

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

06/2019

Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich

Aktualisierte Ausgabe 2019



UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 06/2019

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 14 1010
FB000219

Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich

Aktualisierte Ausgabe 2019

von

Birgit Gehrke, Kai Ingwersen, Ulrich Schasse
Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS), Hannover
Katrín Ostertag, Frank Marscheider-Weidemann, Oliver
Rothengatter
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
(ISI), Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Stresemannstr. 128 – 130
10117 Berlin
service@bmu.bund.de
www.bmu.bund.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS) des Instituts für Wirtschaftspolitik,
Leibniz Universität Hannover
Königsworther Platz 1
30167 Hannover

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

April 2019

Fachbegleitung:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,
nachhaltiger Konsum
Dr. Frauke Eckermann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, Dezember 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich

Weltweit werden immer größere Anstrengungen zum Schutz und zur Verbesserung von Umwelt und Klima unternommen. Diese Entwicklung schlägt sich nicht nur in wachsenden Kosten und Investitionen für Umweltschutz nieder, sondern hat auch zu einer wachsenden Bedeutung der internationalen Innovationsanstrengungen für Umweltschutzlösungen geführt. Die Studie untersucht anhand verschiedener Indikatoren zu Forschung und Entwicklung von Staat und Wirtschaft sowie zu den Patentanmeldungen die deutschen und internationalen Strukturen und Entwicklungen in der Umweltforschung. In längerfristiger Sicht sind sowohl in Deutschland als auch weltweit die öffentlichen FuE-Budgets in diesem Bereich deutlich gestiegen – mit klaren strukturellen Verschiebungen zulasten von physischer Umweltforschung (Abfall, Wasser, Boden, Lärm) und zugunsten von Energie- und Klimaschutzforschung. Maßgeblicher Treiber dieser Entwicklung war zunächst vor allem der Bereich der erneuerbaren Energien. Erst im Verlauf der letzten Dekade sind innovative Energieeffizienzlösungen weltweit stärker in den Fokus gerückt. Für Patentanmeldungen trifft der Aufwärtstrend ebenfalls zu, wenn auch nur bedingt: in Deutschland ist er schwächer ausgeprägt als beim Durchschnitt aller Technologien und in den zuletzt betrachteten fünf Jahren ist die Zahl der Umweltpatente rückläufig. Dennoch bleibt Deutschland einer der vordersten Player im internationalen Vergleich. Im Hinblick auf die Patentanmeldungen bei erneuerbaren Energien war von 2011 bis 2014 in Deutschland wie auch weltweit ein starker absoluter Rückgang zu verzeichnen, der 2015/16 jedoch beinahe zum Stillstand gekommen ist.

Abstract: Environmental protection as a driver of innovation: R&D and patents in Germany and in international comparison

Efforts to protect and improve the environment and climate are increasing globally. This development is not only reflected in rising costs and investments for environmental protection, but also in a growing importance of innovation activities for environmental protection solutions. The study examines the German and international structures and developments in environmental research on the basis of various indicators on research and development in government and industry as well as on patent applications. In the long run, public R&D budgets in this area have increased significantly both in Germany and worldwide - with clear structural shifts at the expense of physical environmental research (waste, water, soil, noise) and in favor of energy and climate protection research. The main driver of this development was initially the area of renewable energies. It was only in the course of the last decade that innovative energy efficiency solutions became the focus of attention worldwide. The upward trend also applies to patent applications, albeit only to a limited extent: in Germany it is weaker than the average for all technologies, and in the last five years under review the number of environmental patents has declined. Nevertheless, Germany remains one of the leading players in an international comparison. With regard to patent applications for renewable energies, Germany and the rest of the world recorded a sharp absolute decline from 2011 to 2014 that almost came to a standstill in 2015/2016.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	9
Verzeichnis der Tabellen im Anhang	10
Abkürzungsverzeichnis	11
Zusammenfassung.....	16
Summary	30
1 Einleitung.....	43
2 Forschung und Entwicklung für den Umweltschutz.....	46
2.1 Staatliche Aufwendungen und Förderung von Umweltschutz- und Energieforschung im internationalen Vergleich	46
2.1.1 Staatliche FuE-Ausgabenansätze für physische Umweltforschung und Energieforschung (OECD-GBAORD)	46
2.1.2 Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte im Energiebereich nach Trägern und Technologien (IEA-Statistik).....	51
2.1.3 Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland (UFORDAT)	62
2.2 FuE und Innovationen der Wirtschaft im Umweltschutzbereich: Ausgewählte Ergebnisse im Überblick	69
2.2.1 Öffentliche und private FuE-Investitionen in erneuerbaren Energien nach Weltregionen	69
2.2.2 Forschungs- und Innovationsausgaben von Unternehmen in Europa in energiebezogenen Schlüsselaktionsfeldern (SET Plan key actions).....	71
2.2.3 Bedeutung von Umweltinnovationen für Unternehmen im europäischen Vergleich.....	76
2.2.4 Interne FuE-Ausgaben der US-amerikanischen Unternehmen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen	81
3 Patentanmeldungen im Umweltschutz.....	84
3.1 Methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Patentindikatoren.....	84
3.1.1 Betrachtete Umweltbereiche, Technologielinien und umweltfreundliche Güter.....	84
3.1.2 Datenquellen und Schätzmethoden	86
3.2 Ergebnisse der Patentindikatorik.....	87
3.2.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei potenziellen Umweltschutztechnologien	87
3.2.2 Patentanteile bei potenziellen Umweltschutztechnologien.....	96
3.2.3 Spezialisierungsmuster bei potenziellen Umweltschutztechnologien	99
3.3 Gesamtbild der Patentergebnisse für Deutschland	102
4 Quellenverzeichnis	105

A	Methodischer Anhang.....	110
A.1	Zur Methodik: Spezialisierung der Wissensbasis.....	110
A.2	Technologielinien und umweltfreundliche Güter („adapted goods“) in der Patentanalyse.....	110
B	Statistischer Anhang.....	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2016 in %: Umwelt, Energie und insgesamt.....	50
Abbildung 2:	Struktur staatlicher Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten 2000, 2010 und 2017	53
Abbildung 3:	Staatliche RD&D Budgets* 2015 bis 2017 in Relation zum BIP (in ‰).....	57
Abbildung 4:	Struktur der Energieforschungsbudgets bei erneuerbaren Energien nach Teilsegmenten 2000, 2010 und 2017	59
Abbildung 5:	Struktur der Energieforschungsbudgets für Verbesserungen im Bereich Energieeffizienz 2000, 2010 und 2017	61
Abbildung 6:	Grundlegende Kennzahlen zu den in UFORDAT erfassten Forschungsvorhaben: Projekte, Projektvolumen und Fördervolumen 2005 bis 2017.....	63
Abbildung 7:	Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017 in %...64	
Abbildung 8:	Förderquoten nach Umweltbereichen 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017 in %.....	66
Abbildung 9:	FuE-Aufwendungen nach SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern 2008 und 2014: Deutschland und übrige EU-28 insgesamt im Vergleich (Anteile in %)	75
Abbildung 10:	Öko-Innovationstypen im Vergleich.....	86
Abbildung 11:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz und Teilbereiche	89
Abbildung 12:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien - Ländervergleich	90
Abbildung 13:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien.....	90
Abbildung 14:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft	93
Abbildung 15:	Entwicklung der Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland.....	94
Abbildung 16:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter („adapted goods“)	95
Abbildung 17:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien ⁽¹⁾ (2012-2016)	97
Abbildung 18:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Klimaschutztechnologien (2012-2016).....	98
Abbildung 19:	Patentanteile ausgewählter Länder bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“)	98

Abbildung 20:	Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich Umwelttechnologien (RPA-Werte).....	99
Abbildung 21:	Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte).....	100
Abbildung 22:	Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich umweltfreundlicher Güter („adapted goods“) (RPA-Werte)..	101
Abbildung 23:	Patentspezialisierung Deutschlands bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“)(RPA-Werte)	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Umweltforschung und Energieforschung in den staatlichen FuE-Budgets der OECD-Länder 2000 bis 2017.....	48
Tabelle 2:	Umweltforschung nach durchführenden Einrichtungen: Strukturanteile 2005-2007 und 2015 bis 2017 in %	67
Tabelle 3:	Projekte und Fördermittel nach Förderinstitutionen 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017	68
Tabelle 4:	FuE-Aufwendungen von Staat und Unternehmen in erneuerbare Energien nach Energieträgern und Regionen/Ländern 2017	70
Tabelle 5:	Anteile einzelner Länder an den gesamten FuE-Aufwendungen der Wirtschaft in den SET Plan Schlüsselaktionsfeldern 2014 .	73
Tabelle 6:	Forschungs- und Innovationsindikatoren für Deutschland in den SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern der EU 2014	75
Tabelle 7:	Unternehmen mit Innovationen, die beim Endverbraucher Umweltvorteile generieren, im europäischen Vergleich 2012 bis 2014	77
Tabelle 8:	Unternehmen mit Innovationen, die im eigenen Unternehmen Umweltvorteile generieren, im europäischen Vergleich 2012 bis 2014	79
Tabelle 9:	Bedeutung von Faktoren für die Einführung von Umweltinnovationen im europäischen Vergleich 2012 bis 2014	81
Tabelle 10:	Anteil interner FuE-Ausgaben US-amerikanischer Unternehmen für Energie- und Umweltschutzanwendungen an allen internen FuE-Ausgaben 2010 bis 2015.....	82
Tabelle 11:	Liste der CEPA-/CReMa-Bereiche, für die Patentdaten vorliegen	85
Tabelle 12:	Zusammenfassung der Patentindikatorik für Deutschland (2012-2016)	103

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tabelle A. 1:	Inhalte der Patentsuchstrategie für die einzelnen Umweltbereiche	111
Tabelle B. 1:	Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrations-projekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017	114
Tabelle B. 2:	Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrations-projekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017	118
Tabelle B. 3:	Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrations-projekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017	122
Tabelle B. 4:	Umweltbereiche in UFORDAT im Überblick	124
Tabelle B. 5:	Durchschnittliches Projekt- und Fördervolumen nach Umweltbereichen 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017	125
Tabelle B. 6:	Anteile einzelner Technologielinien an allen Erneuerbaren-Energien-Patenten Deutschlands	126
Tabelle B. 7:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen einzelner Technologielinien im Bereich Erneuerbarer Energien in Deutschland.....	126
Tabelle B. 8:	Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten von Patentanmeldungen weltweit und in Deutschland (Angaben in %)	127
Tabelle B. 9:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien in Prozent (2012-2016).....	128
Tabelle B. 10:	Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte).....	129

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
\$	Dollar
€	Euro
%	Prozent
‰	Promille
a.g.	adapted goods
AIF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“
AMER	Amerika
ASOC	Asien und Ozeanien
AUS	Australien
AUT	Österreich
BEL	Belgien
BEM	Batterien und E-Mobilität
BERD	Business Expenditure on Research and Development (Unternehmensausgaben für Forschung und Entwicklung)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
BRDIS	Business R&D and Innovation Survey
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAN	Kanada
CCUS	Technologien zur CO ₂ -Abscheidung, Verwendung und Speicherung (carbon capture, utilization, and storage)
CCS	Technologien zur CO ₂ -Abscheidung und Speicherung (carbon capture and storage)
CEPA	Classification of Environmental Activities
CHN	China
CIS	Community Innovation Survey

Abkürzung	Bezeichnung
CPC	Cooperative Patent Classification System
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP 21	UN-Klimakonferenz in Paris 2015
CRMA	Classification of Resource Management Activities
CSP	Concentrated Solar Power
CUTEC	Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
CZE	Tschechische Republik
CWS	Center für Wirtschaftspolitische Studien des Instituts für Wirtschaftspolitik, Leibniz Universität Hannover
d. h.	das heißt
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DEN	Dänemark
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DG Environment	Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EC	European Commission
EE	Erneuerbare Energien
EEA	European Environment Agency
EEB	Energieeffizienz in Gebäuden
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEI	Energieeffizienz in der Produktion
EFI	Expertenkommission Forschung und Innovation
EGSS	Environmental Goods and Services Sector
EPA	Europäisches Patentamt
EPO	European Patent Office
ESP	Spanien
EST	Estland
et al.	und andere
etc.	et cetera
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EU	Europäische Union
FIN	Finnland
FONA	Forschung für nachhaltige Entwicklung
FRA	Frankreich
Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
FS-UNEP	Frankfurt School United Nations Environment Programme
FuE	Forschung und Entwicklung

Abkürzung	Bezeichnung
Ful	Forschung und Innovation
GBAORD	Government Budget Appropriations or Outlays for R&D
GBR	Großbritannien und Nordirland
GER	Deutschland
gGmbH	gemeinnützige GmbH
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GRE	Griechenland
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
Hrsg.	Herausgeber
HUN	Ungarn
IEA	International Energy Agency
IMF	International Monetary Fund
i.S.v.	Im Sinne von
inkl.	inklusive
insg.	insgesamt
IFES	Integrierte und flexible Energiesysteme
IPC	International Patent Classification
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRL	Republik Irland
ISI	siehe Fraunhofer ISI
ISL	Island
ITA	Italien
Jgge.	Jahrgänge
JD	Jahresdurchschnitt
JPN	Japan
JRC	Joint Research Centre der Europäischen Kommission
k.A.	Keine Angaben
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KOR	Republik Korea
MEX	Mexiko
Mio.	Million
MPI	Metallpreisindex
Mrd.	Milliarde
MSR	Messen, Steuern, Regeln
MW	Megawatt
NED	Niederlande
NIW	Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
NOR	Norwegen

Abkürzung	Bezeichnung
NS	Nukleare Sicherheit
NSF	National Science Foundation
NZL	Neuseeland
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
o. J.	ohne Jahr
Öko-	Ökologisch
PATSTAT	weltweite Datenbank des EPA
PCT	Patent Cooperation Treaty
POL	Polen
POR	Portugal
PV	Photovoltaik
R&D	Research and Development
RD&D	Research, Development, and Demonstration
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
RET	Erneuerbare Energietechnologien
RFB	Nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie (renewable fuels and bioenergy)
RPA	Relativer Patentanteil (Spezialisierungsmaß)
s.	siehe
s. o.	Siehe oben
s. u.	siehe unten
SET-Plan	European Strategic Energie Technology Plan
SETIS	Strategic Energy Technologies Information System
SME	Small and medium-sized enterprises
SSC	Intelligente Konsumentenlösungen
SUI	Schweiz
SVK	Slowakische Republik
SWE	Schweden
Tab.	Tabelle
Tech.	Technologien
Tsd.	Tausend
u. ä.	und ähnliche
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
UFORDAT	Datenbank des Umweltbundesamtes zu Forschungsvorhaben im Bereich Umweltschutz
UNEP	United Nations Environment Programme
US	United States
USA	United States of America

Abkürzung	Bezeichnung
USPTO	United States Patent and Trademark Office
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
WGL	Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz
WIPO	World Intellectual Property Organisation
WWAP	World Water Assessment Programme
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
ZEW	Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt hat das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), das Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS) der Leibniz Universität Hannover und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Projekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ mit der regelmäßigen Analyse und Fortschreibung verschiedener Indikatoren zur Bewertung der internationalen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft beauftragt. Dabei geht es sowohl um die Innovationsfähigkeit (Forschung und Patente) als auch um die wirtschaftliche Bedeutung der Umweltwirtschaft in Deutschland und – soweit möglich – im internationalen Vergleich (Produktion, Umsatz, Beschäftigung, Außenhandel). Die Ergebnisse werden in verschiedenen, thematisch abgegrenzten Studien veröffentlicht.

In diesem Bericht werden Indikatoren zur Messung der technologischen Leistungsfähigkeit oder Innovationsfähigkeit der Umweltwirtschaft präsentiert, die sich auf die Ressourcen für den Forschungsprozess (FuE-Ausgaben) sowie die Ergebnisse des Forschungsprozesses (Innovationen und Patente) beziehen.

Staatliche FuE-Ausgaben für Umweltschutz und Energie im internationalen Vergleich

Amtliche Statistiken zu den Ausgaben der Wirtschaft für Forschung und Entwicklung (FuE) für die Produktion von Umweltschutzgütern und -dienstleistungen sind – von wenigen Ausnahmen abgesehen – weder auf nationaler Ebene und erst recht nicht auf internationaler Ebene verfügbar. Diesbezüglich gibt es nur sehr wenige aussagefähige und vergleichbare Ergebnisse, die zudem vielfach auf Schätzungen beruhen und häufig nur einzelne Teilaspekte des FuE- und Innovationsgeschehens beleuchten (s. u.). Deshalb beziehen sich die Analysen im internationalen Vergleich im Wesentlichen auf Veröffentlichungen der OECD. Die dort ausgewiesenen Haushaltsstatistiken der Mitgliedsländer geben Auskunft über die staatlichen Ausgaben für FuE in den Programmbereichen Umweltschutz einerseits und Energieversorgung andererseits. Damit lässt sich zumindest das Gewicht abschätzen, das diesen technologiepolitischen Zielen innerhalb der gesamten Mittelverwendung einzelner Länder zukommt.

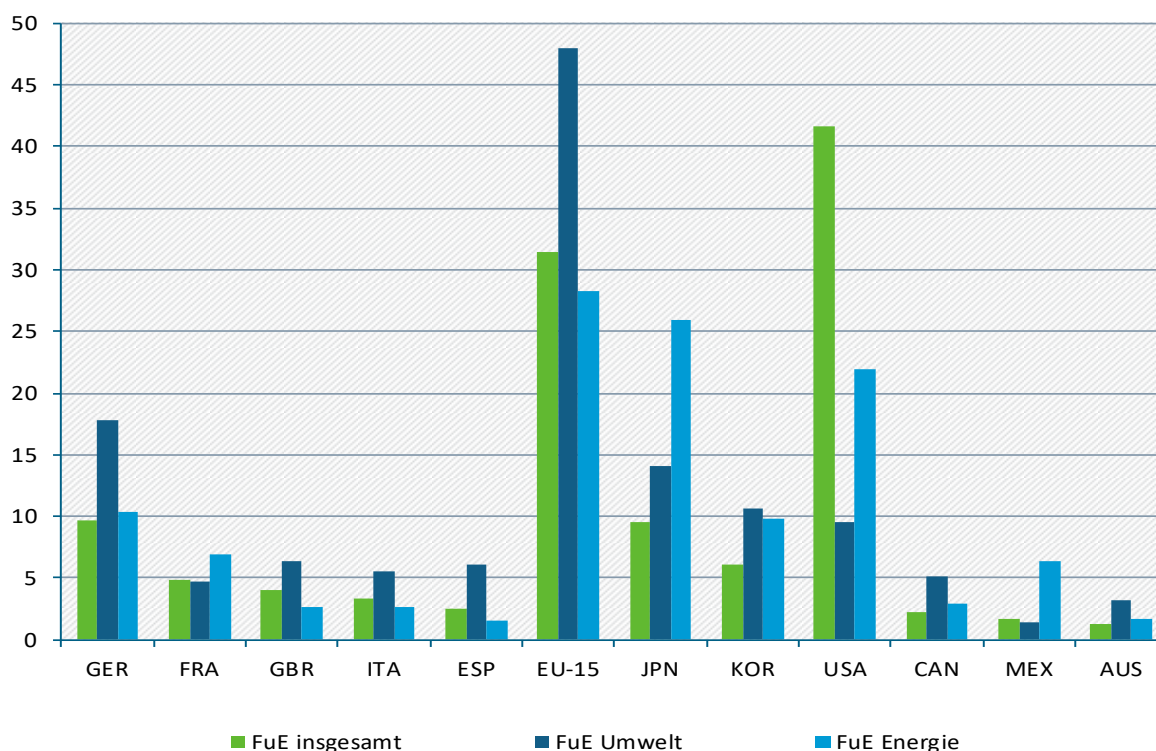
2016 lagen die staatlichen FuE-Aufwendungen der OECD-Länder für den Umweltschutz bei rund 5,5 Mrd. US-\$ und fielen damit etwas geringer aus als der bisherige Spitzenwert des Jahres 2015 (5,9 Mrd.). Damit ist der Anteil der FuE-Ausgaben mit dem Ziel Umweltschutz an den gesamten staatlichen FuE-Ausgaben für zivile Forschungszwecke von 2,2 % (2015) auf 2,0 % (2016) gesunken. Hiervon waren besonders die traditionellen EU-Länder, darunter v. a. Frankreich, aber auch Deutschland, Spanien, Italien und Dänemark, sowie weniger ausgeprägt auch die USA betroffen. Die zum Teil vorliegenden Länderdaten für 2017 lassen allerdings darauf schließen, dass die Umweltschutzausgaben in diesem Jahr wieder deutlich und auch stärker gestiegen sind als die Forschungsausgaben insgesamt.

Trotz der jüngeren Anteilsverluste wird das Umweltschutzziel im Durchschnitt der EU-15 im Rahmen der staatlichen FuE-Budgets (2016: 2,4 %) noch immer höher gewichtet als im OECD-Durchschnitt (2,0 %). Allerdings hat sich der spezifische Mitteleinsatz für physische Umweltschutzforschung bereits seit Anfang des aktuellen Jahrzehnts absolut und relativ rückläufig entwickelt, weil sich die Prioritäten hier wie auch weltweit mehr in Richtung Energieforschung verschoben haben. Für 2017 ist jedoch auch für die EU-15 wieder ein leichter Anteilszuwachs auf 2,5 % zu erwarten, weil insbesondere Deutschland, aber auch Österreich und Finnland ihre staatlichen Ausgaben für physische Umweltforschung überdurchschnittlich gesteigert haben.

Für Deutschland bedeutet dies eine Anteilssteigerung von 2,8 % (2016) auf 3,0 % (2017). Somit setzt Deutschland sowohl innerhalb der EU-15 als auch im Vergleich zum OECD-Durchschnitt unverändert klar überdurchschnittliche Prioritäten im Bereich Umweltforschung, wenngleich seit Mitte des letzten Jahrzehnts auch hier eine deutliche Verschiebung in Richtung Energieforschung zu beobachten ist (2005: 3,0 %, 2017: 5,2 %). Bezogen auf das Umweltschutzziel wiesen 2016 innerhalb Europas nur Spanien, Portugal, Polen, Großbritannien¹ und Ungarn höhere Anteile auf als Deutschland. Hingegen spielt der Umweltbereich in den staatlichen FuE-Budgets der USA eine unverändert geringe Rolle, wohingegen Japan (2,3 %) in jüngerer Zeit merklich aufgeschlossen hat.

In Abbildung Z-1, in der die Anteile einzelner Länder an den OECD-weiten Forschungsbudgets für Umweltforschung und Energieforschung im Vergleich zu ihren jeweiligen Anteilen am gesamten staatlichen FuE-Aufkommen dargestellt sind, wird diese unterschiedliche Prioritätensetzung nochmals besonders deutlich. Auf Deutschland entfielen 2016 fast 18 % der staatlichen Ausgaben aller OECD-Länder für den Umweltschutz, deutlich mehr als bei den Ausgaben für alle FuE-Programme (knapp 10 %) oder den Ausgaben für Energieforschung (gut 10 %). Auch die EU-15 erreicht bei den Umweltschutzausgaben einen überdurchschnittlich hohen Anteil (48 %), fällt beim Mitteleinsatz für Energieforschung (28 %) aber etwas hinter den Wert für die Gesamtheit aller FuE-Programme (31,5 %) zurück.

Abbildung Z-1: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2016 in %: Umwelt, Energie und insgesamt



2016 oder letztes verfügbares Jahr.

Quelle: OECD, Research and Development Statistics. Datenstand 31.07.2018. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Umgekehrt wird in den USA und Japan Energieforschung innerhalb der staatlichen FuE-Budgets deutlich höher gewichtet als physische Umweltforschung. Während in den USA jedoch beide

¹ Anstelle der korrekten Bezeichnung „Vereinigtes Königreich“ wird zur Vereinfachung im nachfolgenden der Begriff „Großbritannien“ verwendet.

Förderbereiche vergleichsweise geringe Priorität genießen, ist Japan mittlerweile in beiden spezifischen Forschungsbereichen überdurchschnittlich vertreten. Vor allem im Energiebereich ist der Beitrag mit 26 % herausragend hoch. Dies hängt vor allem mit dem noch immer hohen Mitteleinsatz für Nuklearforschung zusammen, wenngleich auch hier seit einigen Jahren mehr staatliche Forschungsmittel für erneuerbare Energien und Energieeffizienz verausgabt werden.

