<sup>1</sup> Gesetz zur gleichberechtigten Teilhabe von Männern und Frauen an Führungspositionen in der Privatwirtschaft und im öffentlichen Dienst (online verfügbar, abgerufen am 3. November 2017).

<sup>2</sup> Vgl. Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (2017): Quote für mehr Frauen in Führungspositionen: Privatwirtschaft (online verfügbar, abgerufen am 26. Oktober 2017. Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt).

Prozent der Positionen, die noch mit Frauen besetzt werden müssten. In acht von 42 Verkehrsunternehmen mit Aufsichts- oder Verwaltungsräten gibt es derzeit keine Frauen mit entsprechenden Mandaten (Tabelle). Das bedeutet, dass im Durchschnitt jedes fünfte Unternehmen gar keine Frauen in diesem Gremium besetzt hat.

Genauso groß ist jedoch der Anteil der Unternehmen, die die angestrebte Quote von 30 Prozent erreichen: acht von 42 Unternehmen. Darunter fallen auch große Autohersteller wie BMW und VW, aber auch die Deutsche Bahn, genauer DB Cargo und DB Netz. Besonders vorbildlich sind das Logistikunternehmen Deutsche Post DHL Group, die 40 Prozent aller Aufsichtsratsmandate mit Frauen besetzt hat, sowie der Autozulieferer Hella KGaA Hueck & Co. mit 37,5 Prozent. Im Falle der Deutschen Post DHL Group ist anzumerken, dass der Frauenanteil im Aufsichtsrat sogar den Frauenanteil an der Gesamtbelegschaft von 35 Prozent übersteigt.

In Vorständen und Geschäftsführungen der 50 Verkehrs- und Logistikunternehmen sieht die Situation allerdings völlig anders aus. Die durchschnittliche Quote von Frauen in den genannten Gremien beträgt lediglich knapp sechs Prozent. Genauer gesagt befinden sich insgesamt 14 Frauen in Vorstandspositionen in lediglich 13 von 50 Unternehmen. Somit hat nur jedes vierte Unternehmen entsprechende Vorstands- und Geschäftsführungspositionen mit einer Frau besetzt.

Spitzenreiter der Unternehmen, die eine Frau in Vorstands- und Geschäftsführungspositionen besetzt haben, ist die Daimler AG – zwei Frauen haben in diesem Unternehmen ein Viertel der Vorstandsmandate inne. Die Tochterunternehmen der Deutschen Bahn (DB), DB Regio AG, DB Netz AG und DB Cargo AG, haben jeweils eine Frau im Vorstandsgremium besetzt.

### In der Energiebranche holen Frauen in Aufsichtsräten auf – in Vorständen stagniert die Entwicklung

In den untersuchten Unternehmen der Energiebranche sind knapp 22 Prozent der Aufsichtsratssitze an Frauen vergeben (Tabelle). Zur Erreichung der gesetzlichen Quote von 30 Prozent fehlen somit über acht Prozent. Jedes zehnte Unternehmen im Energiesektor hat keine Frau in dem Aufsichts- oder Verwaltungsrat besetzt.

Insgesamt haben 13 von den 44 Unternehmen, die einen Aufsichtsrat haben, die Quote von 30 Prozent bereits erfüllt. Damit schneiden die Unternehmen des Energiesektors trotz geringerer Zahl der Unternehmen mit einer Pflichtquote (fünf Energieunternehmen) besser ab als der Verkehrssektor (15 Unternehmen).

Tabelle

### Frauen in Vorständen und Aufsichtsräten der 50 größten Energie- und 50 größten Verkehrsunternehmen in Deutschland

In absoluten Zahlen, Anteile in Prozent, Stand: Oktober 2017<sup>1</sup>

	Energie- unternehmen	Verkehrs-/ Logistikunternehmen
<b>Vorstände/Geschäftsführung</b>		
Unternehmen insgesamt	50	50
Mit Angaben zur Zusammensetzung	50	50
Mit Frauen im Vorstand	8	13
Anteil in Prozent	16	26
Mitglieder insgesamt	153	249
Männer	145	235
Frauen	8	14
Anteil der Frauen in Prozent	5,23	5,62
<b>Aufsichts-/Verwaltungsräte</b>		
Unternehmen insgesamt	50	50
Mit Aufsichtsrat/Verwaltungsrat	44	42
Mit Angabe zur Anzahl der Mitglieder	44	41
Mit Frauen im AR/VR	40	34
Anteil in Prozent	90,91	80,95
Mitglieder insgesamt	669	607
Männer	524	484
Frauen	145	123
Anteil der Frauen in Prozent	21,67	20,26
<b>Mitarbeiterzahlen</b>		
Unternehmen insgesamt	50	50
Mit Angaben zum Frauenanteil	29	30
davon mit AR/VR	29	28
Anteil der Frauen in Prozent	29,50	25,23
<b>Gender Leadership Gap in Aufsichtsräten (Prozent)</b>	<b>7,82</b>	<b>4,97</b>
<b>Gender Leadership Gap in Vorständen (Prozent)</b>	<b>24,27</b>	<b>19,61</b>

<sup>1</sup> Die Auswahl der Unternehmen erfolgte auf Grundlage des Rankings „Deutschlands große 500 – DIE WELT-Rangliste der deutschen Wirtschaft“ der Tageszeitung Die Welt vom 26.06.2017. Die Recherchen zur Besetzung der Spitzengremien fanden von August bis Oktober 2017 statt. Die Daten zu Mitarbeiterzahlen und dem Frauenanteil im Unternehmen stammen aus den Geschäftsjahren 2015 und 2016. Die Angaben beruhen auf den Selbstdarstellungen der Unternehmen im Internet, den Geschäftsberichten und Jahresabschlüssen 2015 und 2016, den Veröffentlichungen im Bundesanzeiger sowie auf Anfragen des DIW Berlin bei den Unternehmen.

Quelle: Eigene Berechnungen; Unternehmensangaben 2015 und 2016.

## Kasten

**Der Gender Leadership Gap**

Der Gender Leadership Gap (GLG) ist eine am DIW Berlin entwickelte Kennzahl, die verdeutlicht, wie hoch die Differenz zwischen dem Frauenanteil an allen Erwerbstätigen und dem Anteil von Frauen in Führungspositionen ist.<sup>1</sup> Ist der GLG nahe oder gleich Null, bedeutet dies also, dass Frauen proportional in Führungspositionen zu ihrem Anteil an allen Erwerbstätigen repräsentiert sind. Fällt demnach der GLG positiv aus, bedeutet dies in der Regel, dass Frauen unterrepräsentiert sind und einen erschwerten Zugang zu Führungspositionen gegenüber ihren männlichen Kollegen haben. Für die vorliegende Studie wurde der GLG folgendermaßen berechnet:

$$GLG = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{E_F}{(E_F + E_M)} - \frac{AR_F/V_F}{(AR_F/V_F + AR_M/V_M)} \right]$$

Dabei steht  $n$  für die Anzahl der untersuchten Unternehmen, für die ein Frauenanteil an der Gesamtbelegschaft ermittelt werden konnte. Für den Energiesektor waren dies 29, für den Verkehrssektor 30 Unternehmen.  $E_F$  bzw.  $E_M$  steht für die Anzahl der weiblichen beziehungsweise der männlichen Beschäftigten im jeweiligen Unternehmen.  $AR_F/V_F$  bzw.  $AR_M/V_M$  kennzeichnet den Frauenanteil bzw. den Männeranteil im Aufsichtsrat beziehungsweise dem Vorstand. Der GLG wurde für jedes der jeweils 29 bzw. 30 Unternehmen separat für jedes der genannten Leitungsorgane berechnet. Abschließend wurde daraus der branchenübergreifende Durchschnitt errechnet.

<sup>1</sup> Vgl. Elke Holst und Martin Friedrich (2016): Hohe Führungspositionen: In der Finanzbranche haben Frauen im Vergleich zu Männern besonders geringe Chancen. DIW Wochenbericht Nr. 37, 827-838 (online verfügbar).

anbieter Exxon Mobil Central Europe Holding GmbH zudem das einzige Unternehmen, welches eine Frauenquote von mehr als 30 Prozent der Vorstandspeditionen erfüllt.

Laut einer Studie der Unternehmensberatung PricewaterhouseCoopers<sup>3</sup> (PwC) aus dem Jahr 2014, die die Frauenquote in der Energiewirtschaft untersucht hat, lag der Anteil von Frauen in Vorständen und Geschäftsführungen dort bei fast fünf Prozent. Somit hat sich die Frauenquote in Vorständen und Geschäftsführungen mit derzeit

insgesamt 5,23 Prozent der 50 untersuchten Energieunternehmen in den vergangenen drei Jahren kaum erhöht.