Öffentliche Förderung von FuE und Demonstrationsprojekten nach Energieträgern und Technologien

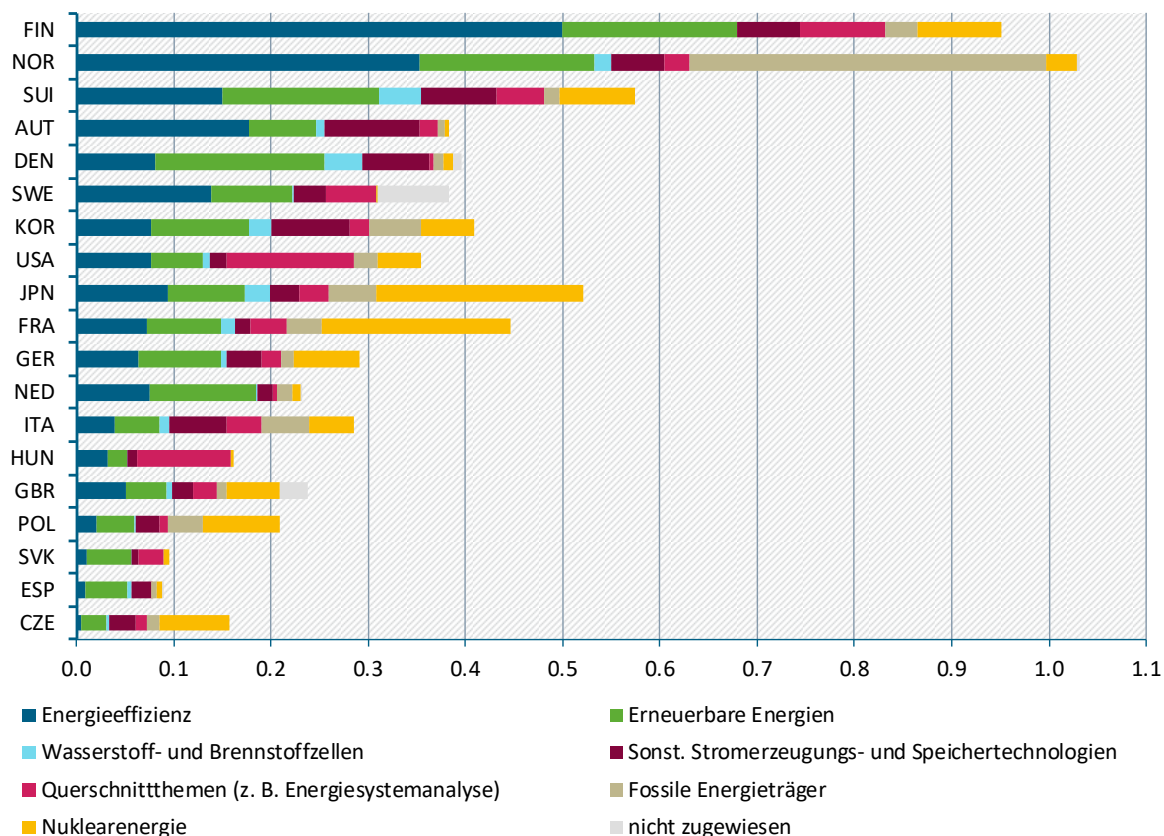
Vertiefende Erhebungen der Internationalen Energieagentur (IEA) zu den öffentlichen Haushaltsansätzen für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich ermöglichen einen differenzierten Blick auf die Ausgaben für verschiedene Energieträger und -technologien. Insgesamt zeigen sich seit Anfang des Jahrhunderts in allen hochentwickelten Ländern deutliche Verschiebungen zugunsten nachhaltiger, ressourcenschonender Technologien (erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, Sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittthemen) und zulasten von Kernenergie und fossilen Energieträgern. Dabei hat mittelfristig in vielen Ländern der Bereich der Energieeffizienz zunehmend an Bedeutung gewonnen, nachdem die Mittelausweitung zunächst im Wesentlichen erneuerbaren Energien zu Gute gekommen war. In Deutschland entfallen 2017 fast drei Viertel der Mittel auf zukunftsorientierte Energietechnologien, in den EU-15 sind es 68 %. Österreich und Ungarn und kommen auf Spitzenwerte von über 97 %, welche zuvor auch von Schweden und Dänemark erreicht wurden. Finnland und die Niederlande folgen unmittelbar. In den USA liegt der Anteil bei 84 %, in Japan trotz aufholender Tendenz hingegen erst bei 52 %.

Setzt man die budgetierten Mittel in Relation zum jeweiligen Bruttoinlandsprodukt (BIP), wird die Gewichtung zukunftsorientierter Energietechnologien in der öffentlichen Forschungsförderung besonders deutlich. In allen ausgewiesenen Ländern sind diese Quoten insbesondere bedingt durch Ausweitungen bei Erneuerbaren Energien und im Bereich Energieeffizienz vielfach klar gestiegen. Auch aus deutscher Sicht ist von 2000 bis 2017 ein deutlicher Zuwachs zu verzeichnen (von 0,05 ‰ auf 0,23 ‰). Dennoch fällt die deutsche Quote im Vergleich zu den meisten anderen Ländern relativ niedrig aus. Nicht nur in den nordischen Ländern, in denen Energie aus erneuerbaren Trägern aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten schon seit langem eine herausragende Bedeutung hat, sondern auch in Österreich, der Schweiz, Japan, Korea und den USA liegen die Quoten teils deutlich höher (Abbildung Z-2). Lediglich bei erneuerbaren Energien gehört Deutschland bezogen auf die RD&D-Ausgaben in Relation zum BIP mit 0,09 ‰ zu den führenden Ländern.

Im Bereich erneuerbare Energien setzen die meisten Länder mittels der staatlichen RD&D-Förderung klare Schwerpunkte bei Solar, Bio- und Windenergie. Allerdings sind im Zeitablauf strukturelle Verschiebungen zu beobachten. So hat sich das Gewicht des vormals in allen Regionen dominierenden Solarbereichs in langer Frist überall rückläufig entwickelt, stellt in Deutschland und der übrigen EU-15 aber aktuell noch immer knapp ein Drittel des FuE-Budgets für erneuerbare Energien. Darüber hinaus fließen in Deutschland rund 20 % der Mittel in den Windbereich gegenüber 15 % in den übrigen EU-15. Dafür bleibt Deutschland in Hinblick auf die relative Bedeutung der Bioenergieforschung (13-15 %) deutlich hinter der übrigen EU-15 (33 %) und vor allem den USA (60 %) zurück, die ihre traditionelle Schwerpunktsetzung in diesem Bereich zulasten von Solar- und Windenergie immer weiter ausgebaut haben. Japans Forschung hingegen konzentriert sich im Bereich erneuerbare Energien zunehmend auf den Windbereich (54 %).

Die RD&D-Budgets zur Verbesserung von Energieeffizienz fließen in Deutschland zum überwiegenden Teil (60 %) in Querschnittsthemen, die sich nicht explizit einem der Zielsektoren Industrie, Gebäude oder Verkehr zuordnen lassen. Bei der spezifischen Förderung hat sich der Schwerpunkt in jüngerer Zeit in Richtung Industrie verschoben. Auch in Japan sind die Mittel eindeutig auf die Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie ausgerichtet, während in den USA und der übrigen EU-15 der Verkehrssektor im Vordergrund steht.

Abbildung Z-2: Staatliche RD&D Budgets* 2015 bis 2017 in Relation zum BIP (in ‰)



*Absteigend sortiert nach dem Anteil zukunftsorientierter Energietechnologien (Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen). Den absoluten Spitzenwert hält Estland (2,32 ‰ – davon 1,80 ‰ zukunftsorientierte Energieforschung), kann aus Darstellungsgründen aber nicht abgebildet werden.

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: November 2018. - Berechnungen des CWS.

Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland

Für Deutschland lässt sich die Forschungsförderung im Umweltbereich (inkl. Energie) mit Hilfe der Umweltforschungsdatenbank (UFORDAT) des Umweltbundesamtes (UBA) sehr viel differenzierter analysieren, als dies im internationalen Vergleich möglich ist. Deshalb werden im Rahmen des „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ regelmäßig die in der Datenbank vorliegenden Informationen zu den begonnenen Forschungsvorhaben nach übergreifenden Umweltbereichen (z. B. Wasser, Natur- und Landschaftsschutz, Energie/Rohstoffe), Projekt- und Fördervolumen sowie durchführenden und finanzierenden Institutionen ausgewertet. Da die inhaltliche Klassifizierung der Projekte für das Jahr 2017 zum Zeitpunkt der Berichtserstellung erst in Teilen umgesetzt war, beschränkt sich die Analyse in diesem Bericht auf einen Überblick zu grundsätzlichen Trends und maßgeblichen strukturellen Verschiebungen im Zeitablauf. Um Verzerrungen durch Schätzungen für das Jahr 2017 möglichst gering zu halten, werden zur

Beschreibung längerfristiger Entwicklungen Dreijahresdurchschnitte betrachtet (2005 bis 2007, 2015 bis 2017).

Dabei wird deutlich, dass sich die Gewichtungverschiebungen in den globalen öffentlichen Forschungsbudgets hinwärts des Klima- und Ressourcenschutzes auch anhand der öffentlich geförderten Forschungsvorhaben in Deutschland nachweisen lassen. Der Strukturanteil des dafür relevanten Umweltbereichs Energie/Rohstoffe ist bei allen drei Kennzahlen (Anzahl der Projekte, Projektvolumen, Fördervolumen) von hohem Niveau aus startend nochmals deutlich gestiegen und macht im Durchschnitt der Jahre 2015 bis 2017 rund 45 % der neu begonnenen Forschungsvorhaben, 55 % des Projektvolumens und gut 60 % der Fördermittel aus. Alle anderen Umweltbereiche erreichen demgegenüber bestenfalls höhere einstellige Quoten und haben – abgesehen vom Themenfeld Landwirtschaft – anteilsmäßig teils deutlich verloren.

Die durchschnittliche Förderquote, d. h. die Relation aus Fördervolumen und Projektvolumen, lag in beiden Perioden bei knapp 74 %. Dies deutet darauf hin, dass sich der in früheren Berichten konstatierte Trend rückläufiger Förderquoten in jüngerer Zeit im Schnitt wieder umgekehrt hat. Im Hinblick auf einzelne Themenfelder stellt sich die Situation jedoch unterschiedlich dar. Rückläufige Förderquoten verzeichnen Strahlung, Natur- und Landschaftsschutz, Umweltrecht/-ökonomie und Abfall, während der staatliche Förderanteil in den übrigen Bereichen überwiegend gestiegen bzw. gleichgeblieben ist (Landwirtschaft). Im Themenfeld Energie/Rohstoffe fällt die durchschnittliche Förderquote mit 67 % am geringsten aus. Abgesehen vom Lärmbereich weisen alle anderen Forschungsfelder teils deutlich höhere Förderquoten auf, vor allem Strahlung, Boden, Allgemeine Fragen und Gentechnik mit Quoten über 90 %.

Innerhalb der Gruppe der durchführenden Institutionen von geförderten Forschungsvorhaben mit Umweltbezug rangiert die Wirtschaft mit weitem Abstand auf Rang 1. Dabei ist ihr Anteil an den Projekten (49 %) sowie den Fördermitteln (gut 40 %) im Zeitablauf nahezu unverändert geblieben, wohingegen ihr Anteil am Projektvolumen von knapp 52 % auf fast 55 % gestiegen ist. Dies indiziert, dass zunehmend auch kostenintensivere Forschungsvorhaben mit Umweltbezug von privaten Unternehmen – vielfach in Kooperation mit öffentlichen Forschungseinrichtungen – durchgeführt werden. An zweiter Position hinter der Wirtschaft rangieren die Hochschulen mit aktuell rund 29 % der Projekte und Fördermittel sowie 22 % des Projektvolumens, gefolgt von Instituten der Fraunhofer Gesellschaft (7 % der Projekte, 10 % des Projektvolumens, 12 % der Fördermittel) und Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft (5,5 % der Projekte, 8 % der Projektmittel, 9,5 % der Fördermittel). Alle anderen Typen durchführender Einrichtungen fallen mit tendenziell nachlassender Bedeutung strukturell wenig ins Gewicht. Einzig bezogen auf die Wirtschaft fällt der Anteil an den Fördermitteln deutlich und zunehmend niedriger aus als der Anteil am gesamten Projektvolumen. Dies lässt sich damit erklären, dass dort eher anwendungsorientierte Projekte durchgeführt werden, die im Durchschnitt in geringerem Umfang aus öffentlichen Mitteln gefördert werden als grundlagenorientierte und längerfristig angelegte Vorhaben an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

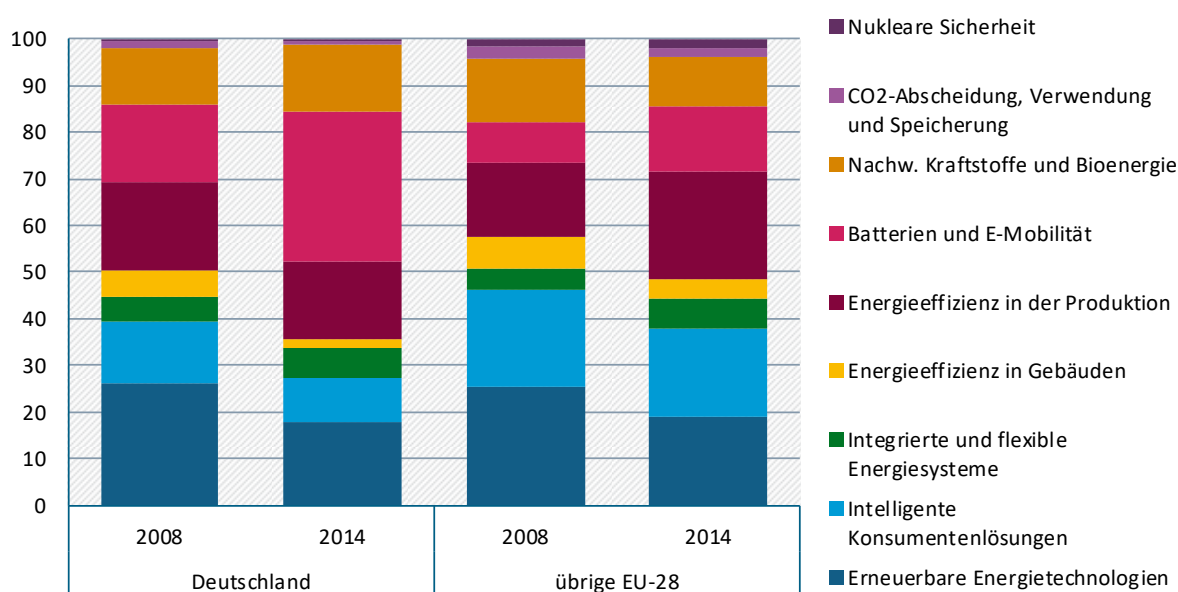
Der überwiegende Teil der Fördermittel für Umweltforschung kommt traditionell vom Bund, der seine führende Position in der Zehnjahresfrist von 77 % (2005 bis 2007) auf 88 % (2015 bis 2017) weiter ausgebaut hat. Teilweise ist dieser Effekt aber auch dem Umstand geschuldet, dass von Bundesministerien geförderten Projekte automatisch und vollständig erfasst werden, während Projekte anderer finanzierender Institutionen (z. B. DBU, DFG, aber auch EU) vielfach aufwendig (nach-)recherchiert werden müssen, so dass sie insgesamt etwas unterschätzt sein dürften. Größte Mittelgeber innerhalb der Bundesförderung sind mit weitem Abstand das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi: 39 %) und das Bundesministerium für

Bildung und Forschung (BMBF: 35 %), wobei ersteres wie auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Periodenvergleich deutlich gegenüber dem BMWi verloren haben. Dies dürfte vor allem damit zusammenhängen, dass Aufgaben aus dem immer gewichtigeren Energiebereich zunächst im BMU angesiedelt waren, seit 2014 aber von dort zum BMWi gewechselt sind.

Forschungs- und Innovationsausgaben von Unternehmen in Europa in energiebezogenen Schlüsselaktionsfeldern (SET Plan key actions)

Im September 2015 hat sich die Europäische Kommission im Rahmen des *Strategic Energy Technology (SET) Plan* auf neun Schlüsselaktionsfelder (*key actions*) verständigt, für die regelmäßig Forschungs- und Innovationsindikatoren beobachtet werden sollen. Während die IEA-Daten zu den öffentlichen RD&D-Ausgaben technologiespezifisch gegliedert sind, ist die Definition der EU mit Segmenten wie *Intelligente Konsumentenlösungen* oder *Batterien und E-Mobilität* eher anwendungsorientiert ausgerichtet. Die vorgelegten Schätzungen zu den Aufwendungen der Wirtschaft für Forschung und Innovation (FuI) basieren neben veröffentlichten Unternehmensangaben auch auf durchschnittlichen technologiespezifischen Patentanmeldungen.

Abbildung Z-3: FuI-Aufwendungen nach SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern 2008 und 2014: Deutschland und übrige EU-28 insgesamt im Vergleich (Anteile in %)



Quelle: Pasimeni et al. 2018. – Berechnungen des CWS.

Demnach beliefen sich die EU-weiten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft über alle energiebezogenen Aktionsfelder im Jahr 2014 auf gut 16 Mrd. Euro. Rund die Hälfte davon entfiel allein auf Deutschland (49,8 %), mit weitem Abstand gefolgt von Frankreich (12,9 %) und Großbritannien (7,2 %). Damit war der deutsche Anteil an diesen spezifischen FuI-Aufwendungen deutlich höher als der Anteil deutscher Unternehmen an den gesamten FuE-Aufwendungen der EU-Wirtschaft (2014: 31,6 %). Das Gleiche gilt weniger ausgeprägt auch für Dänemark, die Niederlande, Finnland und Österreich. Abbildung Z-3 zeigt die Verteilung der FuI-Aufwendungen der Wirtschaft auf die neun Schlüsselaktionsfelder in Deutschland im Vergleich zur übrigen EU-28 in den Jahren 2008 und 2014.

Besonders auffällig ist die hohe Relevanz des Aktionsfeldes *Batterien und E-Mobilität* in Deutschland (2014: 32 % gegenüber 14 % in den übrigen EU-28). Zudem wird deutlich, dass die Forschungsanstrengungen in diesem Aktionsfeld in beiden Vergleichsregionen bei insgesamt steigendem Mittelvolumen im Zeitablauf überproportional ausgeweitet worden sind. In Deutschland haben neben *Batterien und E-Mobilität* nur noch *nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie* sowie *integrierte und flexible Energiesysteme* im Zeitablauf strukturell etwas hinzugewonnen. Letzteres gilt auch für die übrige EU-28, wo zusätzlich noch Anteilsgewinne bei *Energieeffizienz in der Produktion* sowie im kleinsten Feld der *nuklearen Sicherheit* hinzugekommen sind.

Für die hohe und wachsende Bedeutung der privaten FuI-Aufwendungen in den Feldern *Batterien und E-Mobilität* sowie *nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie* ist vor allem der Automobilsektor verantwortlich, der in Deutschland ein besonders hohes Strukturgewicht hat. Hierin spiegeln sich einerseits die Anforderungen an die Automobilproduzenten wieder, bei konventionellen Antriebstechnologien die Effizienzgrade zu verbessern und die Emissionen zu senken, andererseits aber auch die Erwartungen, dass die Nachfrage nach E-Mobilität deutlich steigen wird.

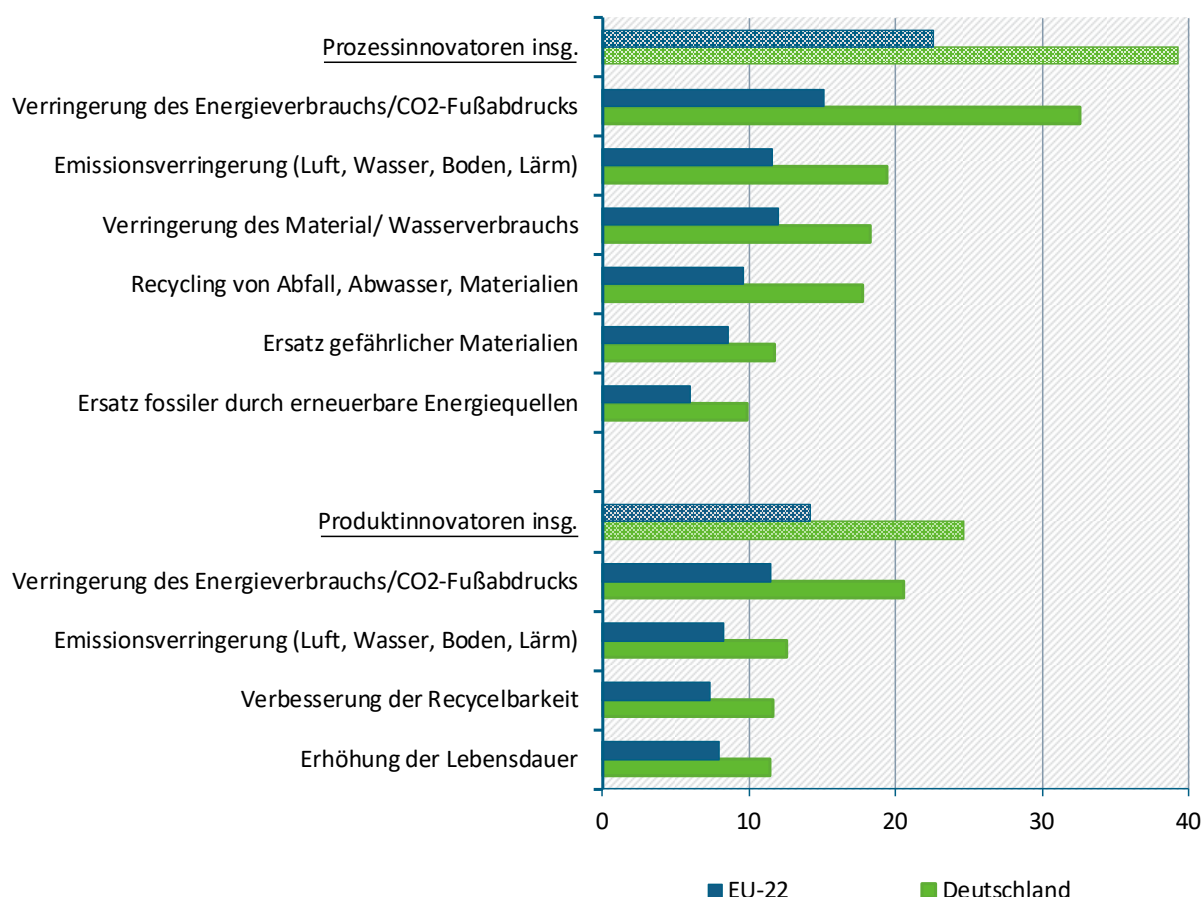
Bedeutung von Umweltinnovationen für Unternehmen im europäischen Vergleich

Für Europa wurde im Rahmen der Europäischen Innovationsbefragung (Community Innovation Survey: CIS) im Jahr 2015 zum zweiten Mal die Bedeutung von Umweltinnovationen für die Unternehmen erhoben. Erfasst wurden für den Zeitraum 2012 bis 2014 die Einführung von prozessbezogenen Innovationen, deren Umweltschutznutzen im innovierenden Unternehmen selbst stattfindet, die Einführung von produktbezogenen Umweltinnovationen, deren Umweltschutznutzen beim Kunden anfällt, sowie Faktoren, die die Einführung von Umweltinnovationen beeinflusst haben. Bei Unternehmen mit produktbezogenen Innovationen handelt es sich zumindest im weiteren Sinne um Anbieter von Umweltschutzgütern und -leistungen, da sie auf diese Weise positive Umweltwirkungen bei ihren Kunden auslösen. Die Daten liegen für 22 EU-Mitgliedstaaten (einschließlich Deutschland) vor, für mehrere große Länder (Frankreich, Spanien, Großbritannien) sind allerdings keine Angaben verfügbar.

Die Befragungsergebnisse zeigen, dass Umweltinnovationen für deutsche Unternehmen sowohl bezogen auf ihre Lieferungen und Leistungen an den Endkunden als auch bezogen auf ihre eigenen Produktionsprozesse von vergleichsweise hoher Bedeutung sind. Prozessbezogene Innovationen mit Umweltvorteilen für das eigene Unternehmen spielen dabei für die Unternehmen eine wichtigere Rolle als produktbezogene Innovationen, bei denen der Umweltnutzen beim Kunden anfällt. Dies gilt besonders für Deutschland, wo fast 40 % aller Unternehmen prozessbezogene Umweltinnovationen eingeführt haben (EU-22: 23 %). Unter diesen stehen Innovationen zur Verringerung des Energieverbrauchs oder des Kohlendioxidausstoßes bzw. CO₂-Abdrucks je Produkteinheit an erster Stelle (Abbildung Z 4). Hier ist der deutsche Vorsprung (33 %) besonders ausgeprägt (EU-22: 15 %).

Fast ein Viertel aller deutschen Unternehmen haben Innovationen mit Umweltvorteilen für den Endverbraucher eingeführt, im Durchschnitt der betrachteten EU-22 sind es hingegen nur 14 %. Generell kommen Produktinnovationen, die zu einer Verringerung des Energieverbrauchs bzw. des CO₂-Abdrucks je Produkteinheit beim Endverbraucher führen (EU-22: 11,5 %) eine besonders hohe Bedeutung zu (Abbildung Z 4). Spitzenwerte ergeben sich für Deutschland (21 %) und Finnland (20 %); aber auch bei den anderen drei produktbezogenen Umweltinnovationsarten erreicht Deutschland im Vergleich zu den EU-22 klar überdurchschnittliche Anteile.

Abbildung Z-4: Arten von Umweltinnovationen in Deutschland und im europäischen Durchschnitt (EU-22) 2012-2014*



*Nennungen als Anteil an allen Unternehmen in %. – Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eurostat. Community Innovation Survey. – Berechnungen des CWS.