In den Aufsichtsräten hingegen gab es demnach in den Unternehmen des Energiesektors einen Anstieg der Anzahl von Frauen – waren 2014 noch rund elf Prozent Frauen in solchen Gremien des Energiesektors<sup>4</sup>, sind drei Jahre später fast das Doppelte an Aufsichtsratspositionen mit Frauen besetzt (Tabelle).

Trotz der positiven Dynamik des Frauenanteils in Aufsichtsräten ist hervorzuheben, dass kein einziges der insgesamt 100 untersuchten Unternehmen beider Sektoren aus der vorliegenden Studie den Aufsichts- oder Verwaltungsratsvorsitz mit einer Frau besetzt hat. Diese Mandate sind ausschließlich an Männer vergeben.

### Gender Leadership Gap gerade in Vorständen enorm hoch

Der Gender Leadership Gap (GLG, siehe Kasten), also der Anteil der weiblichen Beschäftigten im Verhältnis zum Anteil der Frauen in Führungspositionen, ist in den untersuchten Unternehmen vor allem im Vorstandsbe- reich sehr hoch. Die errechnete durchschnittliche Anzahl von weiblichen Beschäftigten liegt im Energiesektor bei rund 30 und im Verkehrssektor bei 25 Prozent. Da die Frauenquote im Vorstand in beiden Branchen nur gut fünf Prozent beträgt, sind die GLG mit gut 25 beziehungsweise 20 Prozent hoch und liegen deutlich über dem branchenübergreifenden Durchschnitt von rund 16 Prozent<sup>5</sup> in Deutschland, den eine Studie für das Jahr 2014 festgestellt hat. In den untersuchten Branchen sind demnach Frauen in Führungspositionen besonders unterrepräsentiert (Abbildung).

Auch bei den Gesamtbeschäftigten sind nach den offiziellen Zahlen der Bundesagentur für Arbeit Frauen in den beiden untersuchten Sektoren unterrepräsentiert. Der Durchschnittsanteil von sozialversicherungspflichtig beschäftigten Frauen im Jahr 2016 in den Sektoren Bergbau, Energie, Wasser/Entsorgung liegt demnach bei etwa 21 Prozent, und in der Branche Verkehr und Lage- rei bei 25 Prozent<sup>6</sup>, während er in der vorliegenden Studie bei knapp 30 Prozent im Energiesektor und ebenfalls

<sup>4</sup> Vgl. PricewaterhouseCoopers (2014), a. a. O.

<sup>5</sup> Zu erwähnen sind die unterschiedlichen Datengrundlagen der Studien. Bei Holst und Friedrich handelt es sich um eine Längsschnittstudie über den Zeitraum von 14 Jahren. Bei der vorliegenden Studie handelt es sich dagegen um eine Querschnittstudie, die ein arithmetisches Mittel aus den jeweiligen Jahresquoten berechnet. Vgl. Elke Holst und Martin Friedrich (2016): Hohe Führungspositionen: In der Finanzbranche haben Frauen im Vergleich zu Männern besonders geringe Chancen. DIW Wochenbericht Nr. 37, 827-838 (online verfügbar).

<sup>6</sup> Bundesagentur für Arbeit (2017): Anteile von Frauen und Männern in sozialversicherungspflichtiger Beschäftigung in Deutschland im Jahr 2016 nach Wirtschaftszweigen (online verfügbar).

<sup>3</sup> Vgl. PricewaterhouseCoopers (2014): Frauen in der Energiewirtschaft (online verfügbar).



25 Prozent im Verkehrssektor liegt. Auch wenn Frauen bei den Gesamtbeschäftigten nicht ganz so unterrepräsentiert sind wie bei den Führungskräften, sollten sie idealerweise zumindest annähernd proportional zu ihrem Anteil in Vorstandspositionen vertreten sein.

Der GLG in Aufsichtsräten ist dagegen deutlich niedriger: Er liegt bei etwa acht Prozent im Energiesektor beziehungsweise fünf Prozent im Verkehrssektor (Abbildung). Dies spricht für eine relativ ausgeglichene Beteiligung von Frauen in den Kontrollgremien.

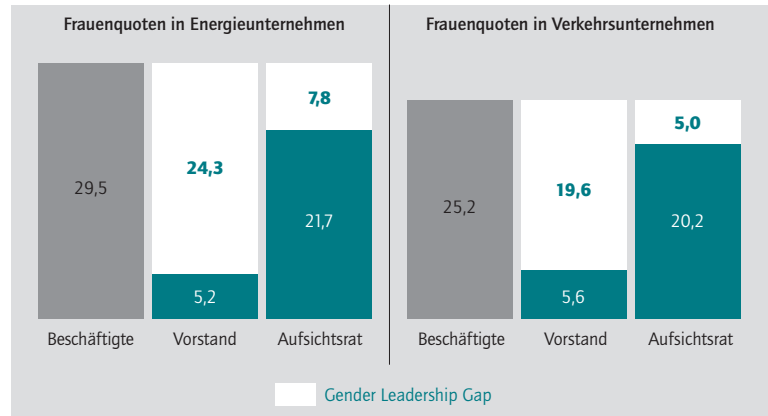
Andere DIW-Studien haben sich ebenfalls mit dem GLG beschäftigt. So wurde der durchschnittliche GLG für Frauen in den Jahren 2001-2014 in Deutschland mit rund 17 Prozent beziffert.<sup>7</sup> In diesem Zusammenhang wird der GLG im Sektor Handel, Verkehr und Lagerei mit rund zwölf Prozent als verhältnismäßig gering ausgewiesen – deutlich niedriger als der in dieser Untersuchung ermittelte GLG von gut 20 Prozent in den Vorständen des Verkehrssektors. Die Differenz lässt sich unter anderem anhand des abweichenden Branchenzuschnitts und der zugrunde gelegten Definitionen von Führungspositionen erklären. Während der hier ermittelte GLG in Vorständen und Geschäftsführungen lediglich die genannte höchste Führungsebene in den 50 größten Unternehmen der jeweiligen Branche betrachtet, wurden Führungskräfte in der Studie von Holst und Friedrich anhand der Definition der International Standard Classification of Occupations (ISCO) von 1988 abgegrenzt. Dort zählen zu den Führungskräften Personen, „die Leitlinien und Strategien von Unternehmen und Organisationen oder deren inneren Abteilungen“<sup>8</sup> planen – demnach wurden hohe und höchste Führungskräfte in die Studie einbezogen. Die Abweichung von rund acht Prozent ist demzufolge – von den unterschiedlichen Beobachtungszeiträumen abgesehen – vermutlich vornehmlich auf die Differenz von Frauen in hoher und höchster Führungsebene zurückzuführen.<sup>9</sup> Anhand dieser Tatsache wird erneut deutlich, dass Frauen gerade zu höchsten Führungspositionen erschwerten Zugang haben.

### Handlungsbedarf in Vorständen und Geschäftsführungen zur Partizipation von Frauen

Der Anteil von Frauen in Vorständen und Geschäftsführungen der TOP-200-Unternehmen betrug Ende

Abbildung

#### Gender Leadership Gap in Führungspositionen der 50 größten Energie- und 50 größten Verkehrsunternehmen in Deutschland In Prozent



Quelle: Eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2017

Frauen sind vor allem in Vorständen sehr unterrepräsentiert.

des Jahres 2016 in Deutschland 8,2 Prozent<sup>10</sup>. Somit liegt der Anteil von Vorstandsfrauen in den 50 größten Unternehmen der Sektoren Energie und Verkehr mit gut fünf Prozent deutlich unter dem Durchschnittswert der 200 umsatzstärksten Unternehmen in Deutschland und ebenso unter dem Frauenanteil in den DAX-30 Unternehmen von elf Prozent im Jahr 2016. Im Energie- und Verkehrssektor zeigt sich somit in besonderem Maße, dass verstärkt Frauen der Zugang zu diesen Gremien ermöglicht werden muss.

Der Anteil von Frauen in den Aufsichts- und Verwaltungsräten liegt bei den TOP-200-Unternehmen bei 22,6 Prozent. Die Differenz des Anteils von Frauen in Aufsichtsräten der TOP-50-Energie- beziehungsweise Verkehrsunternehmen ist im Vergleich zu den TOP-200-Unternehmen somit weniger hoch und liegt nur bei einem beziehungsweise rund 2,5 Prozent.