Im EU-Durchschnitt nennen jeweils gut ein Viertel der Unternehmen die Erfüllung bestehender gesetzlicher Regelungen, hohe bzw. steigende Energie- und Rohstoffkosten sowie die Verbesserung der Unternehmensreputation als sehr wichtige Faktoren für die Einführung von Umweltinnovationen. Knapp dahinter mit gut einem Fünftel der Nennungen folgen Selbstverpflichtungen oder Standards in der Branche. Zukünftige gesetzliche Regelungen (12 %), bestehende Umweltsteuern oder -abgaben sowie die derzeitige oder erwartete Marktnachfrage (jeweils rund 10 %) und öffentliche Fördermaßnahmen spielen demgegenüber eine deutlich geringere Rolle. Aus Sicht deutscher Unternehmen rangieren demgegenüber steigende Energie- und Rohstoffkosten (26 %) eindeutig an erster Stelle vor der Erfüllung bestehender gesetzlicher Regelungen (20 %). Hingegen wird eine Verbesserung der Unternehmensreputation, die bei den meisten anderen Ländern weit vorne steht, nur von 11 % der deutschen Umweltinnovatoren als sehr wichtiger Faktor angesehen.

Interne FuE-Ausgaben der US-amerikanischen Unternehmen für Energiespar- oder Umweltschutzanwendungen

In den USA wird seit 2008 in der amtlichen FuE-Erhebung der Wirtschaft ebenfalls erfragt, wie hoch die FuE-Ausgaben für Energie- oder Umweltschutzanwendungen sind. Die aktuellsten Daten stammen aus der Erhebung für 2015. Danach haben US-Unternehmen in diesem Jahr aus eigenen Mitteln rund 20,5 Mrd. US-\$ für Energieanwendungen und rund 7,5 Mrd. US-\$ für

Umweltschutzzwecke aufgewendet. Hinzu kamen 4,25 Mrd. US-\$ (2,6 Mrd. für Energieanwendungen und 1,7 Mrd. für Umweltschutz) aus externen Finanzierungsquellen, die vor allem im Umweltschutzbereich bezogen auf die gesamten FuE-Aufwendungen der Wirtschaft eine wichtige Rolle spielen. Auch für die USA lässt sich auf Seiten der Unternehmen seit 2008 analog zur Entwicklung bei den staatlichen FuE-Budgets eine strukturelle Gewichtungverschiebung zwischen energie- und umweltschutzspezifischer FuE beobachten. Bemerkenswert ist zudem, dass kleine und mittlere Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten (KMU) jeweils höhere Anteile ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen verausgaben als größere Unternehmen.

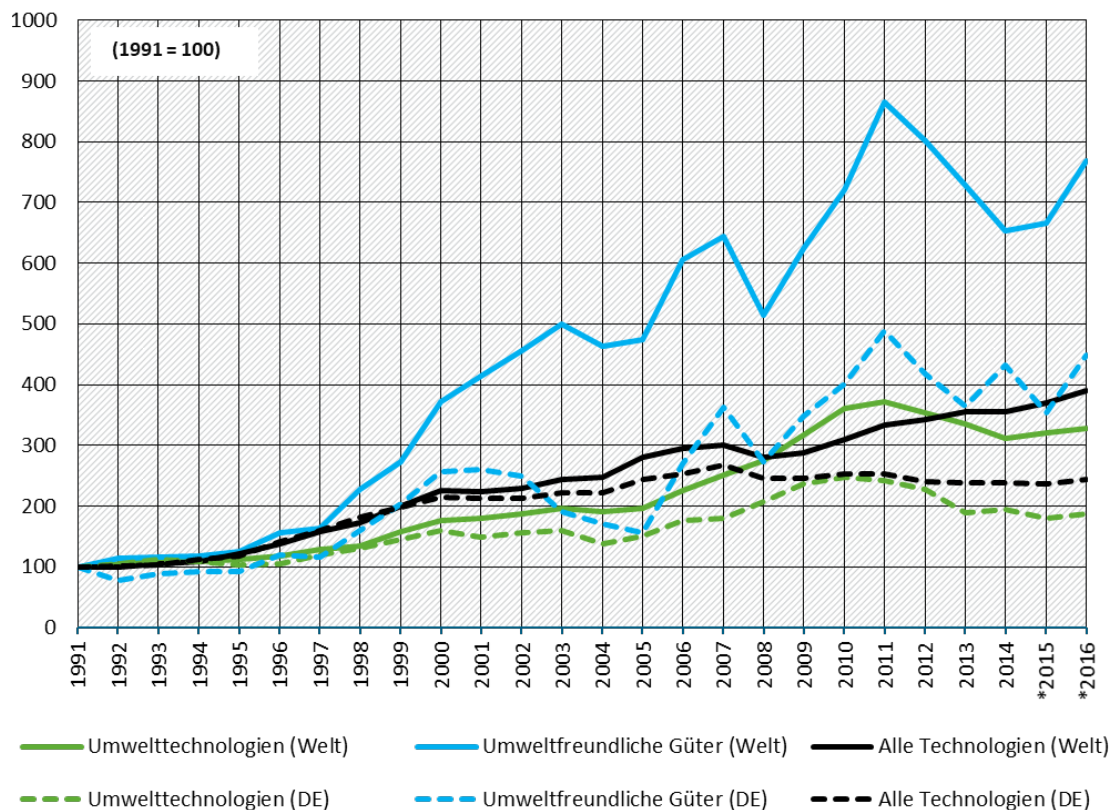
Patentindikatoren im Bereich Umweltschutz – Internationale Entwicklungen

Der Erwerb des Patentschutzes zeigt das Interesse des Anmelders, eine Erfindung potenziell auf dem Markt zu verwerten. Patentanmeldungen geben daher Auskunft über die Anwendungs- und Marktorientierung von technologischen Neuerungen. Sie werden als Frühindikator für Innovationen und die Entwicklung der Wissensbasis eines Landes herangezogen und zeigen damit eine Facette der internationalen Wettbewerbsfähigkeit. In der internationalen Patentklassifikation gibt es keine umweltspezifischen Klassen. Mit den gezielt entwickelten Patentsuchstrategien des Fraunhofer ISI ist aber eine treffende Abgrenzung einzelner Technologiebereiche möglich.

In Anknüpfung an andere Berichte aus der gleichen Projektfamilie werden die Bereiche Lärmschutz, Luftreinhaltung, Abwasser, Abfall, Recycling, Mess-/Steuer-/Regeltechnik (MSR) sowie Klimaschutz mit den Teilbereichen rationelle Energieverwendung, rationelle Energieumwandlung und erneuerbare Energien abgedeckt. Mit Blick auf die zunehmende Bedeutung der Kreislaufwirtschaft - auch im Kontext von Klimaschutz - wird der Bereich Recycling weiter differenziert, um stoff- bzw. abfallstromspezifische Recyclingverfahren (v.a. Recycling von Metallen und mineralischen Stoffen, Kunststoffrecycling) abzubilden. Damit wird gleichzeitig die Anschlussfähigkeit zu den statistischen Abgrenzungen von Eurostat für Umweltschutz- und Ressourcenmanagementaktivitäten erreicht. Außerdem wird inzwischen auch (Umwelt-) Sanierung und Wassermanagement untersucht. Letzteres Feld gewinnt vor dem Hintergrund zunehmender Klimawandel-bedingter Herausforderungen bei der Wasserversorgung global an Bedeutung. Zum zweiten Mal wird schließlich über die Entwicklung bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“) berichtet. Unter dem Begriff „Umwelt“ werden alle Technologien bzw. alle umweltfreundlichen Güter gebündelt dargestellt.

Für alle Umwelttechnologien zusammen ist die Zahl der jährlichen Patentanmeldungen im letzten 5-Jahreszeitraum (2012 - 2016) in Deutschland rückläufig (vgl. Abbildung Z 5). Dieser Trend findet sich auch weltweit, ist aber in Deutschland etwas stärker ausgeprägt. Wesentlich für diese Entwicklung sind die mengenmäßig bedeutenden Klimaschutztechnologien. Hinter der allgemeinen technologischen Entwicklung bleibt die Dynamik der Umwelttechnologien in Deutschland über die lange Frist betrachtet leicht zurück - zuletzt wieder etwas stärker. Auch auf globaler Ebene hat die Entwicklung der Patentzahlen insgesamt die der Umwelttechnologien überholt. Umweltfreundliche Güter - also speziell im Sinne des Umweltschutzes „sauberere“ gestaltete Güter - stechen mit deutlich positiveren Zuwachsraten hervor, sowohl weltweit als auch - mit etwas Abstand - in Deutschland.

Abbildung Z-5: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Deutschland und der Welt



*geschätzte Werte

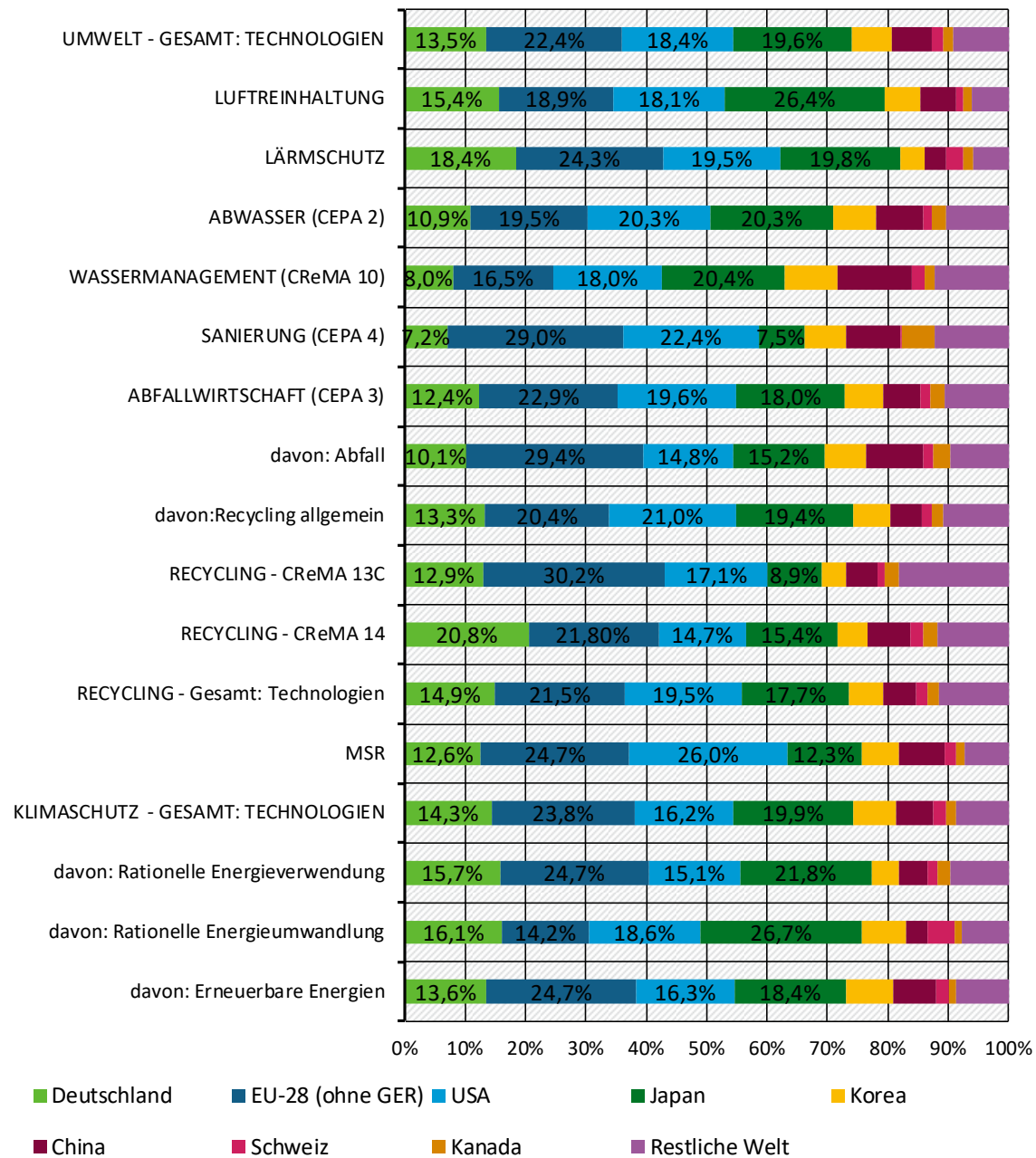
Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Anhand der Patentanteile des letzten 5-Jahreszeitraums erkennt man aktuell bedeutende Technologieführer. Deutschland ist hier mit 13,5 % auf Platz drei hinter Japan und den USA, wenn man die Umwelttechnologien insgesamt betrachtet (vgl. Abbildung Z 6). Dieses positive Bild wird etwas davon getrübt, dass Deutschlands Patentanteil über die Zeit deutlich gesunken ist - im Zeitraum 2002-2006 lag er noch bei 18 %. Zieht man einen Vergleich unter den einzelnen Umweltbereichen, fällt der Blick auf das Recycling von Metallen und Mineralstoffen. Hier weist Deutschland (abgesehen von den übrigen EU28-Staaten zusammen) im Vergleich zu anderen Technologielinien aktuell den höchsten Patentanteil auf. Aber auch im Vergleich zu anderen Ländern in derselben Technologielinie führt Deutschland hier vor Japan und USA. Auch im Klimaschutz hat Deutschland im Vergleich zum Durchschnitt aller Umwelttechnologien einen höheren Patentanteil, wobei insbesondere der Bereich der rationellen Energieumwandlung gut abschneidet. Den weltweit größten Anteil hat hier aber Japan, und auch die USA liegen noch vor Deutschland. Schaut man stärker in die Details, fällt die bedeutende Rolle von Korea und China auf, die die europäischen Länder bis auf Deutschland im Klimaschutz überholt haben. Dies ist vor allem ihrer starken Rolle bei Erneuerbaren Energien geschuldet. Bei umweltfreundlichen Gütern schneidet Deutschland mit einem Patentanteil von 16,2 % leicht besser ab als bei Umwelttechnologien. Dieses Bild ist aber stark von Patenten für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen geprägt und kann nicht für alle umweltfreundlichen Güter verallgemeinert werden.

Bisher haben wir die Patentanteile Deutschlands zwischen verschiedenen Technologielinien und mit anderen Ländern verglichen. Ein weiterer Vergleichsmaßstab ist Deutschlands Patentanteil bei allen Technologien. Im Vergleich dazu liegt Deutschlands Anteil bei Umwelttechnologien

höher. Hier spricht man von einem Spezialisierungsvorteil in der Wissensbasis. Der relative Patentanteil (RPA), der dies ausdrückt, ist positiv (vgl. Abbildung Z 7). Dies gilt im aktuellsten 5-Jahreszeitraum (2012-2016) auch für alle Teilbereiche einzeln mit Ausnahme von Abwasser, Wassermanagement und Abfall.

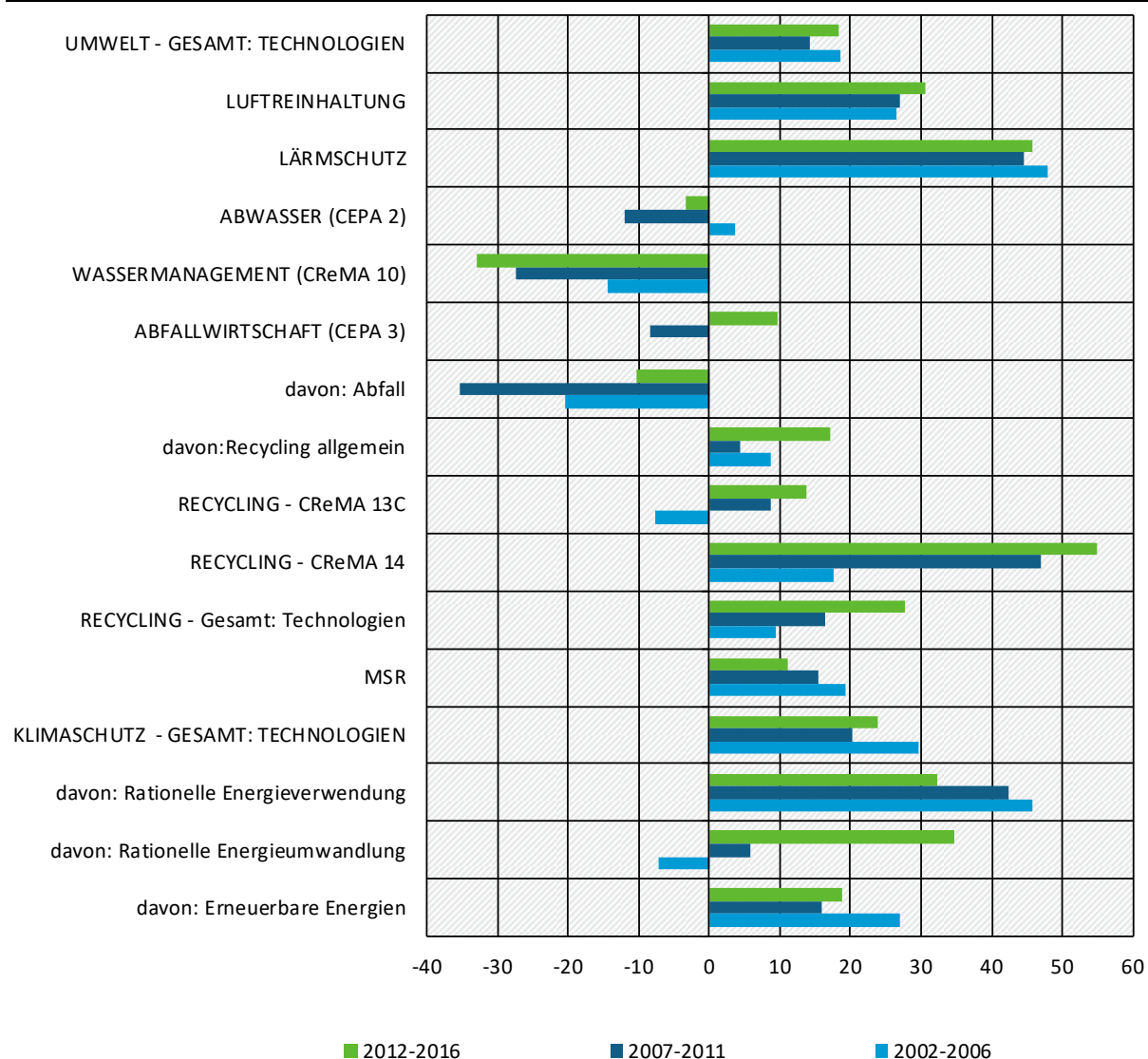
Abbildung Z-6: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien* (2012-2016)



*CEPA 3 inkl. „adapted goods“

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung Z-7: Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte)



RPA = Relativer Patentanteil (Spezialisierungsmaß): ein positiver(negativer) Wert bedeutet, dass der jeweilige Patentanteil über (unter) dem Durchschnitt aller Umwelttechnologien liegt.- CEPA 3 inkl. „adapted goods“; CEPA 4 und CReMA 11 wegen geringer absoluter Anzahl von Patenten nicht statistisch ausgewertet.

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Patentindikatoren im Bereich Umweltschutz – ein Gesamtbild für Deutschland

Tabelle Z-1 fasst wesentliche Ergebnisse aus der Patentanalyse in einem Überblick für den 5-Jahreszeitraum 2012-2016 zusammen. Folgende Kernpunkte lassen sich festhalten:

- **Umwelttechnologien:** Deutschland ist hier gemessen an seinem Patentanteil innerhalb Europas und auch weltweit ein wichtiger Player - mit Platz 1 in Europa sowie Platz drei hinter USA und Japan. Zwar hat Deutschland beim Patentanteil einen knappen Prozentpunkt gegenüber der vorangegangenen Auflage dieses Berichts (Gehrke et al. 2018) eingebüßt. Dies ist aber weniger als bei Technologien insgesamt, so dass der Spezialisierungswert leicht gestiegen ist. Das Absinken der jährlichen Patentanmeldungen für Umwelttechnologien hat sich verlangsamt, aber noch nicht - wie bei allen Technologien zusammen - ins Positive verkehrt.

- ▶ **Umweltfreundliche Güter:** Bei der Gesamtbetrachtung der umweltfreundlichen Güter zeigt sich - anders als bei den Umwelttechnologien - eine Zunahme der Patentzahlen und auch ein im Vergleich zu Umwelttechnologien höherer Patentanteil, so dass auch die Spezialisierungsvorteile Deutschlands hier noch deutlicher hervortreten. Dieser Befund ist stark von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen dominiert. Er kann deshalb nur begrenzt verallgemeinert werden.
- ▶ **Kreislaufwirtschaft:** Bei Recyclingtechnologien fallen die Kennzahlen etwas besser aus als für Umwelttechnologien insgesamt. Die Zahl der jährlichen Patentanmeldungen ist zwar rückläufig, aber weniger stark als beim Durchschnitt aller Umweltpatente. Patentanteil und Spezialisierung sind deutlich höher. Besonders das Recycling von Metallen und mineralischen Stoffströmen sticht positiv hervor. Trotz zuletzt verhaltener Dynamik fallen der Patentanteil und das Spezialisierungsmaß im Vergleich zu Recyclingtechnologien insgesamt deutlich positiver aus. Möglicherweise trägt hier die intensivste Forschungsförderung (vgl. Abschnitt 3.2.1) dazu bei, die dämpfenden Impulse aus dem Preisverfall für Primärmetalle zu kompensieren. Für die ganzheitliche Entwicklung der Kreislaufwirtschaft, die auch die Produktdimension abdeckt und nicht auf Recycling verkürzt, sind die umweltfreundlichen Güter im Bereich Recycling besonders relevant. Hier ist die technologische Dynamik noch sehr verhalten, hat sich aber zuletzt beschleunigt. Deutschlands Patentanteil und auch RPA-Wert liegt deutlich unter dem, den es für Umwelt- und insbesondere für Recyclingtechnologien erreicht. Dies wirft nur ein paar Schlaglichter auf das komplexe Thema Kreislaufwirtschaft. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, diese ganzheitlich unter Berücksichtigung der verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus und der Wertschöpfungsstufen in der Patentanalyse abzudecken.
- ▶ **Klimaschutz:** In absoluten Zahlen gemessen ist Klimaschutz der größte Bereich unter den Umweltpatenten. Deutschland ist hier besser aufgestellt als im Schnitt der Umwelttechnologien, mit höherem Patentanteil und RPA-Wert. Die Patente für Erneuerbare Technologien spielen mengenmäßig eine bedeutende Rolle. Sie liegen in Deutschland ungefähr im Schnitt aller Umwelttechnologien. Besonderen Neuigkeitswert hat die Beobachtung, dass die seit 2011 vorherrschende deutliche Abwärtsentwicklung der Zahl der Erneuerbaren-Energien-Patente global und in Deutschland in den letzten zwei bis drei Jahren fast gestoppt scheint und sich in Deutschland vereinzelt sogar positive Zuwachsraten zeigen, getrieben vor allem durch die Entwicklungen bei Windenergie. Besonders positiv sind die Entwicklungen bei der rationellen Energieverwendung mit positiven Zuwachsraten sowie im Vergleich zu anderen Umwelttechnologien überdurchschnittlichem Patentanteil und RPA-Wert.
- ▶ **„Klassische“ Umweltschutzbereiche:** Luftreinhaltung und Lärmschutz gehören zu den Stammgebieten des Umweltschutzes. Die Performanz Deutschlands ist hier nach wie vor gut bis sehr gut mit insbesondere hohen Spezialisierungsvorteilen, wenn auch die Zahl der Patentanmeldungen rückläufig ist. Ein weiterer klassischer Bereich ist Abfall, der aber als nachsorgender Umweltschutzansatz in Deutschland keine prominente Rolle spielt, was sich auch in den Indikatoren ausdrückt.

Insgesamt ergibt sich somit im internationalen Vergleich und im Vergleich mit der allgemeinen technologischen Entwicklung ein positives Bild. Hinter einem Land, das seine Wissensbasis stringent an den Herausforderungen der Nachhaltigkeit und der Erfüllung der Sustainable Development Goals ausrichtet, bleiben diese Kennzahlen jedoch zurück. Hierfür würde man stärkere Zuwächse in den Patentzahlen der einzelnen Umweltbereiche erwarten. Deutschland hat also noch Potenzial, seine Wissensbasis stärker für Nachhaltigkeit einzusetzen.