Es gibt unter anderem Studien, die belegen, dass durch die Besetzung von Leitungsgremien und Vorständen mit Frauen die Unternehmensergebnisse verbessert werden können. Im Rahmen einer Studie wurden die Unternehmensergebnisse von dem Viertel der Unternehmen mit

<sup>7</sup> Vgl. Elke Holst und Martin Friedrich (2016), a. a. O.

<sup>8</sup> International Standard Classification of Occupations (ISCO): *ISCO-88 – Structure and Definitions* (online verfügbar, abgerufen am 3. November 2017).

<sup>9</sup> Ein weiterer Erklärungsgrund kann ebenso die Betriebsgröße sein, da bei Holst/Friedrich auch viele kleinere Unternehmen betrachtet wurden

<sup>10</sup> Vgl. Elke Holst und Katharina Wrohlich (2017): Spitzengremien großer Unternehmen: Geschlechterquote zeigt erste Auswirkungen in Aufsichtsräten – Vorstände bleiben Männerdomänen. DIW Wochenbericht Nr. 1+2 (online verfügbar).

dem höchsten Anteil an Frauen im Exekutivorgan aus den jeweiligen beiden Sektoren Energie und Umwelt sowie Verkehr, Logistik und Tourismus mit solchen verglichen, die keine Frau in den höchsten Führungspositionen besetzt hatten.<sup>11</sup> Im Beobachtungszeitraum 2007 bis 2009 konnte in denjenigen Unternehmen aus den Ländern Großbritannien, Frankreich, Deutschland, Spanien, Schweden, Norwegen, Russland, China, Indien und Brasilien eine höhere durchschnittliche Eigenkapitalrendite und ein höherer Ebit (Gewinn vor Zinsen und Steuern) erzielt werden, die mehr Frauen in Leitungsgremien besetzt hatten.<sup>12</sup>

Diese Ergebnisse<sup>13</sup> zeigen, dass gerade der Zugang von Frauen zu Vorstandsgremien deutlich verbessert werden sollte. Dafür müssen bestehende Akzeptanzhürden von Frauen in diesen Gremien von Seiten der Unternehmen abgebaut werden. Zusätzlich müssen auf Unternehmensebene bessere organisatorische Voraussetzungen geschaffen werden, um Frauen in Führungspositionen frühzeitig und nachhaltig zu fördern und eine bessere Vereinbarkeit von Familie und Beruf herzustellen. Auf gesetzgeberischer Ebene sollten Unternehmen zu mehr Transparenz aufgefordert werden – im Rahmen der Recherche zu Aufsichtsratszusammensetzungen

für die vorliegende Studie gab es oft Informationsdefizite. Zudem wurde oft nur ungern auf die Frage nach der Anzahl der Frauen in entsprechenden Gremien geantwortet – mehr Transparenzpflicht würde das tabuisierte Thema zumindest in den Fokus der Öffentlichkeit rücken.

## Fazit

Frauen sind in den Vorstandspositionen der umsatzstärksten Unternehmen des Energie- und Verkehrssektors deutlich unterrepräsentiert. Lediglich 5,2 Prozent der Vorstandsposten in den TOP-50-Energieunternehmen und 5,6 Prozent der 50 größten Verkehrsunternehmen sind mit Frauen besetzt. Auch der Gender Leadership Gap (GLG) der Vorstandspositionen ist mit gut 24 Prozent bei den umsatzstärksten Energieunternehmen und knapp 20 Prozent bei den untersuchten Verkehrsunternehmen vergleichsweise hoch. Lediglich eins der 100 untersuchten Unternehmen hat eine Frau mit dem Vorstandsvorsitz beauftragt. Auch wenn es mit den Frauenanteilen in den jeweiligen Aufsichtsräten weitaus besser aussieht: Deutschland ist noch weit entfernt von seinem Ziel der gleichberechtigten Teilhabe von Männern und Frauen in Führungspositionen der Energie- und Verkehrsbranche. Da andere DIW-Studien branchenübergreifend zu ähnlichen Ergebnissen geführt haben, lässt sich daraus schließen, dass noch erheblicher politischer und unternehmerischer Handlungsbedarf besteht. So sollten politische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die helfen, Stereotype zu überwinden sowie Beruf und Familie besser zu vereinbaren. Auf Unternehmensebene sind zudem gezielte Förderprogramme für weibliche Führungskräfte, mehr Transparenz und eine veränderte Unternehmenskultur wünschenswert.

**11** Die empirische Evidenz, ob mehr Frauen in Führungspositionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht besser sind, ist nicht eindeutig. Es gibt viele Studien von Unternehmensberatungen in diesem Bereich, die positive Effekte finden. Wissenschaftliche Studien, die die Identifikation auf exogene Variation zurückführen, sind da sehr gemischt in ihren Ergebnissen. Vgl. McKinsey & Company (2010): Women Matter: Women at the Top of Corporations—Making it Happen (online verfügbar).

**12** Vgl. Norma Schmitt (2015): Zum Potential einer festen Geschlechterquote, DIW Wochenbericht 40, 887–897.

**13** Wir danken dem Praktikanten Clemens Baldauf für seine exzellente Unterstützung bei der Datenrecherche.

**Claudia Kemfert** ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | sekretariat-evu@diw.de

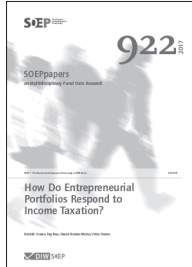
**Olga Egerer** ist Studentin des Masterstudiengangs Business Ethics und CSR-Management an der TU Dresden | oegerer@diw.de

JEL: D22, J16, J78, L21, M14, M51

**Keywords:** Gender equality, management, private companies, supervisory boards, executive boards, CEOs, women, energy, transportation

SOEP Papers Nr. 922

2017 | Frank M. Fossen, Ray Rees, Davud Rostam-Afschar, Viktor Steiner



## How Do Entrepreneurial Portfolios Respond to Income Taxation?

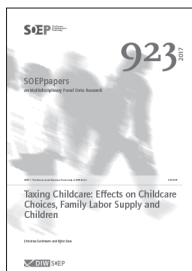
We investigate how personal income taxes affect the portfolio share of personal wealth that entrepreneurs invest in their own business. In a reformulation of the standard portfolio choice model that allows for underreporting of private business income to tax authorities, we show that a fall in the tax rate may increase investment in risky entrepreneurial business equity at the intensive margin, but decrease entrepreneurial investment at the extensive margin. To test these hypotheses, we use household survey panel data for Germany eliciting the personal wealth composition in detail in 2002, 2007, and 2012. We analyze the effects of personal income taxes on the portfolio shares of six asset classes of private households, including private business equity. In a system of simultaneous demand equations in first differences, we identify the tax effects by an instrumental variables approach exploiting tax reforms during our observation period. To account for selection into entrepreneurship, we use changes in entry regulation into skilled trades. Estimation results are consistent with the predictions of our theoretical model. An important policy insight is that lower taxes drive out businesses that are viable only due to tax avoidance or evasion, but increase investment in private businesses that are also worthwhile in the absence of taxes.

[www.diw.de/publikationen/soeppapers](http://www.diw.de/publikationen/soeppapers)



SOEP Papers Nr. 923

2017 | Christina Gathmann, Björn Sass



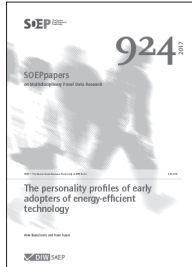
## Taxing Childcare: Effects on Childcare Choices, Family Labor Supply and Children

Previous studies report a range of estimates for the response of female labor supply and childcare attendance to childcare prices. We shed new light on these questions using a policy reform that raises the price of public daycare. After the reform, children are 8 percentage points less likely to attend public daycare which implies a compensated price elasticity of -0.6. There is little labor supply response in the full sample, though declines for vulnerable subgroups. Spillover effects on older siblings and fertility decisions show that the policy affects the whole household, not just targeted family members.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)



SOEP Papers Nr. 924  
2017 | Ante Busic-Sontic, Franz Fuerst



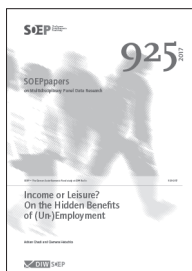
## The Personality Profiles of Early Adopters of Energy-Efficient Technology

This study investigates whether energy efficiency investments are driven by differences in personality traits among homeowners. Using data on nearly 3,000 households in Germany, we estimate that compared to the median level, homeowners in the lowest quartile of Openness to Experience have 5.0%-23.4% lower propensity to invest in capital-intensive energy efficiency measures, while homeowners in the highest quartile of Agreeableness are 7.7%-18.0% less likely to do so. Splitting the energy efficiency investments into two groups yields stronger effects of the same two personality traits for window modernisations and thermal insulation installations, whereas no impact of the personality traits is observed for solar energy and other alternative energy systems, possibly because subsidies for the latter were introduced much earlier in Germany, overriding any effects of personality traits in the investment decisions. These findings may also suggest that personality traits are of greater significance for marginal investors.