Tabelle Z-1: Zusammenfassung der Patentindikatorik für Deutschland (2012-2016)

	Wachstumsrate (2012-2016)	Patentanteile (2012 – 2016)	RPA* (2012 – 2016)
Alle Technologien	0,4%	11,2%	(nicht definiert)
Umwelt (alle Technologien)	-4,7%	13,5%	18
Luftreinhaltung	-4,4%	15,4%	39
Lärmschutz	-5,9%	18,4%	46
Abwasser (CEPA 2)	0,4%	10,9%	-3
Wassermanagement (CReMA 10)	4,7%	8,0%	-33
Sanierung (CEPA 4)	k.A.	7,2%	-42
Abfallwirtschaft (CEPA 3)	-1,1%	12,4%	10
davon: Abfall	-9,1%	10,1%	-10
davon: Recycling allgemein	0,4%	13,3%	17
CReMA 13C	-1,8%	12,5%	14
CReMA 14	-5,1%	17,0%	55
Recycling (alle Technologien)	-3,1%	14,9%	28
MSR	7,8%	12,6%	11
Klimaschutz (alle Technologien)	-8,6%	14,3%	24
davon: Rationelle Energieverwendung	2,9%	15,7%	32
davon: Rationelle Energieumwandlung	-4,1%	16,1 %	35
davon: Erneuerbare Energien	-13,3%	13,6 %	19
Adapted goods			
Umwelt (a.g.)	1,9%	16,2%	35
davon Luftreinhaltung (a.g.)	1,2%	18,1%	44
davon Recycling (a.g.)	10,0%	8,9%	-23
davon Erneuerbare Energien (a.g.)	k.A.	6,8%	(-46)

*Anmerkung: RPA = Relativer Patentanteil (Spezialisierungsmaß); grün = (positiv und) über dem Durchschnitt aller Umwelttechnologien, rot = (negativ und) unter dem Durchschnitt aller Umwelttechnologien; k.A. oder Angaben in Klammern, wenn die jährlichen Anmeldezahlen im Schnitt des 5-Jahres-Zeitraums unter 20 liegen

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Summary

The Federal Environment Agency has instructed the German Institute for Economic Research (DIW), the Center for Economic Policy Studies (CWS) of the Leibniz Universität Hannover and the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI to analyze and update various indicators on a regular basis in the context of the project “Environmental Protection as an Economic Factor” in order to assess the international performance of the German environmental industry. This concerns the innovativeness (research and patents) but also the economic importance of the environmental industry in Germany (production, sales and employment) as well as in international comparison (foreign trade indicators). The results are published in various studies, demarcated by topic.

This report presents indicators to measure the technological performance/innovation ability of the environmental industry (investment in research, development and innovation, patents).

Government research and development expenditure on environmental protection and energy in an international comparison

Official statistics of business spending on research and development (R&D) for the production of environmental protection products are, with a few exceptions, neither available on the national nor the international level. There are very few meaningful and comparable results, which, in addition, usually only regard partial aspects of R&D and are mostly based on estimates (see below). Therefore, the analyses on R&D in an international comparison mainly consider OECD publications on public R&D spending, aiming at environmental protection on the one hand and energy supply on the other hand, as reported in national budget statistics. In this way it is at least possible to estimate the importance that these technological policy goals have within the total application of funds in individual countries.

In 2016, the OECD countries' government R&D expenditures for environmental protection reached 5.5 billion US-\$, and therefore slightly lower than the previous peak in 2015 (5.9 billion US-\$). The share of R&D expenditure for environmental protection in total public spending on R&D for civil research purposes decreased from 2.2 % (2015) to 2.0 % (2016). This especially affected the traditional EU countries including in particular France, but also Germany, Spain, Italy and Denmark, as well as to a fewer extent the USA. However, the country data for 2017 suggest that environmental protection expenditure has increased significantly this year and also stronger than the total research expenditure.

Despite recent share losses, the average environmental protection goal is still rated higher in government R&D expenditure of the EU-15 (2016: 2.4 %) than on OECD average (2.0 %). However, the specific use of research funds for physical environmental protection research has been decreasing in absolute and relative terms since the beginning of the current decade, because the priorities here and worldwide have shifted towards the research on energy. For the EU-15, a slight increase to 2.5 % is expected in 2017, as Germany in particular, but also Austria and Finland, have increased their government expenditure on physical environmental research at an above-average rate.

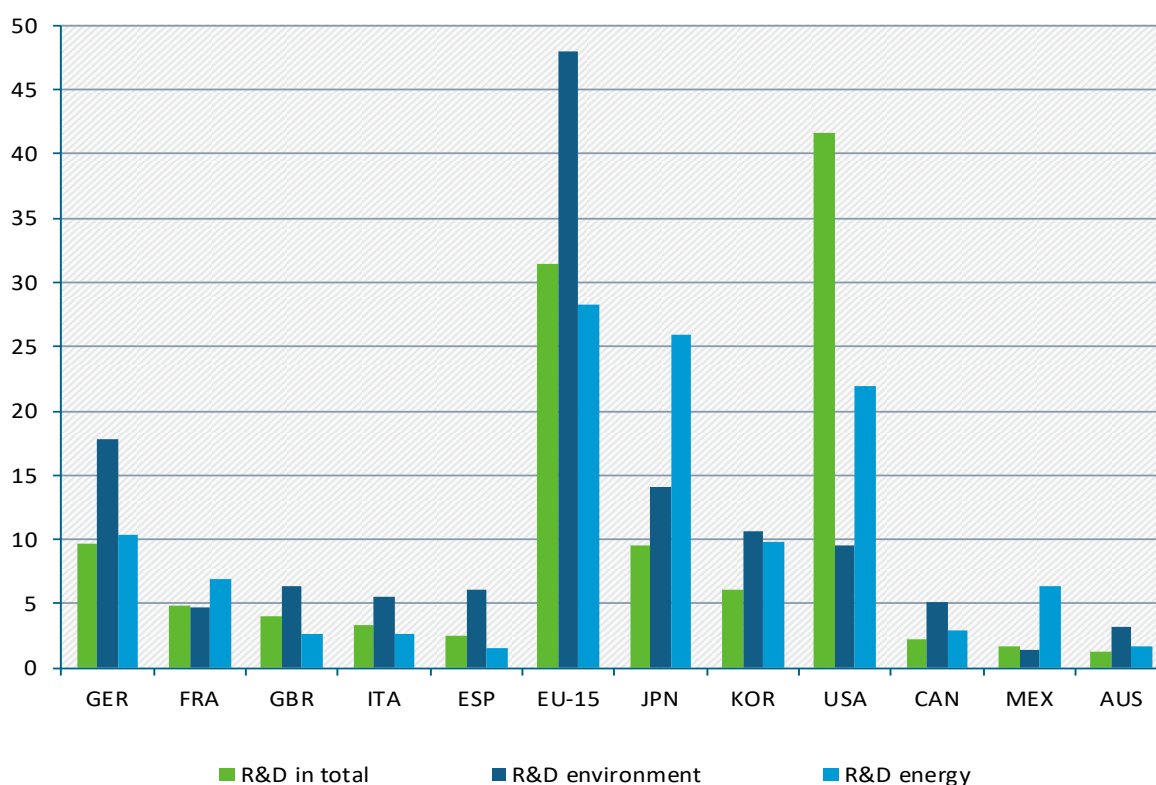
This results in an increase in Germany's share from 2.8 % (2016) to 3.0 % (2017). Germany continues to set clearly above-average priorities to environmental research in comparison to both the EU-15 and the OECD, even though there has been a clear shift of research funds towards energy since the last decade (2015: 3.0 %, 2017: 5.2 %). Within Europe in 2016 only Spain, Portugal, Poland, Great Britain², and Hungary had higher shares than Germany referring

² Instead of the correct term "United Kingdom", the term "Great Britain" is used in the following for simplification.

to the environmental protection goal. In contrast, environmental aspects continue to be a minor part within the US government R&D expenditure, whereas Japan (2.3 %) has recently caught up noticeably.

Figure Z 1 displays the shares of selected countries in the OECD-wide research budgets for environmental research and energy research in comparison to their respective shares in total government R&D expenditure, pointing out the different priorities. In 2016, Germany accounted for almost 18 % of government expenditures for environmental protection of all OECD countries, significantly more than its expenditures for all R&D programs (nearly 10 %) or the expenditures for research on energy (about 10 %). The EU-15 also achieves an above-average share of environmental protection expenditure (48 %), but the use of funds slightly falls for energy research (28 %) below the average for all R&D programs (31.5 %).

Figure Z-1: Shares of selected countries in total public R&D budgets of all OECD countries in 2016 in %: environment, energy and total



2016 or last available year.

Source: OECD, Research and Development Statistics, Status 31/07/2018. - Calculations and estimations by CWS.

In the US and in Japan on the other hand, energy research is ranked higher than research in the field of physical environment within the public R&D budgets. Whereas the US still attributes merely below-average priority to both specific research goals, Japan traditionally makes an above-average contribution to the OECD research budgets for environmental and energy research. This can be explained by the continuously high use of resources for nuclear research, although in recent years more government research funding has been spent on renewable energies and energy efficiency.

Public funding of R&D and demonstration projects by energy sources and technologies

In-depth surveys by the International Energy Agency (IEA) on the public budget estimates for the research and development as well as for demonstration projects (RD&D) in the energy

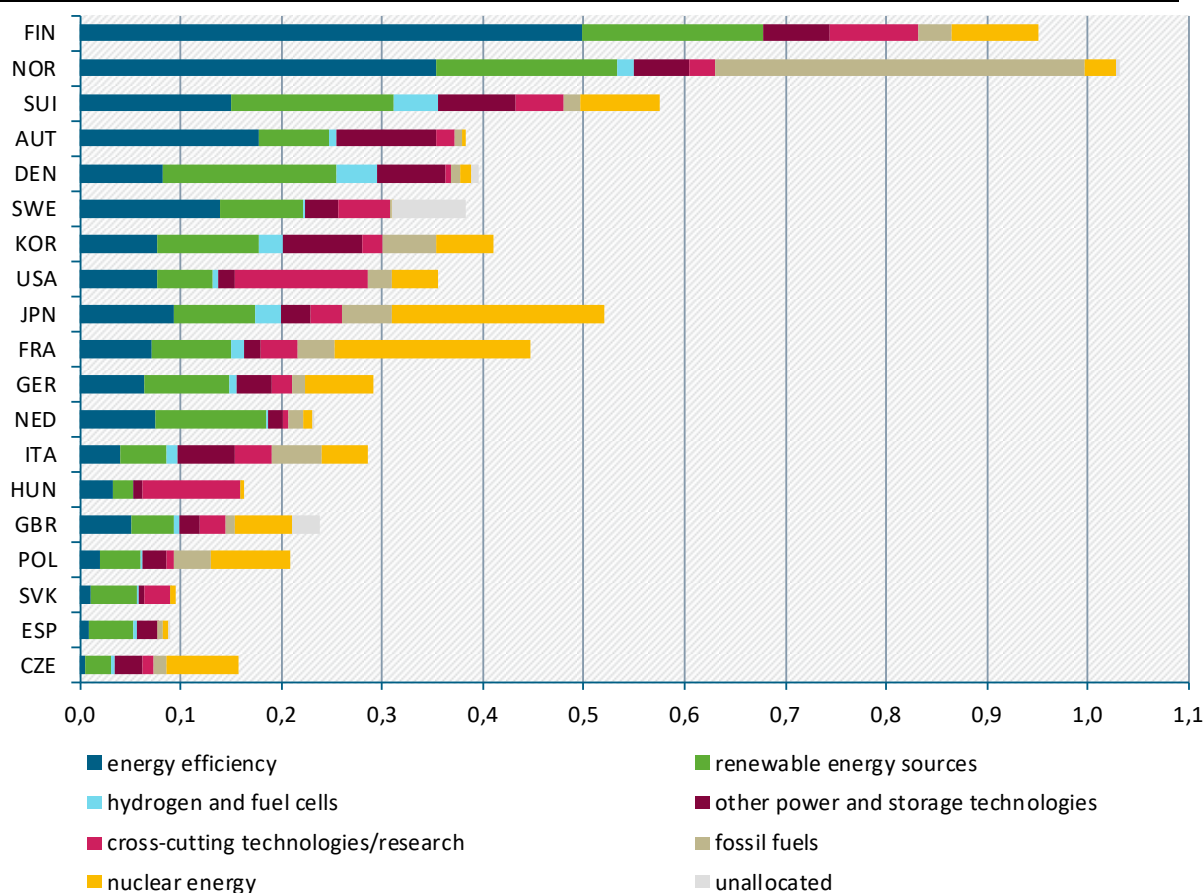
sector enable a differentiated view on the distribution of expenditure for the various energy resources and technologies. Since the beginning of the century, all highly developed countries have seen significant shifts in favour of sustainable, resource-efficient technologies (renewable energies, energy efficiency, hydrogen and fuel cells, other power generation and storage technologies, cross-cutting technologies/research) and to the detriment of nuclear energy and fossil fuels. In the medium term, energy efficiency has become increasingly important in many countries, after the increase in funds initially benefited mainly renewable energies. In Germany, almost three-quarters of the funds in 2017 is for sustainable, resource-efficient energy technologies, in the EU-15 the proportion is 68 %. Austria and Hungary show peaks of over 97 %, previously also reached by Sweden and Denmark. Finland and the Netherlands follow immediately. In the USA the share is 84 %, in Japan, despite a catching up tendency, it is only 52 %.

If the budgeted funds are put in relation to the respective gross domestic product (GDP), the weighting of future-oriented energy technologies in public research funding becomes particularly clear. In all the countries reported, these rates have risen significantly, in particular as a result of increases in renewable energies and energy efficiency. From a German perspective, there has also been a significant growth between 2000 and 2017 (from 0.05 ‰ to 0.23 ‰). Nevertheless, the German quota is relatively low, compared to most other economies. Not only in the Nordic countries, where energy from renewable sources has been of outstanding importance for a long time due to natural conditions, but also in Austria, Switzerland, Japan, South Korea and the USA, the rates are sometimes significantly higher (Figure Z 2). Only for renewable energies is Germany one of the leading countries in terms of RD&D expenditure in relation to GDP with 0.09 ‰.

In the field of renewable energies, most countries are setting clear priorities for solar, bio and wind energy through government RD&D funding. However, there have been structural shifts over time. The weight of the solar sector, which previously dominated all regions, has decreased everywhere in the long term, but in Germany and the other EU-15 it still accounts for almost one third of the R&D budget for renewable energies. In addition, around 20 % of funds in Germany go to the wind sector, compared with 15 % in the other EU-15. Germany lags significantly behind in terms of the relative importance of bioenergy research (13-15 %) to the other EU-15 (33 %) and above all the USA (60 %), which have continued to expand their traditional focus in this field at the expense of solar and wind energy. Japan's renewable energy research, on the other hand, is increasingly focusing on the wind sector (60 %).

In Germany, the majority (60 %) of RD&D budgets for improving energy efficiency are allocated to 'unallocated energy efficiency' that cannot be explicitly assigned to one of the main sectors industry, buildings or transport. With regard to specific funding, the focus has recently shifted towards industry. In Japan, too, the funds clearly focus on increasing energy efficiency in industry, while in the USA and the other EU-15 countries the focus is on the transport sector.

Figure Z-2: Public RD&D budgets* 2015 to 2017 in relation to GDP (in ‰)



*Sorted in descending order by the share of sustainable and resource-efficient technologies (energy efficiency, renewable energies, hydrogen and fuel cells, other power generation and storage technologies, cross-cutting technologies/research). Estonia holds the absolute top value (2.32 ‰ - of which 1.80 ‰ sustainable and resource-efficient technologies), but cannot be listed for reasons of presentation.

Source: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D budget (Status: November 2018). - Calculations by CWS.

Publicly funded environmental research in Germany

In Germany, environmental research funding (including energy) can be analysed in more detail based on the Environmental Research Database (UFORDAT) of the Environment Agency (UBA). Therefore the information available in the database is regularly evaluated according to overarching environmental areas (e.g. water, nature and landscape conservation, energy/raw materials), project and funding volume as well as implementing and financing institutions. As the content classification of the projects for 2017 was only partially implemented at the time this report was prepared, the present analysis is limited to an overview of fundamental trends and significant structural shifts over time. In order to minimize distortions caused by estimates for 2017, three-year averages (2005 to 2007, 2015 to 2017) are used to describe longer-term developments.

It becomes clear that the shifts in the weighting of global public research budgets towards climate and resource protection can also be observed in public funding of research projects in Germany. Starting from an already high level, the structural share of the relevant environmental sector, energy/raw materials, has again risen significantly in all three key figures (number of projects, project volume, funding volume). Average of the years 2015 to 2017, it accounts for around 45 % of the newly started research projects, 55 % of the project volume and a good 60 %

of the funding. In contrast, all other environmental sectors at best achieve higher single-digit quotas, and - apart from agriculture - have lost a significant proportion of their share.

The average funding ratio, i.e. the ratio of funding volume and project volume, was just under 74 % in both periods. This suggests that the trend of declining funding quotas reported in earlier reports has reversed on average in recent times. However, the situation differs with regard to specific topics. Declining funding quotas are recorded for radiation, nature and landscape conservation, environmental law/economy and waste, while in other areas the share of governmental funds has increased or remained the same (agriculture). In the thematic area of energy/raw materials, the average funding quota is with 67 % the lowest. With the exception of noise, all other fields of research have significantly higher funding rates, especially radiation, soil, general questions and genetic engineering with rates of over 90 %.

In both observation periods, almost half of the projects (49 %) and a good 40 % of funding are carried out by industry. Over time, their share of project volume has risen from just under 52 % to almost 55 %. This indicates that cost-intensive research projects with environmental relevance are more and more realized by private companies, frequently in cooperation with public research institutions. In second place follow universities with currently around 29 % of the projects and funding and 22 % of the project volume, ahead of institutes of the Fraunhofer Association (7 % of the projects, 10 % of the project volume, 12 % of the funding) and institutions of the Helmholtz Association (5.5 % of the projects, 8 % of the project funds, 9.5 % of the funding). All other types of implementing institutions tend to lose importance. Only with regard to industry, the share of funding is significantly and increasingly lower than the share of the total project volume. This can be explained by the fact that application-oriented projects are more likely to be carried out there, with on average less public funding than basic and longer-term projects at universities and non-university research institutions.

The majority of funding for environmental research traditionally comes from the federal government, which has further expanded its leading position from 77 % (2005 to 2007) to 88 % (2015 to 2017). In part, however, this effect occurs due to the fact, that projects funded by federal ministries are recorded automatically and completely, while projects of other funding institutions (e.g. DBU, DFG, but also EU) often have to be researched at great expense, so that they are likely to be rather underestimated. By far the largest funding agencies within federal funding are the Federal Ministry of Economics and Energy (BMWi: 39 %) and the Federal Ministry of Education and Research (BMBF: 35 %), with both the former and the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) clearly losing out to the BMWi in the period comparison. This occurs probably because the tasks from the increasingly important energy sector were initially assigned to the BMU, but since 2014 have been transferred to the BMWi.

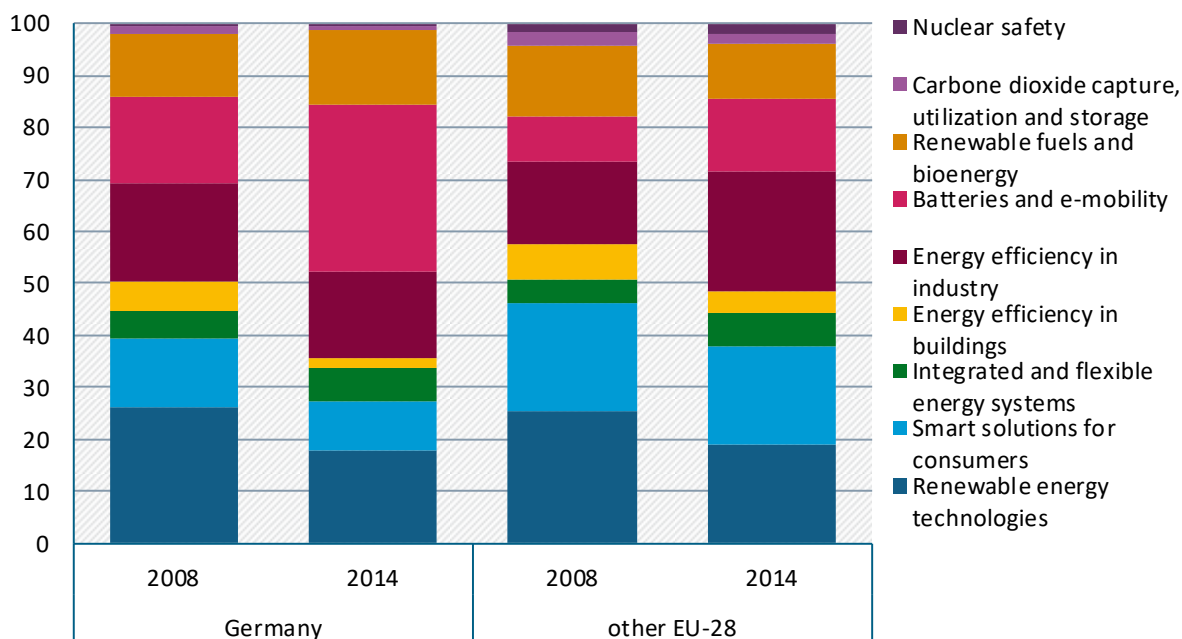
Research and innovation expenditure by companies in Europe in key energy-related fields of action (SET Plan key actions)

In September 2015, the European Commission agreed on nine key actions under the *Strategic Energy Technology (SET) Plan*, for which research and innovation indicators will be observed regularly. While the IEA data on public RD&D expenditure is structured technology-specific, the EU definition of segments such as *intelligent consumer solutions* or *batteries and e-mobility* is more application-oriented. In addition to published company data, the estimates presented for the industry's expenditure on research and innovation (R&I) are also based on average technology-specific patent applications.

Accordingly, the EU-wide R&I expenditure of the economy across all energy-related fields of action is amounted to a good 16 billion euros in 2014. Germany alone accounted for almost half

of this (49.8 %), followed by France (12.9 %) and Great Britain (7.2 %). Thus, the German share of these specific R&I expenditures was significantly higher than the share of German companies in the total R&D expenditures of the EU economy (2014: 31.6 %). The same applies to a lesser extent to Denmark, the Netherlands, Finland and Austria. Figure Z 3 shows the distribution of business R&I expenditure among the nine key actions in Germany compared to the rest of the EU-28 in 2008 and 2014.

Figure Z-3: Private R&I investment per SET Plan action 2008 and 2014: Germany and other EU-28 in comparison (structural shares in %)



Source: Pasimeni et al. 2018. – Calculations by CWS.

Particularly striking is the high relevance of *batteries and e-mobility* in Germany (2014: 32 % compared to 14 % in the other EU-28). Furthermore, it becomes clear that the research efforts in this field of action have been expanded disproportionately over time in both comparative regions with an overall increase in the volume of funds. In Germany, in addition to *batteries and e-mobility*, only *renewable fuels/bioenergy* and *integrated and flexible energy systems* have structurally increased over time. The latter also applies to the rest of the EU-28, where additional gains have been made in *energy efficiency in production* and in the smallest field of *nuclear safety*.

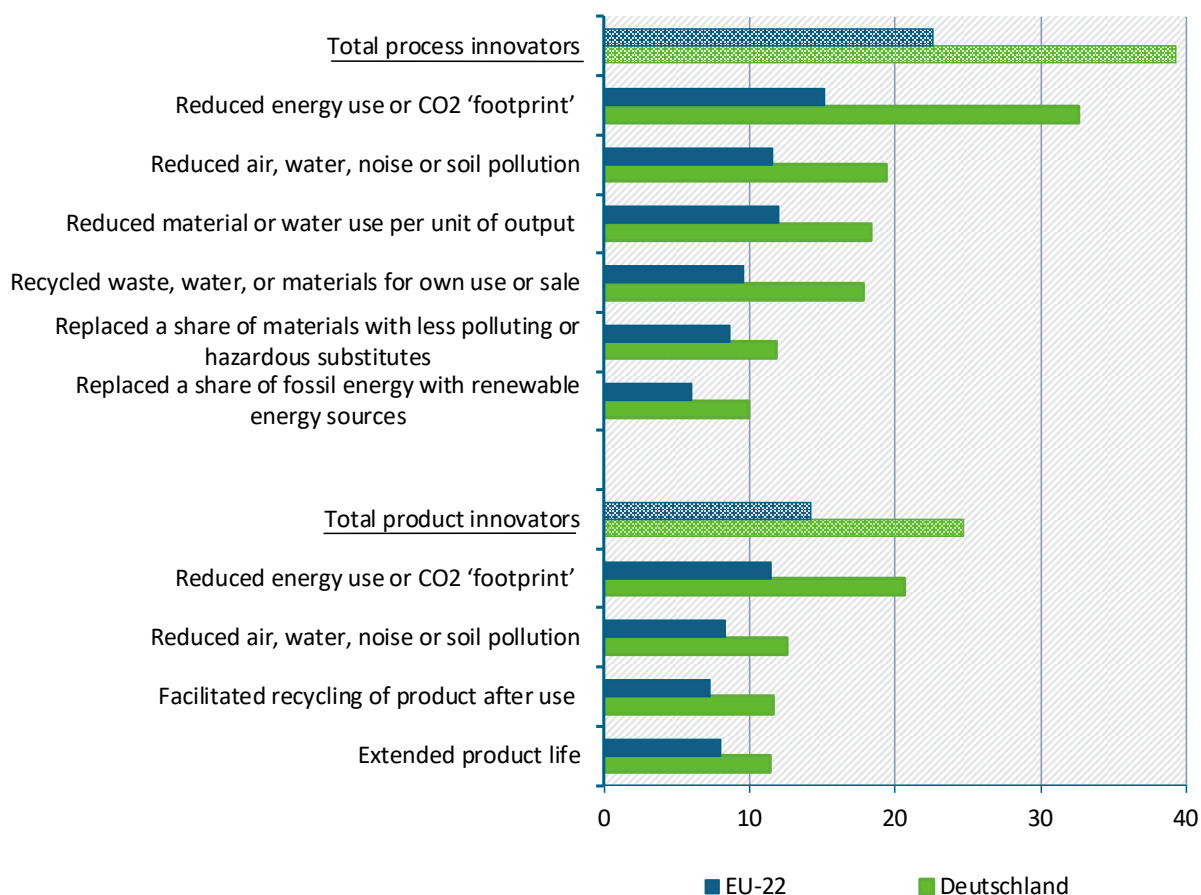
The automotive sector in particular which has a high structural weight in Germany is responsible for the high and growing importance of private R&I expenditure in the fields of *batteries and e-mobility* as well as *renewable fuels/bioenergy*. This reflects, on the one hand, the demands on automobile manufacturers to improve the efficiency levels and reduce emissions of conventional drive technologies and, on the other hand, expectations that the demand for e-mobility will increase significantly.