[www.diw.de/publikationen/soeppapers](http://www.diw.de/publikationen/soeppapers)



SOEP Papers Nr. 925  
2017 | Adrian Chadi, Clemens Hetschko



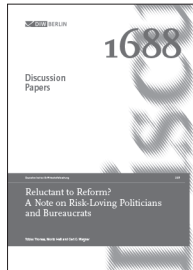
## Income or Leisure? On the Hidden Benefits of (Un-)Employment

We study the usually assumed trade-off between income and leisure in labor supply decisions using comprehensive German panel data. We compare non-employed individuals after plant closures with employed people regarding both income and time use as well as their subjective perceptions of these two factors. We find that the gain of non-working time translates into higher satisfaction with free time, while time spent on hobbies increases to a lesser extent than home production. Additionally, satisfaction with family life increases, which may be a hidden benefit of being unemployed. In contrast, satisfaction with income strongly declines when becoming jobless. Identity utility from earning a living may play the role of a hidden benefit of employment. Finally, we examine subjective assessments of income and leisure as potential predictors for job take-up. Non-employed people are particularly likely to take up a job soon when they are dissatisfied with their income.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)



Discussion Papers Nr. 1688  
2017 | Tobias Thomas, Moritz Heß, Gert G. Wagner



## Reluctant to Reform? A Note on Risk-Loving Politicians and Bureaucrats

As from a political economy perspective, politicians often fail to implement structural reforms, we investigate if the resistance to reform is based on the differences in the risk preferences of voters, politicians, and bureaucrats. Based on the empirical results of a survey of the population in Germany, 175 members of the Federal German Parliament (Bundestag), and 106 officials ("bureaucrats") from German ministries, this is not the case. Since both politicians and bureaucrats have a higher risk appetite than the general population, their risk preferences cannot be seen as an explanation for the resistance to structural reform. Hence, it must be caused

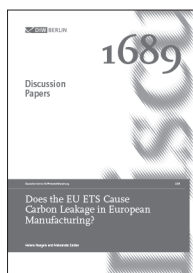
by other reasons. These can be for instance – as public choice scholars argue – interventions by veto players, wars of attrition by powerful interest groups, or reform logjams initiated. However, another point of view could be that modern democracies are doing better than many believe. During times of populist campaigns, the election process can put forth candidates with very high risk appetites, but the constitutions of democracies turn out to be rather smart if hazardous actions and measures by political rookies and gamblers are inhibited by checks and balances.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)



---

Discussion Papers Nr. 1689  
2017 | Helene Naegele, Aleksandar Zaklan



## Does the EU ETS Cause Carbon Leakage in European Manufacturing?

Carbon leakage is an issue of major interest in both academic and policy debates about the effectiveness of unilateral climate policy addressing global externalities. The debate is particularly salient in Europe, where the EU Emissions Trading System (EU ETS) covers emissions of many traded sectors. In a first step, we review how carbon leakage and the pollution haven effect are defined and identified in the literature. In a second step, we evaluate whether the emission cost introduced by the EU ETS has caused carbon leakage in European manufacturing. We compute trade flows in embodied carbon and value, using GTAP trade and input-output data and administrative data from the EU ETS. We evaluate the effect of four measures of environmental stringency on both net trade flows and bilateral trade flows. We do not find evidence that the EU ETS has caused carbon leakage.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)





Prof. Karsten Neuhoﬀ, Ph.D., Leiter der Abteilung Klimapolitik am DIW Berlin  
Der Beitrag gibt die Meinung des Autors wieder.