Importance of environmental innovations for companies in a European comparison

In 2015, the importance of environmental innovations for companies was evaluated within the Community Innovation Survey (CIS) for Europe for the second time. For the period from 2012 to 2014, the following factors were recorded: the introduction of process-related innovations with

environmental benefits obtained in the innovating company itself; the introduction of product-related innovations with environmental benefits obtained by the end-user; and factors that influenced the introduction of environmental innovations. Companies with product-related innovations are suppliers of environmental goods and services, at least in the broader sense, as they trigger positive environmental impacts for their customers in this way. There is data available for 22 EU Member States (including Germany), but there is no data available for some of the large countries (France, Spain, Great Britain).

Figure Z-4: Types of environmental innovations in Germany and the EU-22 average 2012-2014*



*Mentions as shares on all companies in %. – Multiple answers possible.

Source: Eurostat. Community Innovation Survey. – Calculations by CWS.

The survey results show that environmental innovations are of comparatively high importance for German companies both in terms of their deliveries and services to end customers and in terms of their own production processes. Process-related innovations with environmental benefits for the own company have a more important function for the companies than product-related innovations with environmental benefits for the customer. This is particularly applicable in Germany, where almost 40 % of all companies have introduced process-related environmental innovations (EU-22: 23 %). The subgroup of innovations to reduce energy consumption or carbon dioxide emissions or CO₂ imprints per product unit are in first place (Figure Z 4). Here the German lead (33 %) is particularly pronounced (EU-22: 15 %).

Nearly a quarter of all German companies have introduced innovations with environmental benefits for the end consumer, whereas the average for the EU-22 countries in question is only 14 % (Figure Z 4). In general, product innovations that lead to a reduction in energy

consumption or CO₂ emissions per product unit for the end consumer (EU-22: 11.5 %) are particularly important. Germany (21 %) and Finland (20 %) have the highest shares; Germany also achieves clearly above-average proportions among the other three product-related types of environmental innovation compared to the EU-22.

On EU average, a good quarter of companies cite the achievement of existing legal regulations, high or rising energy and raw material costs and the improvement of their reputation as very important factors for the introduction of environmental innovations. Just behind them, with a good fifth of the nominations, follows voluntary commitments or standards in the industry. In comparison, future legal regulations (12 %), existing environmental taxes or charges, current or expected market demand (around 10 % each) and public support measures play a much smaller role. From the point of view of German companies, rising energy and raw material costs (26 %) clearly rank in first place before the fulfilment of existing legal regulations (20 %). However, only 11 % of German environmental innovators consider an improvement in the company's reputation, which is far ahead in most other countries, to be a very important factor.

Internal R&D expenditure by US companies on energy or environmental application areas

Since 2008, the official R&D survey of the US economy has also been asking how high the R&D expenditures for energy or environmental protection applications areas are. The most recent data come from the survey in 2015. According to the study, US companies spent around US-\$ 20.5 billion on energy applications from their own resources and around US-\$ 7.5 billion on environmental protection this year. In addition, \$4.25 billion (\$2.6 billion for energy applications and \$1.7 billion for environmental protection) came from external sources of finance, which play an important role in the field of environmental protection in relation to the total R&D expenditure of the economy. On the part of companies, since 2008 there has also been a structural shift in the weighting between energy and environmental R&D in line with the development of government R&D budgets. It is also noteworthy that small and medium-sized enterprises with less than 250 employees (SMEs) spend more of their total internal R&D expenditure on energy or environmental applications than larger enterprises.

Patent indicators in environmental protection – international developments

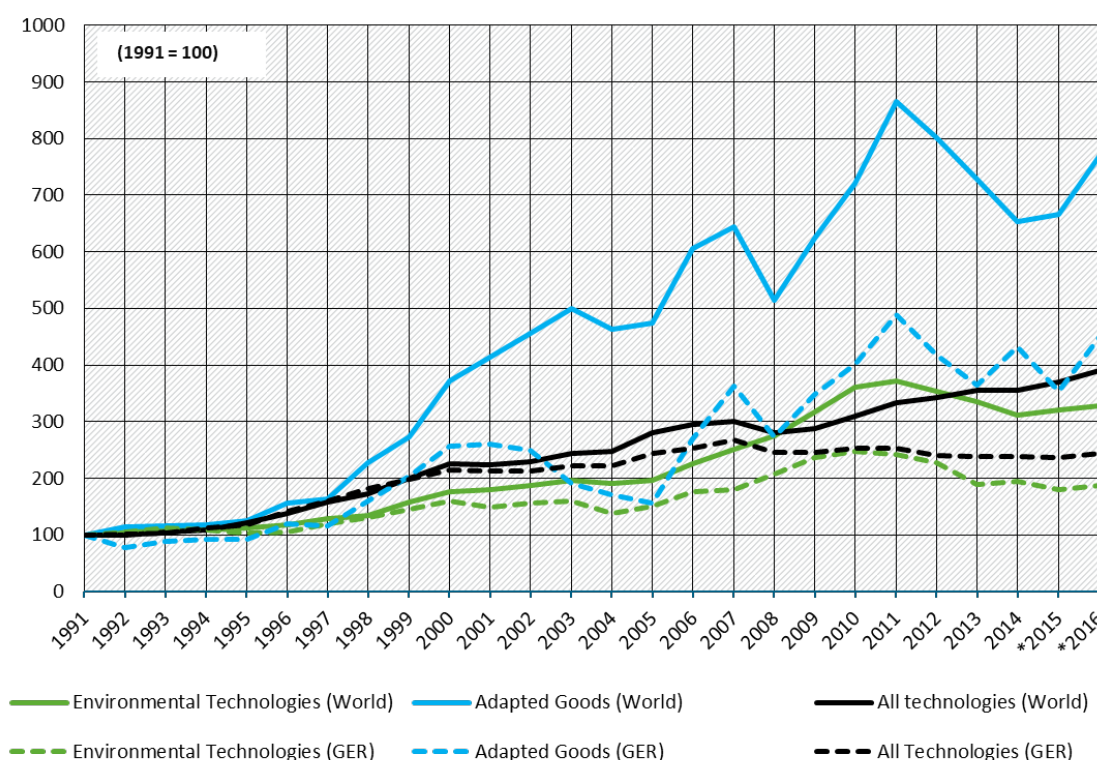
Obtaining patent protection for an invention shows that the applicant is interested in potentially utilizing it commercially on the market. Patent applications therefore indicate the orientation of technological innovations towards (future) applications and markets. They are used as an early indicator of innovations and of how a country's knowledge base is developing and therefore mirror one facet of international competitiveness. There are no classes in the international patent classification that are specifically related to environmental protection issues. However, it is possible to use the patent search strategies developed by the Fraunhofer ISI to identify relevant individual technology fields.

In line with other reports from the same project family, the fields of noise abatement, air pollution control, wastewater, waste management, recycling, measurement & control technology and climate protection are covered, including the sub-fields of efficient energy use, efficient energy transformation and renewable energies. Given the increasing importance of recycling and the circular economy – in the context of climate protection, too – the field of recycling is differentiated further in order to illustrate recycling processes specific to materials and waste streams (mainly recycling of metals and minerals, plastics recycling). At the same time, this ensures compatibility with Eurostat's statistical definitions for environmental protection and resource management activities. (Environmental) remediation and water management are now analysed as well. The latter is becoming much more important globally against the backdrop of increasing climate-related challenges in the supply of water. Finally, for the second time, the

development of environmentally-friendly goods (“adapted goods”) is reported. All technologies and all adapted goods are pooled together under the term “environment”.

The number of annual patent applications has declined over the last 5-year period (2012-2016) in Germany for all environmental technologies together (see Figure Z-5). This is a global trend, but is slightly more marked in Germany. Climate protection technologies are influential for this trend, also because they are important in terms of numbers. The dynamics of environmental technologies in Germany lag slightly behind the general technological trend when observed in the long term – recently, even more so. At the global level, too, the development of patent numbers in total has overtaken that of environmental technologies. Environmentally-friendly goods – i.e. goods specially designed to be “cleaner” in the sense of environmental protection – stand out with significantly more positive growth rates, both globally and in Germany, although slightly less so here.

Figure Z-5: Trend in patent applications in Germany and globally

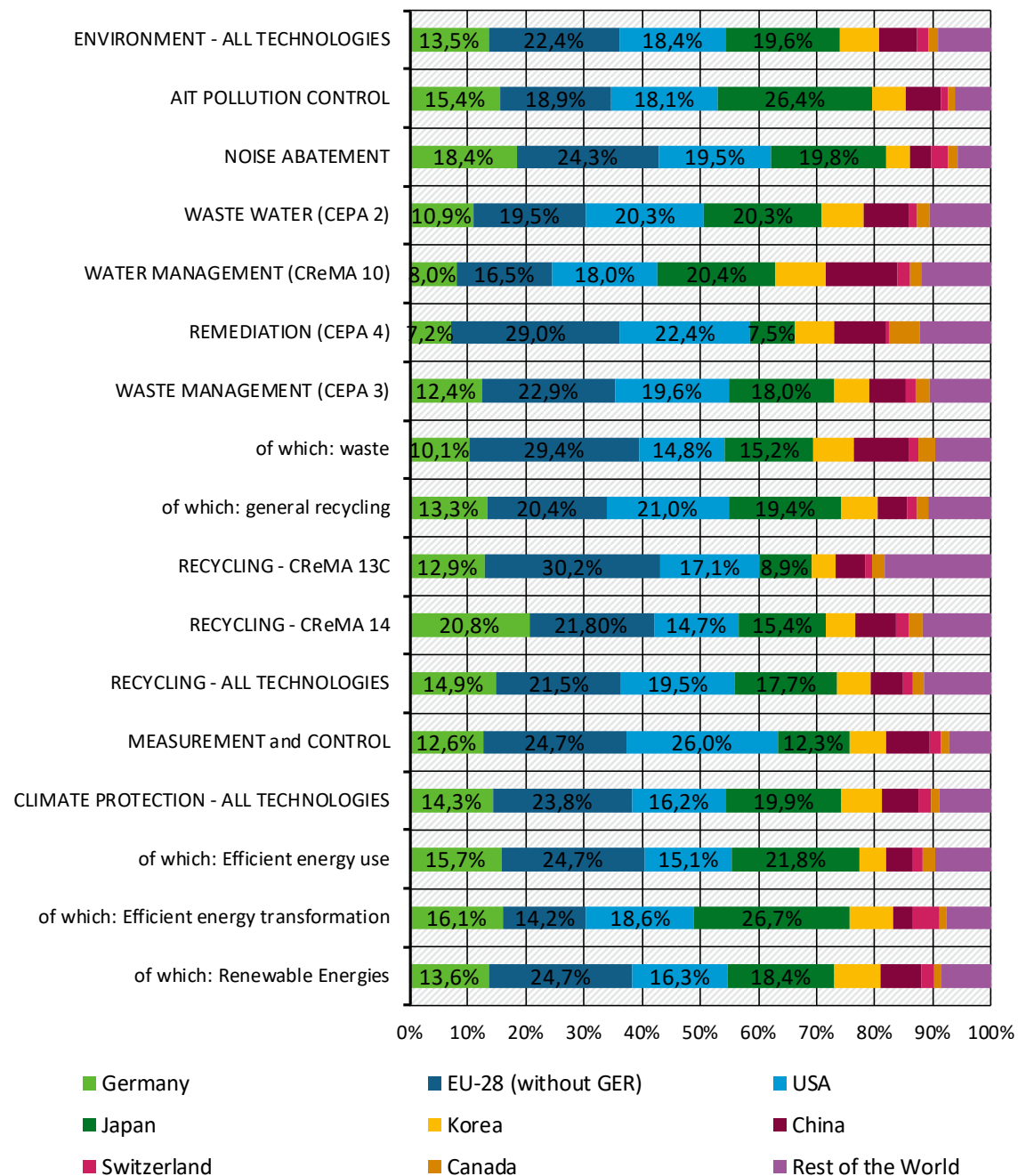


Source: Patstat 18s, Fraunhofer ISI calculations (* = estimates).

The patent shares of the last 5-year period indicate the current technology leaders. With 13.5 %, Germany ranks third behind Japan and the US when looking at environmental technologies in general (see Figure Z-6). This positive picture is slightly marred by the fact that Germany’s patent share has dropped significantly over time – it was still 18 % in the period 2002-2006. In a comparison of individual environmental fields, the recycling of metals and minerals stands out. Germany currently has the highest patent share here (apart from the other EU28 states together) – compared to other technology lines, but also compared to other countries in the same technology line. Germany is leading here, followed by Japan and the US. Germany also has a higher patent share in climate protection compared to the average of all environmental technologies; the field of efficient energy transformation performs particularly well here. However, Japan has the biggest share globally, and the US is also ahead of Germany. Looking at the figures in detail reveals the important role of South Korea and China, which have overtaken

all the European countries in climate protection apart from Germany. This is primarily due to their strong role in renewable energies. With a patent share of 16.2 %, Germany performs slightly better in environmentally-friendly goods than in environmental technologies. This picture is strongly influenced by the patents for battery and fuel cell vehicles, however, and cannot be generalized to all environmentally-friendly goods.

Figure Z-6: Patent shares of selected countries in environmental technologies* (2012-2016)



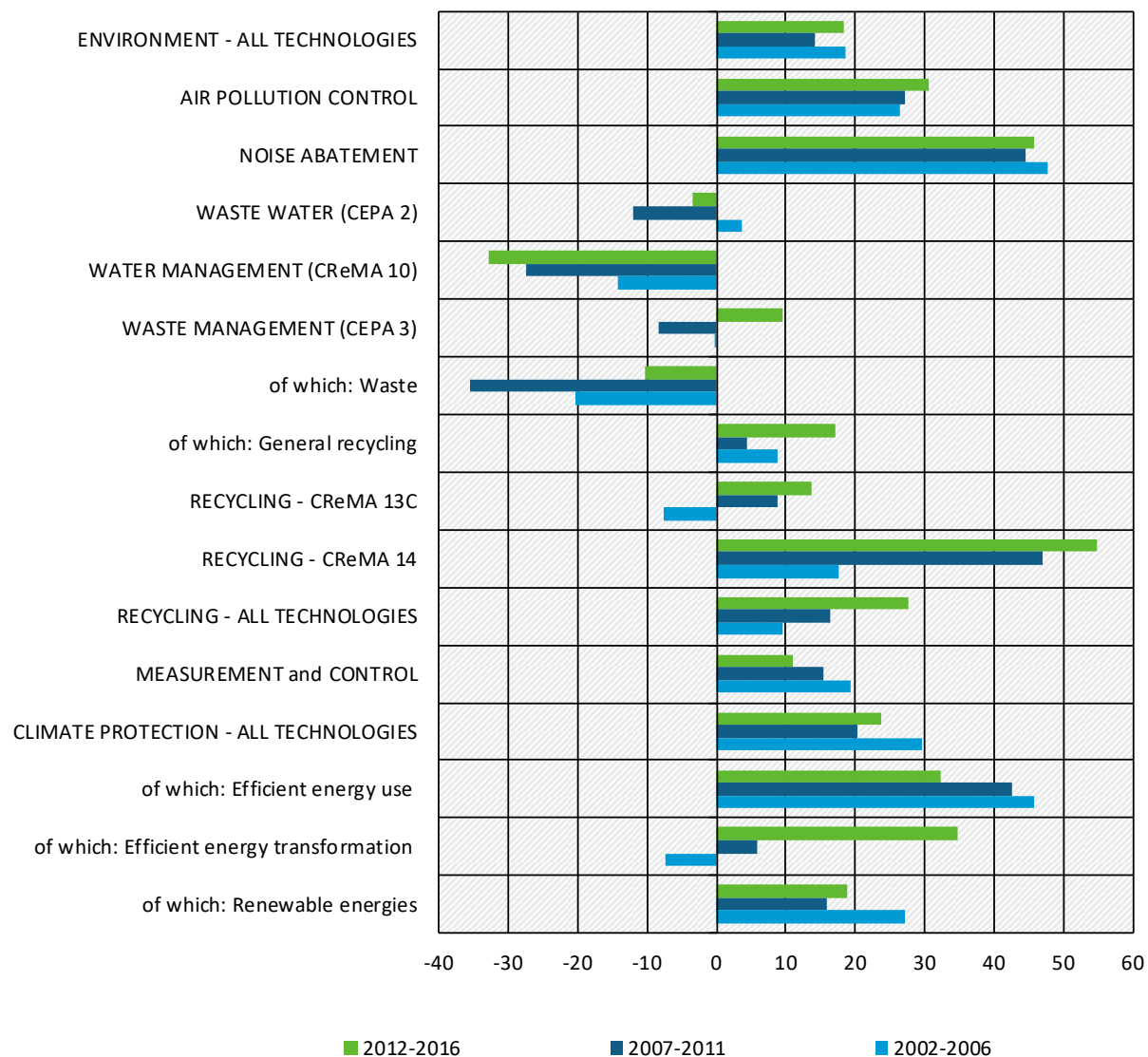
*CEPA 3 incl. "adapted goods"

Source: Patstat 18s, calculations by Fraunhofer ISI.

So far, we have compared Germany's patent shares between different technology lines and with other countries. Another benchmark is Germany's patent share in all technologies. In comparison to this, Germany's share in environmental technologies is higher. This represents a

specialization advantage in the knowledge base. The relative patent advantage (RPA), which captures this, is positive (see Figure Z-7). In the most recent 5-year period (2012-2016), this also applies to all the individual sub-fields with the exception of wastewater, water management and waste.

Figure Z-7: Germany's patent specialization in environmental technologies (RPA figures)



RPA = Relative patent advantage (specialization measure, assumes values between -100 and +100): positive (negative) values indicate specialization advantages (disadvantages). - CEPA 3 incl. adapted goods; CEPA 4 and CReMA 11 not evaluated statistically due to low absolute number of patents.

Source: Patstat 18s, Fraunhofer ISI calculations.

Patent indicators in environmental protection – the overall picture for Germany

Table Z 1 summarizes the main results from the patent analysis for the 5-year period 2012-2016. The following core conclusions can be drawn:

- **Environmental technologies:** Measured by its patent share, Germany is an important player within Europe and worldwide – ranked 1 in Europe and 3 behind the US and Japan. Admittedly, Germany has dropped almost a percentage point in its patent share compared to

the previous edition of this report (Gehrke et al. 2018), but this is less than for technologies overall, so that its specialization value has increased slightly. The decline in the annual patent applications for environmental technologies has slowed, but not yet become positive – as is the case for all technologies together.

- ▶ **Environmentally-friendly goods:** When looking at environmentally-friendly goods overall, it is clear that – unlike environmental technologies – patent numbers have increased and there is a higher patent share compared to environmental technologies, so that Germany's specialization advantages are even more apparent here. This finding is strongly dominated by battery and fuel cell vehicles. Therefore, there are limitations to its generalizability.
- ▶ **Circular economy:** The figures are slightly better for recycling technologies than for environmental technologies in general. The number of annual patent applications is also declining here, but less strongly than the average of all environmental patents. The patent share and specialization are much higher. In particular, the recycling of metal and mineral material streams stands out positively. In spite of the recently more muted dynamics, patent share and specialization are generally more positive in this sub-field than for recycling technologies in total. It may well be that intensified research support here (see section 3.2.1) is contributing to offsetting the dampening effects of the price drop for primary metals. For the holistic development of a circular economy that covers the product dimension as well and is not just reduced to recycling, environmentally-friendly goods in the recycling sector are especially relevant. The technological dynamics are still very modest here, but have recently accelerated. Germany's patent share and its RPA value are significantly lower than those achieved for environmental and especially for recycling technologies. This only sheds some light on the complex topic of the circular economy. Further research is required to cover this comprehensively in the patent analysis, taking into account the various phases of the product life cycle and the value added stages.
- ▶ **Climate protection:** Measured in absolute figures, climate protection is the biggest field among the environmental patents. Germany performs better here than the average of environmental technologies, with a higher patent share and RPA value. The patents for renewable technologies play an important role in terms of numbers. In Germany, they are roughly in line with the average for all environmental technologies. The most newsworthy observation is that the strong downwards trend since 2011 in the number of renewable energy patents both globally and in Germany seems to have almost come to a halt in the last two to three years, and positive growth rates are visible in some cases in Germany, driven mainly by developments in wind energy. Particularly positive developments are observed in efficient energy use, which has positive growth rates and, compared to other environmental technologies, an above-average patent share and RPA value.
- ▶ **“Classical” environmental protection:** air pollution control and noise abatement are some of the original core fields of environmental protection. Germany's performance here is still good to very good with especially high specialization advantages, even though the number of patent applications is declining. Another classical field is waste, but as an end-of-life

approach to environmental protection, this does not play a prominent role in Germany, which is reflected by the indicators.

Overall, therefore, a generally positive picture emerges in an international comparison and in comparison with the overall technological development. However, these indicators lag behind a country gearing its knowledge base stringently towards the challenges of sustainability and meeting the Sustainable Development Goals. Such a country would be expected to show stronger increases in the patent numbers of the individual environmental areas. Therefore, Germany still has the potential to commit its knowledge base to a greater extent to the transformation towards sustainability.

Table Z-1: Summary of the patent indicators for Germany (2012-2016)

	Growth rate (2012-2016)	Patent shares (2012 – 2016)	RPA* (2012 – 2016)
All technologies	0.4%	11.2%	(not defined)
Environment (all technologies)	-4.7%	13.5%	18
Air pollution control	-4.4%	15.4%	39
Noise abatement	-5.9%	18.4%	46
Wastewater (CEPA 2)	0.4%	10.9%	-3
Water management (CRema 10)	4.7%	8.0%	-33
Remediation (CEPA 4)	No info.	7.2%	-42
Waste management (CEPA 3)	-1.1%	12.4%	10
of which: waste	-9.1%	10.1%	-10
of which: general recycling	0.4%	13.3%	17
CRema 13C	-1.8%	12.5%	14
CRema 14	-5.1%	17.0%	55
Recycling (all technologies)	-3.1%	14.9%	28
Measurement and Control	7.8%	12.6%	11
Climate protection (all technologies)	-8.6%	14.3%	24
of which: Efficient energy use	2.9%	15.7%	32
of which: Efficient energy transformation	-4.1%	16.1%	35
of which: Renewable energies	-13.3%	13.6%	19
Adapted goods (a.g.)			
Environment (a.g.)	1.9%	16.2%	35
of which: Air pollution control (a.g.)	1.2%	18.1%	44
of which: Recycling (a.g.)	10.0%	8.9%	-23
of which: Renewable energies (a.g.)	No info	6.8%	(-46)

*Note: RPA = Relative patent advantage (specialization measure, assumes values between -100 and +100; positive values indicate specialization advantages); green = (positive and) above average of all environmental technologies, red = (negative and) below the average of all environmental technologies; no info, if the average annual number of applications are less than 20 during the 5 year period,

Source: Patstat 18s, Fraunhofer ISI calculations.

1 Einleitung

Angeichts global wachsender Einsicht in die Notwendigkeit nachhaltiger Entwicklung und ambitionierter ökologischer Zielsetzungen, werden Technologien, die zum Schutz von Klima und Umwelt beitragen, weltweit ein enormes Wachstumspotenzial zugesprochen. Die günstigen Wachstumsprognosen – Henzelmann et al. (2018) prognostizieren bspw. bis 2025 einen jahresdurchschnittlichen Zuwachs von 6,9 % – hängen nicht zuletzt auch damit zusammen, dass der verstärkte Einsatz dieser Technologien weltweit politisch gefördert wird. Dies gilt vor allem im Klimaschutzbereich³, der von immer mehr Staaten als gemeinsame Herausforderung anerkannt wird. Dies lässt sich u. a. in der Verabschiedung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (September 2015) sowie Fortschritten bei internationalen Klimaschutzabkommen festmachen.⁴ Nicht nur aus deutscher Sicht wird in der Entwicklung innovativer Umwelt- und Klimaschutzlösungen gleichzeitig die Chance gesehen, weltweit expandierende Marktpotenziale zu erschließen und damit Produktions- und Beschäftigungsmöglichkeiten im Inland zu generieren.

Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), das Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS)⁵ des Instituts für Wirtschaftspolitik der Leibniz Universität Hannover und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Projekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ mit der regelmäßigen Analyse und Fortschreibung verschiedener Indikatoren zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft beauftragt. Dabei geht es sowohl um die Innovationsfähigkeit (Forschung und Patente) als auch um die wirtschaftliche Bedeutung der Umweltwirtschaft in Deutschland sowie – wenn möglich – im internationalen Vergleich (Produktion, Umsatz, Beschäftigung, Außenhandel). Die Ergebnisse werden in verschiedenen thematisch abgegrenzten Studien veröffentlicht.

In diesem Bericht stehen Indikatoren zur Messung der technologischen Leistungsfähigkeit oder Innovationsfähigkeit der Umweltwirtschaft im Vordergrund, die sich auf den Forschungsinput (FuE-Ausgaben) sowie die Ergebnisse des Forschungsprozesses (Innovationen und Patente) beziehen.

Für die Messung des technologischen Wandels wird ein Portfolio komplementärer Indikatoren herangezogen (vgl. Grupp 1997, Johnstone et al. 2008). Der vorliegende Bericht konzentriert sich auf „Ressourcen“- oder „Input“-Indikatoren sowie Output-Indikatoren für den Forschungsprozess. FuE-Ausgaben gehören zu den gängigsten Ressourcen-Indikatoren. Letztere folgen der Logik, dass Investitionen in Wissensgenerierung getätigt werden müssen, um technischen Wandel hervorzubringen. Höhe und Verteilung von FuE-Ausgaben sind demnach ein wichtiges Charakteristikum eines Innovationssystems.

Abschnitt 2 liefert aus verschiedenen Perspektiven Daten und Analysen zu Forschung und Entwicklung sowie Innovationen im Umweltbereich. Im Mittelpunkt von Abschnitt 2.1 stehen international vergleichende Auswertungen zu öffentlichen Haushaltsansätzen für Umweltschutz- und Energieforschung einerseits, sowie ein vertiefender Blick auf die

³ Bis Ende 2017 hatten mindestens 179 Länder nationale energiepolitische Ziele für die Förderung erneuerbarer Energieträger formuliert; mindestens 157 Länder hatten sich ein oder mehrere Energieeffizienzziele gesetzt und dafür jeweils unterschiedliche Politikmaßnahmen eingeführt. Zudem haben viele Länder ihre Ziele im Laufe der Zeit nach oben gesetzt (REN 21 2018).

⁴ So haben sich die Klimakonferenz-Staaten mit dem Paris-Protokoll von 2015 weltweit darauf geeinigt, die Klimaerwärmung auf höchstens zwei Grad gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter zu begrenzen. Jeder Staat muss Klimaschutzziele liefern, sie einhalten und regelmäßig nachbessern. Die Regeln dafür wurden auf der UN-Weltklimakonferenz 2017 in Bonn vorbereitet und Ende 2018 in Kattowitz verabschiedet.

⁵ Das CWS hat beginnend mit den Vorgängerstudien (Gehrke et al. 2018, Gehrke, Schasse 2017) die früheren Arbeiten des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (NIW) unter Leitung langjährig erfahrener Mitarbeiter fortgesetzt.

öffentlichen Ausgaben für FuE- und Demonstrationsprojekte in zukunftsorientierten Energietechnologien andererseits. Abschließend folgt ein Überblick über grundlegende Trends und Entwicklungen der Forschungsförderung in Deutschland. In Abschnitt 2.2 werden Ergebnisse aus verschiedenen Datenquellen und Studien zu FuE und Innovationen für Umweltschutz in Unternehmen vorgestellt.

Eine Einschränkung von Ressourcen-Indikatoren wie FuE-Ausgaben liegt darin, dass sie zwar wichtige Voraussetzungen für technisch-wissenschaftliche Innovationen darstellen, aber für sich genommen nichts über den Erfolg und die Ergebnisse der finanzierten Forschung aussagen. Deshalb ist die zusätzliche Betrachtung von Indikatoren auf der Output-Seite des Forschungsprozesses sinnvoll. Im vorliegenden Bericht wird auf Patentdaten abgehoben. Patentgeschützte Erfindungen zeigen das Ergebnis von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und werden häufig zur Charakterisierung des Innovationsgeschehens herangezogen. Patente weisen auf Fortschritte in Forschung und Entwicklung hin, von denen eine kommerzielle Anwendung möglich scheint. Sie bilden damit eine Brücke zwischen den Ressourcen-Indikatoren wie FuE-Ausgaben und den sogenannten Fortschrittsindikatoren, die Innovationen anhand von Marktergebnissen zu erfassen suchen, so z. B. mit Außenhandelsdaten (vgl. Gehrke, Schasse 2017). In Abschnitt 3 wird mit Hilfe einer international vergleichenden Patentanalyse untersucht, wie sich die Dynamik des Patentgeschehens in der Umweltwirtschaft und ihren Teilmärkten entwickelt und wie die deutsche Position auf diesen Technologiefeldern zu bewerten ist.

Eine Herausforderung, der sich die Arbeit mit verschiedenen Datenquellen gegenübersteht, liegt darin, die relevanten Themen- und Technologiefelder innerhalb der verschiedenen statistischen Klassifikationen abzugrenzen. Dies führt u. a. dazu, dass die Umweltteilbereiche, die in den Abschnitten 2 und 3 dieses Berichts verwendet werden, nicht ganz deckungsgleich definiert werden können. Daraus ergibt sich eine gewisse Unschärfe für die Interpretation, wenn ein Zusammenhang zwischen den FuE- und den Patentdaten gesucht wird. Insbesondere sei auf folgende Abgrenzungsunterschiede hingewiesen:

- Im Abschnitt 3 (Patentanalyse) werden unter der Bezeichnung „Umwelt“ alle analysierten Umweltbereiche subsumiert. Diese schließen auch Klimaschutztechnologien ein. Letztere umfassen vor allem Energietechnologien, nämlich die Bereiche *Rationelle Energieerzeugung*, *Rationelle Energieverwendung* sowie *erneuerbare Energiequellen*. *Nuklearforschung* und *Strahlenschutz* bleiben unberücksichtigt, sind jedoch Teil der in Abschnitt 2 untersuchten Quellen zur Abbildung von FuE für Umwelt und Energie.
- In den staatlichen Mittelzuweisungen für FuE nach sozioökonomischen Zielen im internationalen Vergleich werden die Ziele *Umweltschutz* und *Energie* separat erfasst (Abschnitt 2.1). FuE-Ausgaben für den Energiebereich sind also nicht in den FuE-Ausgaben für Umweltschutz enthalten. Bei den Energie-FuE-Ausgaben wird zum Teil nach einzelnen Forschungsfeldern differenziert. Die Kategorie „zukunftsorientierte Technologien insgesamt“ ist in der Abgrenzung grob vergleichbar mit „Klimaschutz“ bei der Patentanalyse, der Teilbereich Erneuerbare Energien dürfte sich dabei am engsten in den FuE und Patentstatistiken entsprechen.
- In der Umweltforschungsdatenbank (UFORDAT) sind Umweltbereiche enthalten, die über die bei den Patenten verwendete Abgrenzung hinausgehen (z. B. Landwirtschaft, Umweltrecht, Umweltökonomie, Gentechnik, Strahlenschutz, vgl. Abschnitt 2.1.3). Da die

Analyse jedoch eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Umweltbereichen ermöglicht, lassen sich im Hinblick auf die vergleichbaren klassischen Forschungs- und Technologiefelder *Abfall*, *Wasser*, *Luft* und *Lärm* sowie den *Energiebereich* durchaus Querbezüge zur Patentanalyse herstellen.

- Die von Eurostat definierten Schlüsselaktionsfelder im Energiebereich (vgl. Abschnitt 2.2.2) sind eher anwendungs- als technologiebezogen orientiert, so dass sich hier nur bedingt Querbezüge zu den vorgelegten Patentanalysen ziehen lassen.

2 Forschung und Entwicklung für den Umweltschutz

In Abschnitt 2.1 werden zunächst verschiedene amtliche und halbamtliche Datenbanken zu öffentlichen FuE-Aufwendungen für Umweltschutz- und Energieforschung im internationalen Vergleich ausgewertet und von einem kurzen Blick auf die Forschungsförderung in Deutschland abgerundet. In Abschnitt 2.2 werden dann einzelne verfügbare Datenquellen und Ergebnisse zu FuE und Innovationen von Unternehmen im Umweltschutzbereich präsentiert. Hierzu ist die Datenlage jedoch sowohl in Deutschland als auch im internationalen Vergleich weiterhin sehr unbefriedigend, weil die verfügbaren Studien teils ausschließlich auf ausgewählte Technologien im Energiebereich abzielen, methodisch nicht vergleichbar sind, teils nicht unkritisch sind sowie oftmals nur Querschnitte betrachten und deshalb keine Zeitreihenuntersuchungen zulassen.

2.1 Staatliche Aufwendungen und Förderung von Umweltschutz- und Energieforschung im internationalen Vergleich

Im Folgenden werden zunächst die staatlichen Ausgaben für Umweltschutz- und Energieforschung analysiert (Abschnitt 2.1.1). Diese sind ein Indiz dafür, inwieweit über die Marktchancen hinaus durch die staatliche Innovationspolitik ökonomische Impulse zur Technologieentwicklung in diesen Bereichen gegeben werden, um Vorsorgeaufgaben zu erfüllen (EEA 2014, IEA 2019). Denn staatliche FuE-Aufwendungen werden gemäß der klassischen Innovationstheorie vor allem zur Finanzierung risikoreicher Grundlagen- und vorwettbewerblicher Forschung eingesetzt, für die private Mittel aus der Wirtschaft nicht bzw. nur in unzureichendem Ausmaß zur Verfügung stehen (vgl. Griliches 1980). Umweltschutz und Energieversorgung finden sich in den als Datenquelle genutzten OECD-Statistiken zu den staatlichen FuE-Ausgabenansätzen im internationalen Vergleich in einer Liste neben anderen öffentlichen Gütern wie Gesundheit oder Verteidigung wieder.

Des Weiteren erlauben die Datensammlungen der Internationalen Energieagentur (IEA) einen vertiefenden Blick auf die in den öffentlichen Haushalten vorgesehenen Ausgaben im Energiebereich für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte (Energy Technology RD&D Budgets).⁶ Abweichend von der OECD-Statistik wird dort eine Unterteilung der Energieforschung in sieben Teilsegmente vorgenommen. Damit ist es möglich, zwischen Mitteln für zukunftsweisende Technologien (Energieeinsparung, Energieeffizienz, Erneuerbare Quellen), fossile Energieträger (Kohle, Gas, Öl) und Nuklearenergie zu unterscheiden (Abschnitt 2.1.2). Auf diese Weise lässt sich ein grober Überblick über die weltweiten Strukturen und Entwicklungen in diesem Forschungsfeld geben, welches angesichts der globalen Herausforderungen im Klimaschutzbereich überall in den Fokus gerückt ist. In Abschnitt 2.1.3 wird dann kurz auf aktuelle Trends der deutschen Forschungsförderung im Umweltschutzbereich eingegangen. Auf eine ausführlichere Analyse analog zu den Vorgängerstudien (zuletzt Gehrke et al. 2018) wird an dieser Stelle verzichtet, weil die verfügbaren Projektdaten für 2017 bisher erst in Teilen nach Umweltbereichen klassifiziert vorliegen.

2.1.1 Staatliche FuE-Ausgabenansätze für physische Umweltforschung und Energieforschung (OECD-GBAORD)

Dem Staat kommt bei der Entwicklung und dem Einsatz von Umwelttechnologien eine besondere Bedeutung zu. Einerseits setzt dieser mittels Normen und Standards der Umweltpolitik die Rahmenbedingungen für Innovationen und deren Diffusion. Andererseits hat

⁶ Die Informationen werden von der IEA jährlich von den zuständigen nationalen Stellen erfragt. Vgl. dazu ausführlich IEA (2011).

der Staat gerade auf diesem Feld unabhängig von Fragen der technologischen Leistungsfähigkeit der Wirtschaft eigenständige umweltpolitische Ziele zu verfolgen. Auch diese Vorsorgefunktion kann Impulse für die technologische Leistungsfähigkeit der Wirtschaft setzen. Fortschritte in Wissenschaft und Forschung erweitern nicht nur die umweltpolitischen Optionen der Gesellschaft, sondern wiederum auch die technologischen Optionen der Unternehmen.

Die Analyse der staatlichen Unterstützung von FuE-Programmen für den Umweltschutz ist eine Möglichkeit, um das Gewicht abzuschätzen, das die einzelnen Volkswirtschaften dem Umweltschutz in ihrer Mittelverwendung als technologiepolitischem Ziel zuweisen (vgl. Legler, Walz u.a. 2006). In der international harmonisierten FuE-Statistik der OECD (Government Budget Appropriations or Outlays for R&D: GBAORD) werden die staatlichen Mittelzuweisungen für FuE nach sozio-ökonomischen Zielen aufgegliedert. Unter das Ziel „Umweltschutz“ fallen alle staatlichen FuE-Ausgabenansätze, die einer „unzerstörten physischen Umwelt“ dienen (Luft, Wasser, Abfall, Boden, Lärm, Strahlenschutz). Das Ziel „Energie“ umfasst dabei alle staatlichen FuE-Ausgaben, die die Produktion, Speicherung, Verteilung und rationelle Nutzung jeder Form von Energie betreffen.⁷ Allerdings geben diese Zahlen insofern ein unvollständiges Bild, als dass sie nur die Programme und Projekte erfassen, die Umweltschutz zum Hauptzweck innehaben. Daher dürften diese Statistiken die staatlichen Anstrengungen genau dort unterschätzen, wo sich Fortschritte im Umweltschutz quasi als Nebenprodukt der technologischen FuE ergeben.

Im Jahr 2016⁸ lagen die staatlichen FuE-Aufwendungen der OECD-Länder für den Umweltschutz bei rund 5,5 Mrd. US-\$ und fielen damit etwas niedriger aus als im Jahr 2015, mit einem absoluten Spitzenwert von annähernd 5,9 Mrd. US-\$. Die bisher vorliegenden Länderinformationen für 2017 lassen allerdings darauf schließen, dass die Umweltschutzausgaben in diesem Jahr wieder deutlich und auch stärker ausgeweitet worden sind als die Forschungsausgaben insgesamt. Nachdem deren Anteil an den gesamten staatlichen OECD-Ausgaben für zivile Forschungszwecke von 2,2 % im Jahr 2015 auf 2,0 % im Jahr 2016 gesunken ist, kann für 2017 wieder von einem leichten Zuwachs (2,1 %) ausgegangen werden (vgl. Tabelle 1). Der relative Anteilsverlust in 2016 war insbesondere für die Gruppe der traditionellen EU-Länder (EU-15⁹, darunter v. a. Frankreich, aber auch Deutschland, Spanien, Italien und Dänemark) zu beobachten.

In den großen Überseenationen verlief die Entwicklung uneinheitlich. Während für die USA 2015/16 ebenfalls leichte Anteilsverluste zu verzeichnen waren, sind die Umweltforschungsmittel in Korea und Japan in den letzten Jahren überdurchschnittlich ausgeweitet worden. In Japan hat vor allem die Katastrophe von Fukushima (2011) zu einer deutlichen Niveauausweitung der staatlichen Umweltforschungsmittel geführt.¹⁰

⁷ Weitere explizit ausgewiesene Forschungsziele sind Gesundheit, Verkehr/Telekommunikation/andere Infrastrukturen, Landwirtschaft, Industrielle Produktion und Technologie, Politische und soziale Systeme, Weltraumforschung und -nutzung. Hinzu kommen Gelder für „Allgemeine Hochschulforschungsmittel für Grundlagenforschung“ sowie für „Nicht zielorientierte Forschung“, die jeweils die größten Einzelposten innerhalb der FuE-Budgets der Länder ausmachen, in Deutschland zusammengekommen fast 60 %. Deutschland setzt im Vergleich zum OECD-Mittel einen weiteren relativen Schwerpunkt bei industriellen Technologien, die USA und Großbritannien in der Gesundheitsforschung, die USA darüber hinaus noch in der Weltraumforschung, Japan bei Energietechnologien und Frankreich bei Verkehr/Telekommunikation/andere Infrastrukturen (vgl. dazu Schasse et al., 2018, Tab. 2.1.2).

⁸ Für 2017 liegen für mehrere Länder noch keine Informationen vor, sodass lediglich für die Berechnung der Indikatoren (Anteile an der gesamten staatlich geförderten Umweltforschung; Anteil am BIP) für die EU-15 und für die OECD insgesamt Schätzungen vorgenommen werden.

⁹ EU-15 steht für die Gruppe der EU-Länder vor der Erweiterung: Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg, Niederlande, Dänemark, Irland, Großbritannien, Griechenland, Portugal, Spanien, Österreich, Finnland, Schweden.

¹⁰ Es ist nicht auszuschließen, dass auch Ermessensspielräume bei der Zuordnung der Fördermaßnahmen zu einzelnen Zielbereichen (Gliederungskriterium ist der Hauptzweck der Projekte) zwischenzeitig zu Gewichtungsverlagerungen führen, ohne dass sich die staatlichen Forschungsstrukturen real verändert haben. Insofern geht die Analyse lediglich auf große Abstände zwischen den Anteilen einzelner Staaten bzw. starke Veränderungen im Zeitablauf ein.

Tabelle 1: Umweltforschung und Energieforschung in den staatlichen FuE-Budgets der OECD-Länder 2000 bis 2017

Land	Umweltforschung							Energieforschung						
	Anteil staatlicher Umweltforschungsausgaben an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben in %					Anteil staatl. Umweltforschungsausg. am BIP in %		Anteil staatlicher FuE-Ausgaben für Energie an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben in %					Anteil staatl. FuE-Ausg. für Energie am BIP in %	
	2000	2008	2015	2016	2017	2000	2017	2000	2008	2015	2016	2017	2000	2017
GER	3,6	3,2	3,0	2,8	3,0	0,26	0,26	3,7	3,9	4,9	4,8	5,2	0,26	0,45
FRA ¹	2,2	2,9	3,6	1,6	n.a.	0,16	0,09	6,1	6,4	7,7	6,7	n.a.	0,45	0,40
GBR ¹	3,5	3,6	2,7	2,9	n.a.	0,14	0,13	0,7	1,0	3,0	3,5	n.a.	0,03	0,15
ITA ¹	2,3	4,1	2,6	2,5	n.a.	0,14	0,13	4,0	6,0	3,7	3,6	n.a.	0,24	0,18
BEL ¹	3,3	2,1	2,0	1,9	1,7	0,18	0,11	2,7	1,6	1,3	1,5	1,7	0,15	0,11
NED	3,5	0,4	0,7	0,6	0,6	0,26	0,04	3,5	2,5	2,4	2,2	2,8	0,26	0,19
DEN	2,7	2,4	2,1	1,7	1,2	0,20	0,11	1,8	4,9	3,3	1,9	2,3	0,13	0,21
IRL ¹	0,4	1,3	1,0	2,3	n.a.	0,01	0,06	0,0	3,0	1,0	0,9	n.a.	0,00	0,02
GRE ¹	5,0	1,2	3,1	2,6	n.a.	0,15	0,14	1,9	9,0	1,9	2,2	n.a.	0,06	0,12
ESP ¹	5,4	5,5	3,8	3,6	n.a.	0,24	0,20	4,2	3,9	2,6	2,8	n.a.	0,18	0,15
POR	4,5	1,7	4,8	4,7	4,6	0,24	0,17	0,9	0,8	2,4	2,3	2,3	0,05	0,08
SWE	1,5	1,7	1,5	1,6	1,4	0,09	0,11	6,2	4,0	4,2	4,7	4,4	0,38	0,34
FIN	2,3	1,5	1,1	2,4	2,6	0,22	0,21	5,5	9,0	9,0	3,9	3,0	0,51	0,25
AUT	1,5	1,6	0,7	0,8	0,9	0,09	0,07	0,5	0,9	3,4	3,4	3,3	0,03	0,26
EU-15	3,1	3,2	2,7	2,4	2,5	0,19	0,15	3,8	4,2	4,4	4,1	4,3	0,23	0,27
SUI ²	0,2	0,3	0,2	n.a.	n.a.	0,01	0,02	0,9	0,7	0,8	n.a.	n.a.	0,06	0,07
NOR	2,9	2,0	2,6	2,5	2,7	0,18	0,26	2,4	3,0	2,6	2,8	2,7	0,15	0,26
ISL ³	0,5	3,6	0,6	0,5	0,0	0,05	0,00	2,0	1,5	0,1	0,7	0,3	0,18	0,02
CZE	3,3	2,9	2,3	2,1	2,6	0,16	0,17	1,7	3,1	4,5	4,8	4,9	0,08	0,32
POL ¹	n.a.	3,4	6,8	4,6	n.a.	n.a.	0,07	n.a.	2,4	2,0	1,5	n.a.	n.a.	0,05
SVK	n.a.	3,1	2,9	1,8	2,5	0,05	0,08	n.a.	2,2	1,7	0,7	1,3	0,05	0,05
HUN ¹	n.a.	3,5	2,2	3,5	n.a.	n.a.	0,14	n.a.	2,1	3,1	3,6	n.a.	n.a.	0,14
EST ¹	n.a.	5,5	7,8	2,6	2,7	n.a.	0,17	n.a.	3,2	2,3	0,1	0,1	n.a.	0,00
CAN ²	4,8	4,5	3,9	n.a.	n.a.	0,23	0,19	4,7	6,2	6,1	n.a.	n.a.	0,23	0,29
USA	1,3	0,9	0,8	0,7	0,7	0,05	0,03	2,5	3,4	4,7	4,8	4,8	0,10	0,18
MEX	1,0	1,6	1,1	1,2	1,1	0,02	0,03	13,1	22,0	18,8	16,3	19,0	0,28	0,47
JPN	0,8	1,0	2,0	2,3	2,3	0,05	0,14	18,8	14,5	11,4	12,4	12,5	1,13	0,77
KOR ¹	4,7	3,1	2,9	3,1	n.a.	0,22	0,31	6,3	11,8	9,5	8,3	n.a.	0,30	0,83
AUS	3,2	3,2	4,1	4,0	4,1	0,16	0,15	1,7	4,1	5,0	6,2	6,8	0,08	0,24
NZL	n.a.	16,9	9,8	6,7	7,1	n.a.	0,37	n.a.	1,5	1,2	1,1	1,3	n.a.	0,07
OECD	2,2	2,3	2,2	2,0	2,1	0,11	0,10	5,7	6,0	6,0	5,8	6,0	0,28	0,30

1) 2016 statt 2017; 2) 2015 statt 2017; 3) 2014: Bruch in der Zeitreihe - EU-15 für 2017, OECD insgesamt aufgrund fehlender Länderwerte für mehrere Jahre geschätzt.

Quelle: OECD, Research and Development Statistics, Datenstand 31.07.2018. - Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Dennoch genießt das Umweltschutzziel innerhalb der EU-15 im Rahmen der staatlichen FuE-Budgets mit 2,4 % (2016) noch immer höhere Priorität als im OECD-Durchschnitt (2,0 %). Dies lässt sich vor allem auf größere Länder wie Deutschland, Großbritannien, Italien und Spanien zurückführen, die allesamt überdurchschnittlich hohe Anteile aufweisen. Allerdings fällt der umweltschutzspezifische Anteil in den EU-15 bereits seit 2010 niedriger aus als im Verlauf des letzten Jahrzehnts (gut 3 %). Dies hängt vor allem mit der zunehmenden Gewichtungsverschiebung zugunsten von Energieforschung – gerade für erneuerbare Energieträger und Energieeffizienz – zusammen (vgl. auch Abschnitt 2.1.2.). Für 2017 ist schätzungsweise wieder mit einem leichten Zuwachs auf 2,5 % auszugehen, weil insbesondere Deutschland, aber auch Österreich und Finnland ihre physischen Umweltforschungsausgaben 2017 überdurchschnittlich ausgeweitet haben.

Aus deutscher Sicht ist damit der traditionell überdurchschnittlich hohe Anteil der staatlichen FuE-Aufwendungen für Umweltschutz von 2,8 % im Jahr 2016 auf 3,0 % im Jahr 2017 gestiegen (Tabelle 1). Im Jahr 2016 wiesen innerhalb Europas nur Spanien, Portugal, Polen sowie erstmals auch Großbritannien und Ungarn höhere Anteile an den staatlichen FuE-Budgets auf als Deutschland. Außerhalb Europas zeichnen sich Australien und Neuseeland durch klar überdurchschnittliche Prioritäten für physische Umweltforschung aus. 2016 fiel erstmals auch für Korea (3,1 %) der Anteilswert höher aus als in Deutschland (2,8 %). Demgegenüber werden vor allem in den USA (0,7 %) deutlich geringere Anteile staatlicher FuE-Mittel für Umweltforschung bereitgestellt, während Japan (2,3 %) mittlerweile aufgeschlossen hat (s. o.).

OECD-weit, vor allem aber bezogen auf die EU-15 und darunter auch Deutschland, ist seit Mitte des letzten Jahrzehnts eine klare Verschiebung zugunsten von Energieforschungsprojekten innerhalb der zivilen staatlichen FuE-Budgets festzustellen. In den EU-15 ist der Anteil der Energieforschung von 2000 (3,8 %) auf 3,1 % (2005) zunächst gesunken und in den Folgejahren bis auf 4,4 % im Jahr 2015 gestiegen (vgl. Tabelle 1). Demgegenüber ist der relative Mitteleinsatz für physische Umweltforschung von 2008 (3,1 %) bis 2015 (2,7 %) spürbar zurückgegangen. In Deutschland wurden im Jahr 2000 mit 3,6 % (Umwelt) bzw. 3,7 % (Energie) noch annähernd gleich hohe Anteile der staatlichen FuE-Budgets für Umwelt- und Energieforschung verausgabt. 2017 liegt der relative Mitteleinsatz für physische Umweltforschung noch bei rund 3 %, für Energieforschung hingegen bei 5,2 %.

Neben Deutschland hat das Umweltschutzziel in längerfristiger Sicht (seit 2000) vor allem in Großbritannien, Belgien, den Niederlanden, Dänemark, Griechenland, Spanien und in jüngerer Zeit auch in Frankreich und Österreich deutlich an Gewicht verloren. Nur Schweden, Italien, Portugal, Irland und Finnland haben ihre spezifischen FuE-Mittel gegen diesen Trend gehalten oder gar überdurchschnittlich ausgeweitet.

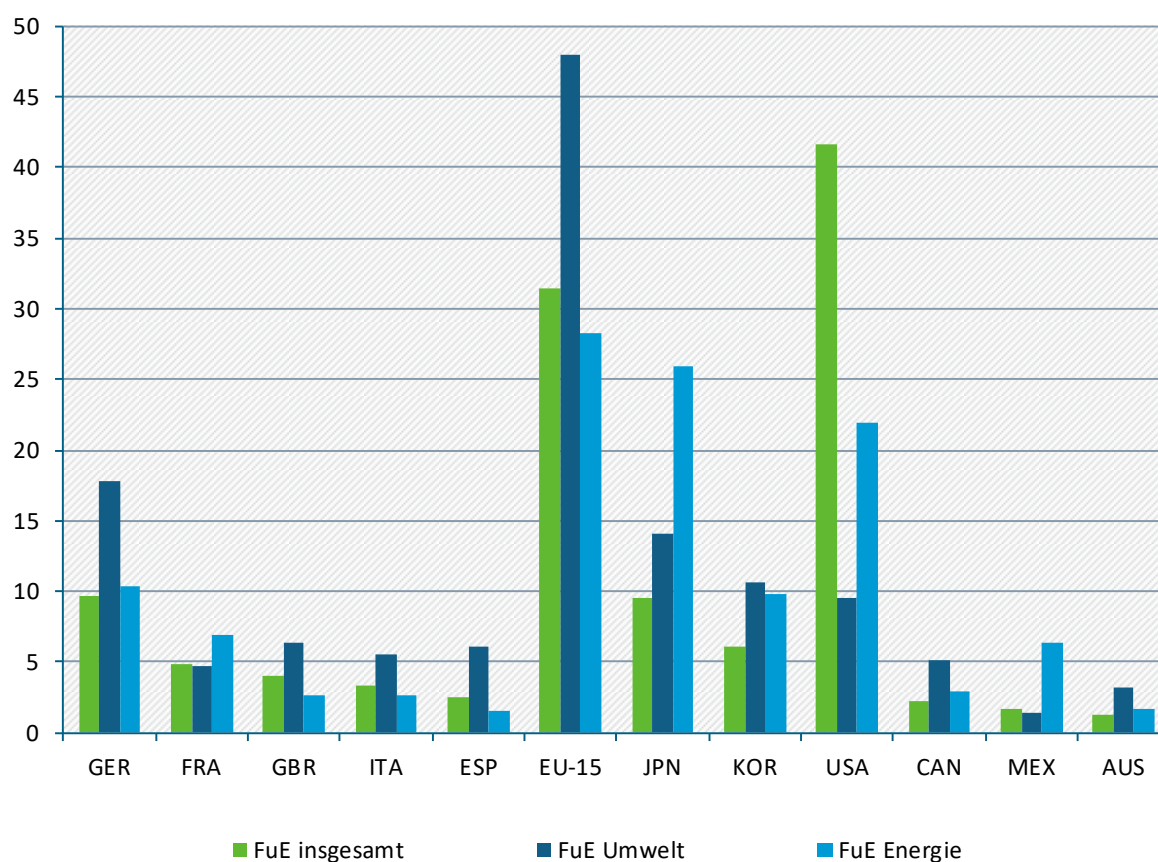
Die unterschiedliche Gewichtung von Umwelt- und Energieforschungszielen innerhalb der Länder wird noch deutlicher, wenn man die spezifischen staatlichen Forschungsausgaben in Relation zum jeweiligen Bruttoinlandsprodukt (BIP) setzt. Denn der Bezug auf das gesamte zivile FuE-Budget blendet die großen grundsätzlichen Differenzen im Engagement der einzelnen Länder in der Finanzierung von FuE aus.¹¹ Auf den ersten Blick finden sich die Niveauunterschiede zwischen den Volkswirtschaften zwar auch beim Anteil der Umweltforschungsausgaben am BIP wieder (Tabelle 1). Bei genauerer Prüfung zeigen sich allerdings durchaus Abweichungen vom bisherigen Muster. Deutschland liegt bezogen auf diesen Indikator sowohl bei den Umweltschutzausgaben (2017: 0,26 ‰) als auch bei den Ausgaben für Energieforschung (2017: 0,45 ‰) EU-weit an der Spitze. In Hinblick auf physische Umweltforschung erreichen bei diesem Indikator neben Deutschland lediglich Finnland und

¹¹ Vgl. dazu z. B. ausführlich Legler, Krawczyk (2009).

Spanien Anteile über dem EU-15-Durchschnitt (0,15 ‰). Im Hinblick auf die Energieforschung gilt dies neben Deutschland nur mehr für Frankreich und Schweden (EU-15: 0,27 ‰). Alle anderen EU-15-Länder fallen hingegen deutlich zurück.

Bezogen auf physische Umweltforschung erreichen außerhalb der EU-15 lediglich Norwegen, Korea und Neuseeland ähnlich hohe oder höhere Ausgabenanteile am BIP als Deutschland (Tabelle 1). Die USA liegt mit einer Quote von 0,03 ‰ zusammen mit Mexiko, der Schweiz und den Niederlanden am Ende der Rangordnung. Im Hinblick auf die Energieforschungsausgaben in Relation zum BIP ergeben sich die höchsten Quoten für Korea und Japan (mit jeweils rund 0,8 ‰). Lediglich Mexiko (0,47 ‰) weist einen ähnlich hohen Indikatorwert auf wie Deutschland.

Abbildung 1: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2016 in %: Umwelt, Energie und insgesamt



2016 oder letztes verfügbares Jahr.

Quelle: OECD, Research and Development Statistics. Datenstand 31.07.2018. – Berechnungen und Schätzungen des CWS

Abbildung 1 zeigt die Anteile der EU-15 sowie ausgewählter Länder an den OECD-weiten staatlichen FuE-Budgets für Umweltforschung und für Energieforschung im Vergleich zu ihren jeweiligen Anteilen am gesamten staatlichen FuE-Aufkommen im Jahr 2016.¹² Auf Deutschland entfielen in diesem Jahr fast 18 % der OECD-weiten staatlichen FuE-Ausgaben für den Umweltschutz. Dieser Anteil ist fast doppelt so hoch wie der deutsche Anteil an den gesamten staatlichen FuE-Ausgaben der OECD (9,7 %) und auch deutlich höher als der deutsche Anteil an den OECD-weiten Aufwendungen für Energieforschung (10,3 %). Der Beitrag der EU-15 liegt bei

¹² Für das Jahr 2017 fehlen noch zu viele Ländermeldungen, als dass es sinnvoll wäre, hier Anteile einzelner Volkswirtschaften am „OECD- Gesamtwert“ zu berechnen.

fast der Hälfte (48 %) aller staatlichen OECD-Ausgaben für den Umweltschutz; auch dies ist bezogen auf ihren Anteil an allen FuE-Ausgaben (31,5 %) bzw. an der OECD-weiten staatlichen Energieforschung (28,3 %) ausgesprochen viel.

Umgekehrt wird in den USA und in Japan Energieforschung innerhalb der staatlichen FuE-Budgets deutlich höher gewichtet als Forschung für die physische Umwelt. Während in den USA jedoch beiden spezifischen Forschungszielen nur unterdurchschnittliche Priorität eingeräumt wird, ist Japan mittlerweile in beiden spezifischen Forschungsbereichen überdurchschnittlich vertreten. Im Energiebereich leistet Japan mit 26 % einen ähnlich hohen Beitrag zum OECD-Budget wie die EU-15. Dies ist vor allem auf die noch immer große Bedeutung des Atomstroms für die Energieversorgung und den daraus resultierenden hohen Mitteleinsatz für Nuklearforschung zu erklären.¹³ Allerdings ist auch in Japan in den letzten Jahren eine spürbare Verschiebung von FuE-Mitteln in Richtung erneuerbare Energiequellen und Energieeffizienz feststellbar (vgl. Abschnitt 2.1.2).

2.1.2 Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte im Energiebereich nach Trägern und Technologien (IEA-Statistik)

Im Folgenden werden staatliche Haushaltsansätze ausgewählter OECD-Länder für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich ausgewertet. Die Angaben werden von der Internationalen Energieagentur (IEA) bereitgestellt und beruhen auf Erhebungen bei öffentlichen Einrichtungen ihrer Mitgliedsländer.¹⁴ Während die weltweit stark verbreiteten staatlichen Fördermaßnahmen wie Einspeisevergütungssysteme, Quotenmodelle oder verringerte Steuersätze vor allem der Diffusion erneuerbarer Energien und damit der Erreichung bestimmter energiepolitischer Zielvorgaben dienen, soll die gezielte Förderung von FuE- und Demonstrationsprojekten die technologische Weiterentwicklung im Energiebereich parallel unterstützen.

Die IEA-Förderdaten ermöglichen hierzu einen differenzierten und langfristigen Einblick in die Ausgabenverteilung verschiedener Staaten für die Jahre 2000 bis 2017.¹⁵ Durch die Unstetigkeit bei der Bewilligung von Forschungs- und Demonstrationsprojekten kann es insbesondere bei kleineren Staaten allerdings zu großen Schwankungen zwischen den jährlichen Haushaltsansätzen kommen, sodass Entwicklungen in einem größeren zeitlichen Zusammenhang betrachtet werden sollten. Vor allem in den aktuelleren Jahren fehlt teilweise die Einordnung der Fördermittel in die Teilsegmente, wodurch strukturelle Anteilsverschieben auftreten.

Zunächst wird die Gewichtung zukunftsorientierter Energietechnologien (erneuerbare Energieträger, Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, Stromerzeugungs- und Speichertechnologien) gegenüber fossilen Energieträgern und der Kernenergie innerhalb der staatlichen Energieforschungsbudgets einzelner Länder bzw. Ländergruppen untersucht.¹⁶ Im Anschluss daran erfolgt ein vertiefender

¹³ Ähnliches gilt – wenngleich deutlich weniger ausgeprägt – auch für Frankreich, das einzige große europäische Land, in dem der Anteil der für Energieforschung verausgabten staatlichen Forschungsmittel höher ist als der Anteil für Umweltforschung.

¹⁴ Die Daten der IEA stehen frei zugänglich zum Download bereit (<https://www.iea.org/statistics/rdd/>). Da China kein IEA-Mitglied ist, stehen in der Datenbank keine Informationen zu den öffentlichen FuE-Mitteln für Energieforschung in China bereit. Nach Schätzungen der IEA ist China aber – gemessen an den absoluten öffentlichen Ausgaben für Energieforschung in der Spitzengruppe zu finden. Basierend auf Schätzungen aus nationalen Quellen geht die IEA (2018b) davon aus, dass rund 70 % der weltweit für Energieforschung verausgabten öffentlichen Mittel von den USA, China, Japan, Frankreich und Deutschland verausgabt werden.

¹⁵ Einen aktuellen Überblick über grundlegende Entwicklungen liefert IEA (2018d).

¹⁶ Die differenzierte Zuordnung der Energietechnologien findet sich in IEA (2018c).

Blick auf die Bedeutung und strukturelle Zusammensetzung bei erneuerbaren Energieträgern sowie bei Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz.

Strukturanteile und Wachstumsraten der Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten

Die in dieser Studie betrachteten hochentwickelten Länder durchlaufen seit der Jahrtausendwende einen Wandel hinwärts der Förderung zukunftsorientierter und nachhaltiger Energietechnologien. Hierzu zählt auch die Forschung zu Querschnittsthemen (cross-cutting), die „systematische Innovationen“ und nicht einzelnen Teilbereichen zugeordnete Grundlagenforschung beinhaltet.

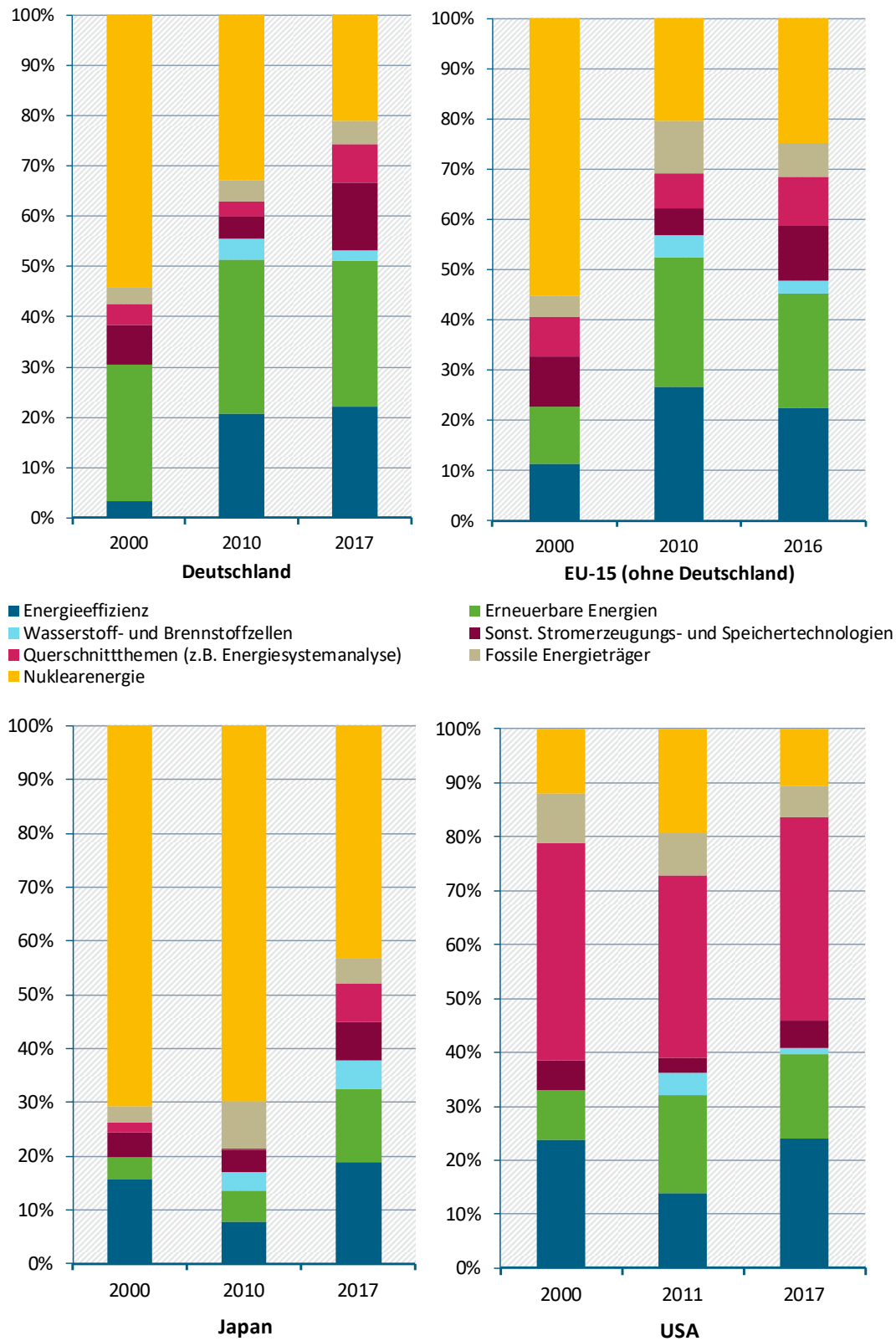
In Deutschland lag der Förderanteil der *zukunftsorientierten Technologien* im Jahr 2017 mit 74 % etwas höher als im Durchschnitt der übrigen EU-15 (68 %) und folgte seit 2000 durchweg einem positiven linearen Trend. Österreich, die skandinavischen Länder und vereinzelt jüngere EU-Mitgliedsstaaten nehmen hinsichtlich der Bedeutungsbeimessung zukunftsorientierter Technologien die weltweite Vorreiterrolle ein: Österreich erreicht seit 2009 einen Anteil von ca. 97 %. In Dänemark, Schweden und Finnland wurden in den vergangenen Jahren ebenfalls jeweils weit über 90 % der Energieforschungsbudgets in diese Teilbereiche investiert, wobei die Anteile für diese drei Staaten 2017 unter 90 % fielen. In Ungarn wird gar seit 2005 nahezu das gesamte Budget in zukunftsorientierte Technologien geleitet, und auch in der Slowakei und in Estland geht der Trend in dieselbe Richtung. Die Niederlande (88 %), Spanien (87 %) und Schweiz (85 %) folgen unmittelbar (Tabelle B. 1). Die USA investierten knapp 84 % ihres Budgets in nachhaltige Energieforschung, während Frankreich (50 %) bereits seit Mitte des letzten Jahrzehnts und Japan (52 %) seit 2011 spürbar aufholten. Nichtsdestoweniger ist gerade bei den bisherigen Vorreiterländern eine Stagnation oder gar Rückläufigkeit des Anteils für zukunftsorientierte Energietechnologien in den letzten zwei bis drei Jahren erkennbar.

Die Fokussierung auf einzelne Teilsegmente zukunftsorientierter Technologien unterscheidet sich zwischen den Staaten und verändert sich zugleich im Zeitverlauf. In Deutschland fließt seit 2009 knapp ein Drittel des Energieforschungsbudgets in *erneuerbare Energien*. Im Jahr 2017 belief sich der Anteil auf 29 % und war damit nur unwesentlich größer als zu Beginn der 2000er. Nach einem stetigen Anstieg hat sich der Anteil im Durchschnitt der übrigen EU-15 auf ca. 22,5 % eingependelt. Deutschland gehört damit weiterhin zu jenen Staaten, die einen vergleichsweise großen Schwerpunkt auf erneuerbare Energien legen.

Zeitversetzt, ungleich andauernd sowie unterschiedlich umfangreich stiegen und sanken die Investitionen der weiteren Mitgliedsstaaten im Bereich der erneuerbaren Energien (Tabelle B. 1). Großbritannien wendete bereits in den Jahren 2005 bis 2007 die Hälfte seines Energieforschungsbudgets für erneuerbare Energien auf, seit 2010 verzeichnete dieser Bereich im Mittel allerdings weniger als 20 %; dasselbe gilt für Schweden, welches 2010 noch auf einen Anteil von 45 % kam. In Österreich und Italien ist ebenfalls ein fortdauernder Rückgang zu erkennen, sodass 2017 nur noch ca. 16 % der Förderung in die Entwicklung erneuerbarer Energien gingen. Demgegenüber steht der positive Trend in den Niederlanden, wo trotz leichter Einbußen am aktuellen Rand noch immer mehr als 40 % diesem Segment zugutekamen. Frankreich baute die Förderung erneuerbarer Energien ebenfalls aus (17 %), wenngleich von einem äußerst geringen Niveau startend.

In den USA liegt der Förderanteil für erneuerbare Energien seit 2007 bei ca. 15 %. Auch Japan erreichte 2017 diesen Anteil, wenngleich dieses mit einem Rückgang seit 2011 (25 %) einhergeht. Zwischen 2000 und 2010 wurden in Japan allerdings nur durchschnittlich 5 % in diesem Bereich investiert. Korea hingegen hält seit 2009 einen vergleichsweise höheren Anteil (24-26 %).

Abbildung 2: Struktur staatlicher Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten 2000, 2010 und 2017



Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: November 2018. - Berechnungen des CWS.

Der Anteilsrückgang der erneuerbaren Energien innerhalb des energiebezogenen RD&D-Budgets in einigen Staaten ist durch den Ausbau des Segments der *Energieeffizienz* zu erklären, welcher in fast allen Ländern nunmehr die zweite große Säule der zukunftsorientierten Technologien darstellt. Gerade Deutschland und den anderen EU-Ländern wird es selbst mit einem sehr optimistisch gerechneten EE-Ausbau allein nicht gelingen, ihre ambitionierten Emissionsreduktionsziele zu erreichen. Innovative Technologien und Geschäftsmodelle können helfen, die kostengünstige Erzeugung von EE-Strom und dessen sektorübergreifenden Einsatz (insbesondere in Gebäuden, Verkehr und Industrie) zu forcieren und kostengünstige Potenziale für Energieeinsparungen sowie für Verbesserungen der Energieeffizienz zu erschließen (EFI 2019, Gatzert et al. 2019).

Für die Steigerung der Energieeffizienz werden in Deutschland seit 2009 rund 22 % der Forschungsausgaben für Energie veranschlagt. Dies entspricht seit 2013 auch exakt der durchschnittlichen Quote für alle übrigen EU-15-Staaten (Abbildung 2). Während die genannten Vorreiterländer nachhaltiger Energieforschung wie Finnland (45-60 %), Österreich (45 %), Schweden (40 %), sowie Norwegen und die Niederlande (jeweils $\frac{1}{3}$) den Mittelwert im Bereich der Energieeffizienz seit langem nach oben treiben, fiel die Förderung in Frankreich (16 %) und Italien (14 %) bisher deutlich weniger priorisiert aus. Dänemark und Großbritannien hingegen lagen 2017 im EU-15-Durchschnitt (22 %); ein etwas höherer Wert ergab sich auch für die Schweiz (25,6 %). Die USA platzierten in den vergangenen Jahren ca. 21 % ihres Energieforschungsetats im Bereich der Energieeffizienz, 2017 gar 24 %. Südkorea und Japan bauten diesen Arbeitsbereich stetig aus und erreichten 2017 mittlerweile ebenfalls einen Anteil von jeweils knapp 20 %.

Ungeachtet des fortwährenden nachhaltigen Trends gibt es bei den konventionellen Energieträgern dennoch gegensätzliche Entwicklungen. Während es insbesondere in Frankreich (2017: 6,7 %) und Großbritannien (2,3 %) zwischen 2010 und 2017 zu einer deutlichen Reduzierung der Förderung *fossiler Brennstoffe* kam, hatte dieser Bereich u. a. in Japan und Korea bis 2015 strukturell stetig hinzugewonnen, für 2016 zuletzt jedoch wieder abgenommen. Für Deutschland (4,5 %) ergaben sich im genannten Zeitraum keine nennenswerten Verschiebungen, während die USA im letzten Jahrzehnt noch Anteile von rund 10 % aufgewiesen hatten, seit 2012 aber zwischen Werten von 5,0 bis 7,5 % pendeln. Die übrigen Staaten der EU-15 investierten im Jahr 2017 im Mittel 6,7 % ihrer Etats in fossile Energieträger, 2010 waren es noch knapp 10 %. Für Italien beispielsweise ergab sich 2017 eine weit überdurchschnittliche Quote (17 %). Bedingt durch große Erdgas- und Ölvorkommen weist Norwegen eine abweichende Förderstruktur auf, die sich jedoch zunehmend zukunftsorientierten Technologien zuwendet: Wurden 2010 noch über 60 % des energie-bezogenen RD&D-Budgets in die fossile Energie geleitet, waren es 2017 nunmehr 34 %. Zwei Drittel des norwegischen Etats stehen neuerdings für nachhaltige Energieforschung zur Verfügung, wovon die Hälfte zur Verbesserung der Energieeffizienz eingesetzt wird.

Der auf die *Nuklearforschung* entfallende Anteil innerhalb der übrigen EU-15 hat sich zwischen 2000 und 2010 mehr als halbiert (von 55 % auf 20 %) und liegt seither beständig bei ca. 25 %. Die deutliche Abkehr von der Nukleartechnik gilt für alle einbezogenen europäischen Staaten, wobei Länder wie Frankreich, Großbritannien und Italien auf Grund ihrer großen Forschungsvolumina für die Gesamtentwicklung eine tragende Rolle innehaben. Wenngleich in Frankreich und Japan noch immer jeweils knapp die Hälfte der Energieforschungsetats für Nuklearenergie verausgabt wird, so entspricht dies dennoch einer Halbierung früherer Anteile. Für Deutschland ist eine stetige Anteilsreduzierung von 54 % (2000) auf 21 % (2017) festzustellen. Dennoch ist der deutsche Anteil im Ländervergleich weiterhin vergleichsweise hoch, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Nuklearforschung nicht nur auf Energieerzeugung

abzielt, sondern ebenfalls die nukleare Abfallwirtschaft und Umweltschutzmaßnahmen miteinschließt. In Italien und Großbritannien belief sich der Nuklearforschungsanteil 2017 auf 16 %; in Finnland, Spanien, Südkorea, den USA und der Schweiz auf rund 10 %, sowie in Dänemark, Norwegen und den Niederlanden auf ca. 5 %. Österreich und Schweden hingegen haben ihre öffentliche Forschungsförderung für Nuklearenergie beinahe eingestellt (Tabelle B. 1).