# Einigung zum Emissionshandel: Ein wichtiger Schritt für Europa und für das Klima

Die kürzlich erzielte Einigung von Europäischem Rat, EU-Parlament und Kommission zum Emissionshandel ist ein wichtiger Schritt für die europäische Energie- und Klimapolitik. Sie stärkt sowohl die Glaubwürdigkeit der längerfristigen Emissionsminderungsziele als auch die Rolle des CO<sub>2</sub>-Preises für den Strom- und den Industriesektor. Wichtiger noch sind die Aufforderungen an die EU-Kommission, die Wirksamkeit des EU ETS für den Industriesektor zu überprüfen, mögliche Weiterentwicklungen zu untersuchen und gegebenenfalls deren Umsetzung vorzuschlagen.

Die wesentlichen Punkte der Einigung: Der jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionsfaktor nach 2020 wurde von 1,7 auf 2,2 Prozent angehoben; die Marktstabilitätsreserve wird von 2019 bis 2023 jährlich bis zu 24 Prozent an überschüssigen Zertifikaten aus dem Emissionshandel aufsaugen; im Jahr 2024 werden Überschüsse, die über die jährliche Auktionsmenge hinausgehen, gelöscht.

Voraussichtlich werden die Zertifikate demnach zwischen 2021 bis 2024 wieder knapp. Fallen danach wieder Überschüsse an, werden diese automatisch in der Marktstabilitätsreserve aufgesaugt, so dass langfristig ein besserer Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage erfolgt.

Wenn Mitgliedsstaaten bedeutende zusätzliche Minderungsmaßnahmen ergreifen – kommt es zum Beispiel in Deutschland zu einer Stilllegung von Kohlekraftwerken –, können die Staaten im entsprechenden Umfang CO<sub>2</sub>-Zertifikate stilllegen, statt diese zu auktionieren. Das vermeidet den sogenannten „Wasserbett-Effekt“. Demnach würde ein Teil der eingesparten Emissionsmengen kurzfristig von anderen Sektoren und Ländern für zusätzliche Emissionen genutzt. Mit der Stilllegung von Zertifikaten parallel zur Stilllegung von Kohlekraftwerken kann dies nicht eintreten.

Wie erwartet hat die Industrie allerdings beim Thema Carbon Leakage höhere Volumen an freier Allokation durchgesetzt, und die Zuteilung der Zertifikate orientiert sich jetzt stärker an den aktuellen statt historischen Volumen der Produktion.

Damit ergeben sich zwar Anreize zur Effizienzverbesserung der Produktionsprozesse – nicht aber für eine effizientere Nutzung von Materialien und klimafreundliche Substitute. Ohne Perspektive für längerfristige kommerzielle Nutzung von innovativen Technologien werden Anreize, Innovations- und Minderungspotentiale zu erschließen, stark geschwächt. Das betrifft insbesondere die Produktion und Nutzung von Grundstoffen wie Zement oder Stahl – die für ein Drittel der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich sind.

Der sogenannte Innovationsfond wurde auf 450 Millionen Zertifikate aufgestockt, deren Verkaufserlös der Unterstützung von Innovationen, auch bei Grundstoffen, dienen soll. Aber ohne eine klare Aussicht auf ein Preissignal für die gesamte Wertschöpfungskette haben viele klimafreundliche Technologien nur sehr eingeschränkte Chancen im Markt.

Ein Lichtblick stellen hierbei die Ergänzungen, die Parlament und Rat eingebracht haben, dar. Demnach ist die EU Kommission aufgefordert, zu prüfen, ob die Maßnahmen ausreichen, um die Ziele von Paris zu erreichen – und zu evaluieren, ob die Carbon-Leakage-Maßnahmen ersetzt oder ergänzt werden sollen. Gegebenenfalls ist die Brüsseler Exekutive in der Pflicht, Vorschläge zur Weiterentwicklung des Emissionshandels zu machen. Somit haben die Institutionen die Tür für zukünftige Verbesserungen aufgemacht.

Unsere Analysen zeigen, dass insbesondere eine Einbeziehung des CO<sub>2</sub>-Verbrauchs intensiver Grundstoffe in den Emissionshandel ein vielversprechender Ansatz ist. Dadurch können Anreize für klimafreundliche Innovationen und Investitionen in der Industrie gesetzt werden. Nicht nur Unternehmen und Verbände des Stromsektors, sondern auch Akteure der Industrie, insbesondere der Grundstoffsektor, werden dann den Emissionshandel vollherzig unterstützen.

*Eine längere Fassung dieses Gastbeitrags wurde am 13. November im Energie-Newsletter Background des Tagesspiegels veröffentlicht.*