Die Abkehr von fossilen Energieträgern und der Kernenergie sowie die Zuwendung zu Strom aus erneuerbaren Energiequellen verlangt die Förderung innovativer Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, um die notwendige Flexibilität der Stromversorgung räumlich und zeitlich gewährleisten zu können. So ist der Ausbau batteriebetriebener Elektrofahrzeuge nur eine von vielen Anwendungsbereichen. Innerhalb der RD&D-Budgets wird zwischen Wasserstoff- und Brennstoffzellen sowie sonstigen Stromerzeugungs- und Speichertechnologien unterschieden. Deutschland gab 2017 ca. 13,5 % des Energieforschungsbudgets für *sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien* aus und damit mehr als je zuvor. Der Durchschnitt der übrigen EU-15 lag bei 11 %. Den weltweit größten Anteil für sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien hat seit mehreren Jahren Österreich inne (27 %). Aber auch andere Staaten, wie z. B. Italien, Spanien, Dänemark, Südkorea und die Tschechische Republik investieren diesbezüglich bereits über 20 % ihrer Forschungsetats. Die Schweiz (14 %) gibt diesem Bereich eine ähnliche Priorität wie Deutschland. Schweden, Finnland, die Niederlande und Großbritannien (2015/16) folgen mit einem Anteil von ca. 10 %. In Japan (7 %), den USA (5 %) und Frankreich (3,5 %) gewinnt diese Technologie von geringerem Niveau aus schrittweise an Bedeutung. Relativ wenig bedeutsam ist zurzeit die Erforschung und Entwicklung von *Wasserstoff- und Brennstoffzellen*. Wurden in den Jahren 2006/07 in nahezu fast allen west- und zentraleuropäischen Ländern ca. 7 bis 8 % des Energieforschungsbedarfs in diese Technologien gesteckt, hatten diese im Durchschnitt der übrigen EU-15 im Jahr 2017 einen Anteil von 2,6 %, in Deutschland sind es 2,2 %. Allein Dänemark (11,5 %), die Schweiz (7,4 %) sowie Japan und Korea (jeweils ca. 6 %) setzten innerhalb ihrer energiebezogenen RD&D-Budgets höhere Prioritäten für die Förderung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung.

Die USA sind hinsichtlich dessen Spezialisierung auf den Bereich der *Querschnittsthemen* (z. B. Energiesystemanalyse) unangefochtener Spitzenreiter. Die Nordamerikaner fördern dieses breite Forschungsfeld seit Jahren mit ca. 38 % ihres Forschungsetats. Seit kurzem setzt auch Ungarn (64 %) vermehrt auf Querschnittsthemen. Deutschland befindet sich mit einem derzeitigen Anteil von 8 % auf Augenhöhe mit anderen europäischen Staaten. Der Durchschnitt der übrigen EU-15-Staaten lag lange Zeit bei 7 %, kletterte 2017 allerdings auf 9,5 %. Maßgeblich am Anstieg beteiligt sind Großbritannien und Italien (bis zu 14 %), Schweden (12 %) und Frankreich (11 %). Noch wenig Aufmerksamkeit wird diesem Themenbereich in Dänemark, Norwegen, Spanien und den Niederlanden geschenkt (0-3 %), die stärker auf thematische Schwerpunkte setzen (Tabelle B. 1).

Die Berichterstattung wird ergänzt um die Betrachtung ausgewählter EU-Staaten aus dem *östlichen Mitteleuropa*, für die erst seit Ende des letzten Jahrzehnts entsprechende Informationen verfügbar sind. Die jeweilige Ausgabenverteilung dieser Länder für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte im Energiebereich unterscheiden sich deutlich voneinander.

Ungarn verwendet sein Energieforschungsbudget fast ausschließlich für zukunftsorientierte Technologien. Zwischen 2005 und 2012 kamen über 90 % der Verbesserung der Energieeffizienz zugute. Seither hat sich der Schwerpunkt, wie zuvor kurz angesprochen, auf die Erforschung von Querschnittsthemen verschoben (2017: 64 %). *Estland* hingegen fokussierte

seine Forschungsausgaben einerseits ebenfalls auf zukunftsorientierte Technologien, andererseits flossen zeitweise noch über 20 % in den Bereich der fossilen Energieträger. Für Estland stand zuletzt die Weiterentwicklung von Energieeffizienz im Vordergrund (83 %).

Eine stetige Abkehr von konventionellen Energieträgern erfolgte auch in der *Slowakei*. Während im Jahr 2008 noch ein Drittel des Energieforschungsbudgets zur Erforschung der Kernenergie aufgewendet wurde, lag dieser Anteil 2017 bei unter 10 %. Somit war bei zukunftsorientierten Technologien ein struktureller Gewichtungszuwachs von 60 auf 90 % in den vergangenen Jahren zu verzeichnen. Weit über 50 % waren dabei den erneuerbaren Energien zugerechnet.

In *Tschechien* hingegen sind die Strukturen noch vergleichsweise wenig zukunftsorientiert. So wurden zwar bis zu 60 % des Forschungsbudgets in nachhaltige Energietechnologien investiert, zugleich bestand aber auch ein Schwerpunkt auf der Nuklearenergieforschung. In *Polen* war der Trend zukunftsorientierter Technologien gar negativ. Deren Anteil ging von ca. 70 % (2009-2012) auf zeitweise unter 40 % zurück (2015/16). Demgegenüber entfielen ein Viertel der Mittel auf fossile Energieträger sowie 40 % auf den Bereich Kernenergie. Erst 2017 hat sich das Bild leicht zurück in Richtung nachhaltiger Energieforschung verschoben (Tabelle B. 1).

Gesamtwirtschaftliche Einordnung: in Relation zum BIP

Die öffentlichen Haushaltsansätze für Forschung und Entwicklung im Energiebereich weisen in den betrachteten Staaten unterschiedliche Größenordnungen auf. Zur besseren Einordnung werden die RD&D-Budgets in diesem Abschnitt in Relation zum nationalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) gesetzt, sodass die jeweilige gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Energie-forschung sichtbar wird. Bei der Erläuterung liegt der Fokus auf den zukunftsorientierten Energietechnologien (Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Wasser- und Brennstoffzellen, Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen). Abbildung 3 zeigt zur Veranschaulichung die durchschnittlichen relativen staatlichen RD&D-Budgets am BIP nach Forschungsfeldern für die Jahre 2015 bis 2017. Die Sortierung erfolgt anhand des Anteils für zukunftsorientierte Energietechnologien. Die Forschungsschwerpunkte und -größenordnungen unterscheiden sich hierbei stark zwischen den Staaten.

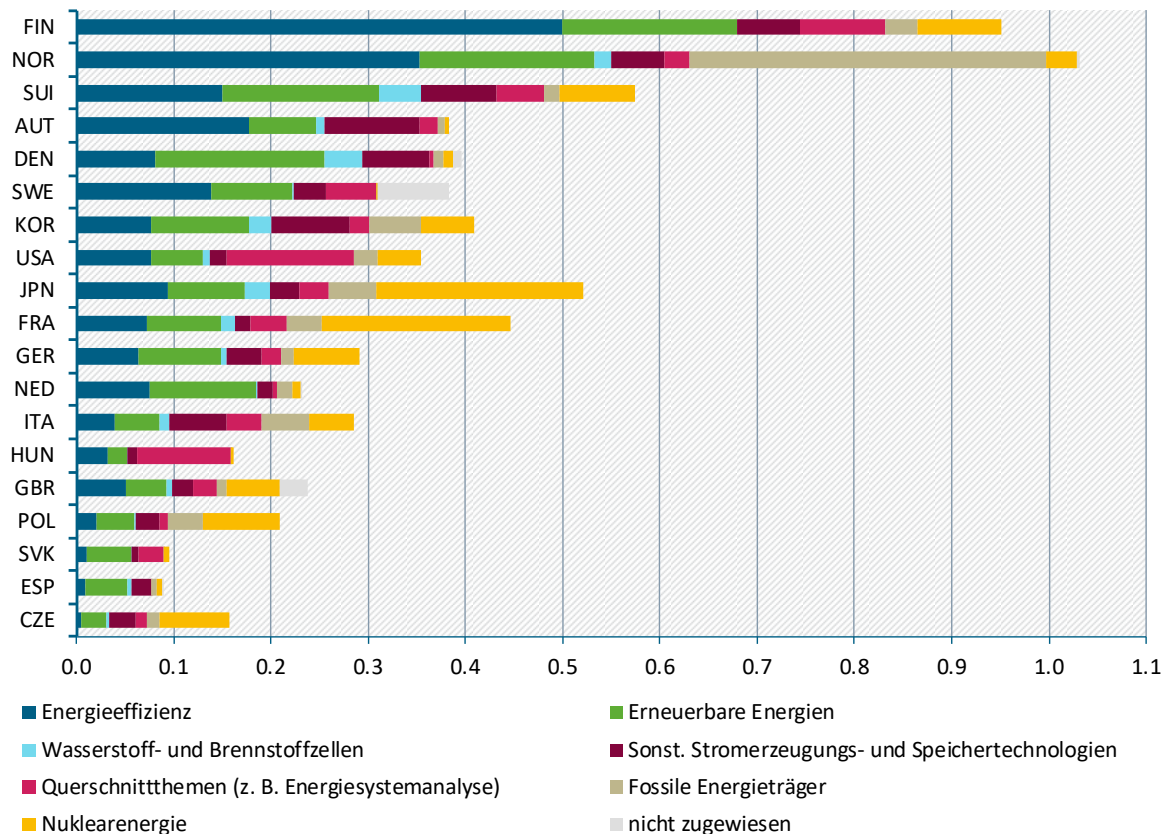
Die gegenwärtige Situation in Abbildung 3 ist das Resultat sehr unterschiedlicher Entwicklungsprozesse: Es lässt sich festhalten, dass die Volumina der Energieforschungsbudgets relativ zum BIP in den 2000ern zunächst in annähernd allen Staaten sukzessiv gestiegen sind. Seither allerdings zeigen sich in vielen Ländern stagnierende oder gar rückläufige Indikatorwerte. Im Jahr 2017 wurden laut IEA-Statistik in *Deutschland* insgesamt 754 Millionen Euro für zukunftsorientierte Energietechnologien veranschlagt, was auf einen Anteil von 0,23 Promille am BIP hinauslief.¹⁷ Damit war die Quote aus deutscher Perspektive nach zuvor vier Jahren Stagnation (0,20 ‰) erstmals wieder gestiegen. Im Vergleich zu vielen anderen Staaten fiel die deutsche Quote jedoch eher gering aus. Lediglich im Forschungsbereich der erneuerbaren Energien war Deutschland im internationalen Vergleich in der Spitzengruppe vertreten (0,09 ‰), hierbei insbesondere bei Solarenergie (Tabelle B. 1).

Die skandinavischen Länder *Finnland* (0,66 ‰) und *Norwegen* (0,64 ‰) nahmen 2017 bezogen auf diesen gewichteten Indikator gemeinsam die Spitzenposition ein – allerdings mit gegenläufiger Tendenz. So hatte *Finnland* in den Jahren 2009 bis 2015 Quoten von 1,00 ‰ bis 1,30 ‰ erzielt, wohingegen sich für *Norwegen* zuvor lange Zeit ein Wert von etwa 0,40 ‰ ergeben hatte. Ähnlich wie für Finnland zeigte sich auch in *Schweden* (0,30 ‰) und insbesondere *Dänemark* (0,26 ‰; bis 2014: 0,60-0,70 ‰) eine rückläufige Tendenz. Auf Augenhöhe mit den nordischen Staaten befand sich hingegen *Österreich*, welches seit 2010

¹⁷ Weitere 259 Millionen Euro gingen im Jahr 2017 in die Forschung von Nuklearenergie und fossilen Energieträgern (0,08 ‰/BIP).

knapp 0,40 ‰ des BIP für FuE- und Demonstrationsprojekte in zukunftsorientierten Energieforschungssegmenten veranschlagt. Im Nachbarland *Schweiz* haben sich die Prioritäten bei den Forschungsausgaben von zuvor 0,20 ‰ (2000-2010) auf nun 0,50 ‰ ebenfalls in Richtung dieser Felder verschoben (Tabelle B. 1).

Abbildung 3: Staatliche RD&D Budgets* 2015 bis 2017 in Relation zum BIP (in ‰)



*Absteigend sortiert nach dem Anteil zukunftsorientierter Energietechnologien (Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen). Den absoluten Spitzenwert hält Estland (2,32 ‰ – davon 1,80 ‰ zukunftsorientierte Energieforschung), kann aus Darstellungsgründen aber nicht abgebildet werden.

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: November 2018. - Berechnungen des CWS.

In Übersee veranschlagten die *USA* und *Südkorea* jeweils ein konstant hohes Niveau von 0,30 ‰ am BIP für zukunftsorientierte RD&D-Projekte. In *Japan* wurden die umfangreichen Energieforschungsausgaben hingegen stetig zurückgefahren, was jedoch gleichermaßen die nachhaltige Energieforschung (0,25 ‰) als auch die Kernenergie (0,21 ‰) betraf. *Frankreich* konnte die aktuelle Quote Deutschlands bereits 2009 (0,22 ‰) anschließen, allerdings ohne Anzeichen einer weiteren Ausweitung. Auch *Italien* liegt seit 2010 konstant in einem Bereich von um die 0,20 ‰. Dahingegen investiert *Großbritannien* bereits seit 2011 nur noch vergleichsweise wenig in diesen Bereich (0,15 ‰). Einzig *Spanien*, welches im Zuge der Wirtschaftskrise enorme Sparauflagen hinnehmen musste, und dahingehend sowohl Fördermaßnahmen zur Diffusion erneuerbarer Energien als auch die Mittel zur Forschungsförderung deutlich zurückgefahren hatte, wies 2017 eine noch geringere Quote für zukunftsorientierte Energieforschung auf (0,07 ‰, nach 0,26 ‰ im Jahr 2011) (vgl. Gehrke & Schasse 2017).

Ein Aushängeschild in Bezug auf die staatliche Förderung von zukunftsorientierter Energieforschung ist *Estland*. Estland investierte in den Jahren 2013 bis 2016 weit über 2,00 % des BIP in diesen Bereich. In den weiteren östlichen EU-Staaten waren Ausgaben für die zukunftsorientierte Energieforschung gemessen am BIP hingegen stark rückläufig. Während *Ungarn* dessen Forschungsausgaben zunächst stufenweise von 0,02 % (2000-2004) auf beachtliche 0,88 % (2008-2012) ausgebaut hatte, ergab sich für 2017 ein Anteil von 0,23 %. Vergleichbare Entwicklungen waren in Polen, Tschechien und der Slowakei beobachtbar. *Polen*, dessen Anstrengungen von einst 0,27 % (2011) stetig zurückgefahren wurden, wies 2017 einen stabilen Anteil um 0,10 % auf. *Tschechien* begann 2008 erstmals nennenswert zu fördern (0,12 %). Nachdem im Jahr 2011 ein Anteil von 0,17 % erreicht worden war, sank der Anteil auf derzeit 0,06 %. Das gleiche Bild in der *Slowakei*: Zunächst eine Ausgabensteigerung von 0,14 % (2008) auf 0,29 % (2013) am BIP, dann ein leichter Rückgang auf 0,22 % (2016) (Tabelle B. 1).

Strukturen und Entwicklungen innerhalb des Budgets für erneuerbare Energien und Energieeffizienz

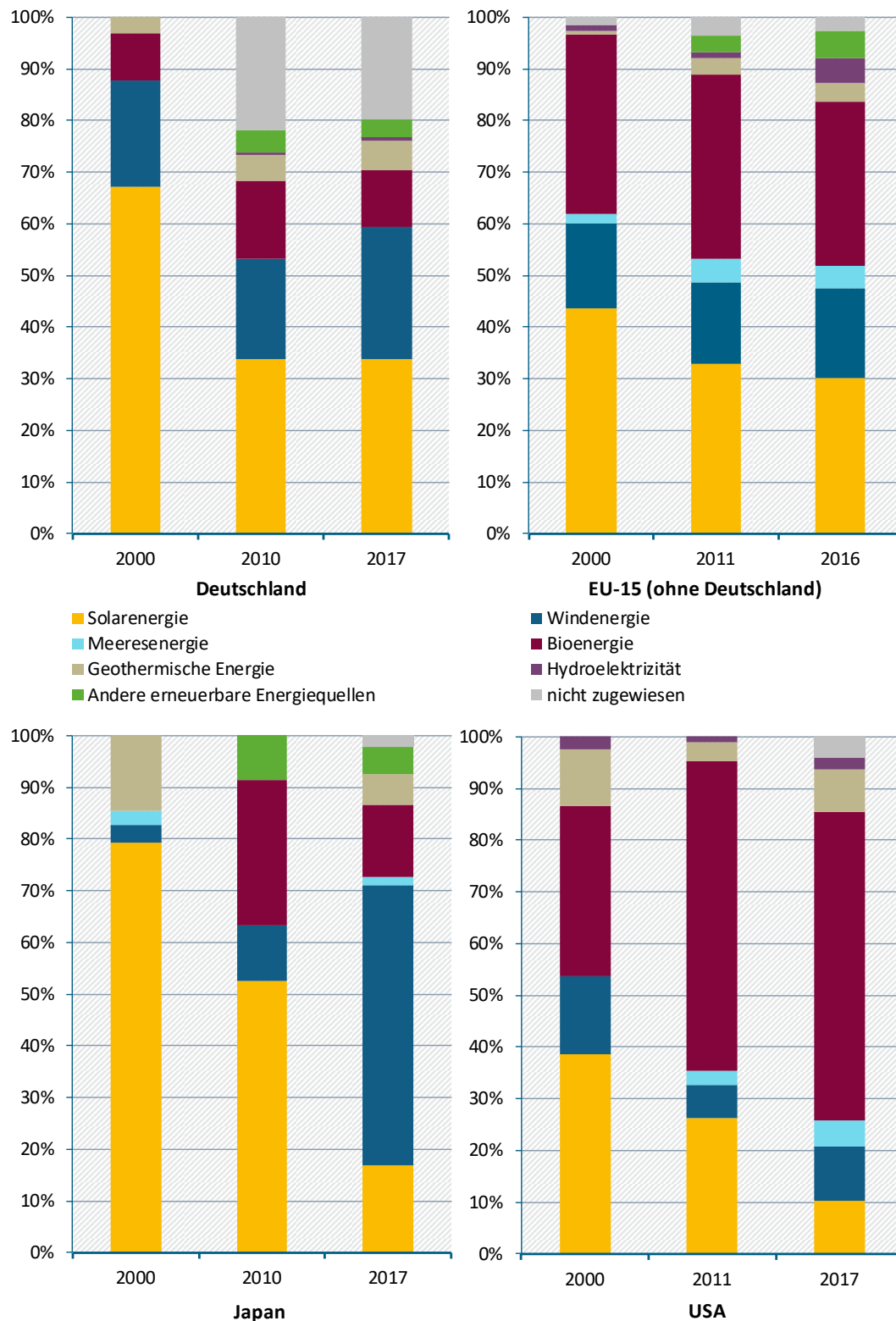
Der Forschungsbereich der *erneuerbaren Energien* ist ein wichtiger Bestandteil innerhalb der energiebezogenen RD&D-Budgets der Länder. Der Anteil dieses Bereichs hat sich in vielen Staaten seit einigen Jahren jedoch sehr unterschiedlich verändert. Eine zunehmend geringere Rolle spielten diese Energieträger gar in Norwegen, Schweden, Italien und Großbritannien. Eine gleichbleibende Wertschätzung erhielten die erneuerbaren Energien hingegen u. a. in Deutschland, Frankreich, Spanien, der Schweiz, Dänemark, den USA, Südkorea und den Niederlanden. Es haben allerdings strukturelle Anteilsverschiebungen zwischen den verschiedenen erneuerbaren Energieträgern stattgefunden (Tabelle B. 2).

Die Energieträger Solarenergie, Biokraftstoff und Windenergie sind in vielen dieser Länder die drei tragenden Säulen der Energieforschung im Bereich der erneuerbaren Energien. In Deutschland sowie im Durchschnitt der übrigen EU-15 kam seit 2009 knapp ein Drittel davon der *Solarenergie* zugute. Vor 2009 machte dieser Energieträger in Deutschland noch weit über die Hälfte des Budgets aus. Der Anteil für *Windenergie* an den erneuerbaren Energien in Deutschland pendelte sich bei ca. 20 % ein, wobei dieser 2017 auf über 25 % ausschlug. In der übrigen EU-15 waren im Windenergiebereich ebenfalls Schwankungen um einen Anteil von 15 % zu beobachten. Seit 2002 erreichen *Biokraftstoffe* in Deutschland (mit kleinen Abweichungen) einen Anteil des RD&D-Budgets für erneuerbare Energien von 13 bis 15 %. In Hinblick auf die restliche EU-15 gibt es hier einen gewaltigen Unterschied. Zwar investiert die übrige EU-15 anteilig zunehmend weniger in dieses Segment, dennoch machten Biokraftstoffe dort im Durchschnitt weiterhin ein Drittel des Forschungsbudgets für erneuerbare Energien aus (Abbildung 4).

Bei länderweiser Betrachtung zeigt sich, dass eine ganze Reihe an Staaten in den vergangenen Jahren keine gezielten Schwerpunkte innerhalb des Forschungsbereichs der erneuerbaren Energien aufgewiesen haben (Tabelle B. 2). Bei einzelnen Volkswirtschaften stellt sich die Situation jedoch anders dar bzw. haben sich bemerkenswerte Verschiebungen ergeben:

- So setzten die USA bis zu 60 %, sowie Frankreich, Schweden und Polen mit der Hälfte ihres RD&D-Budgets auf Biokraftstoffe. Eine hohe Gewichtung erhielt die Bioenergieforschung ebenfalls in Ungarn, Tschechien, Finnland und den Niederlanden. Österreich förderte die Forschung in diesem Segment sehr gezielt (2004-2008: 70-80 %), konzentriert sich neuerdings aber zu gleichen Teilen auf Solarenergie und Biokraftstoffe (ca. 40 %).

Abbildung 4: Struktur der Energieforschungsbudgets bei erneuerbaren Energien nach Teilsegmenten 2000, 2010 und 2017



Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: November 2018. - Berechnungen des CWS.

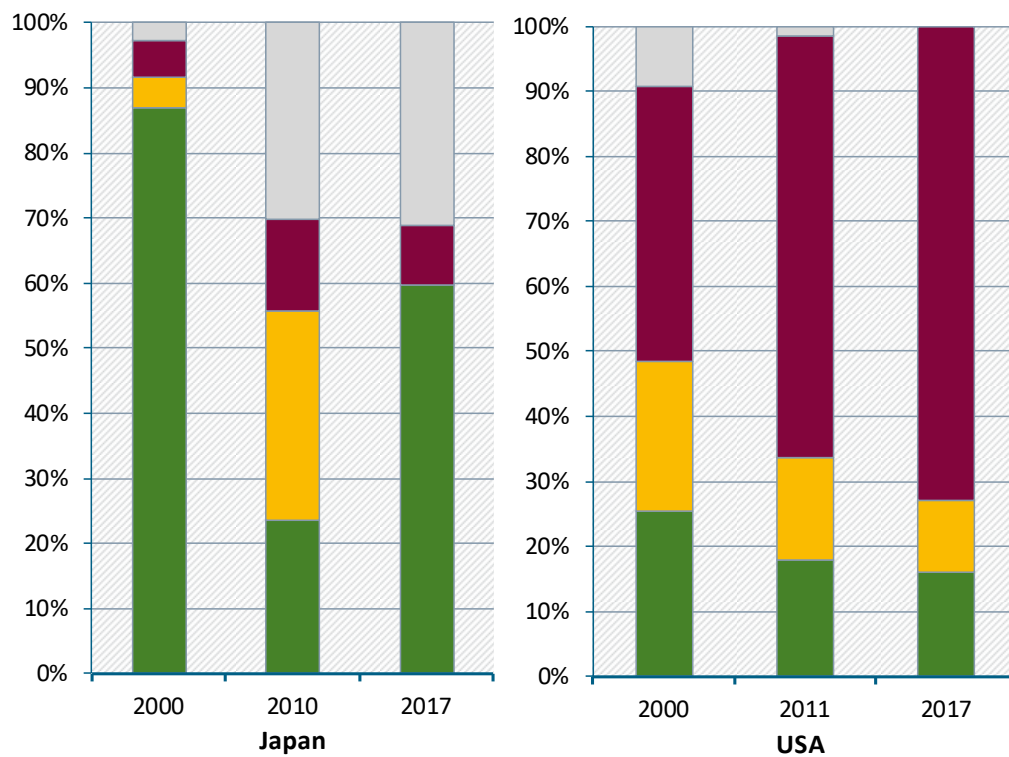
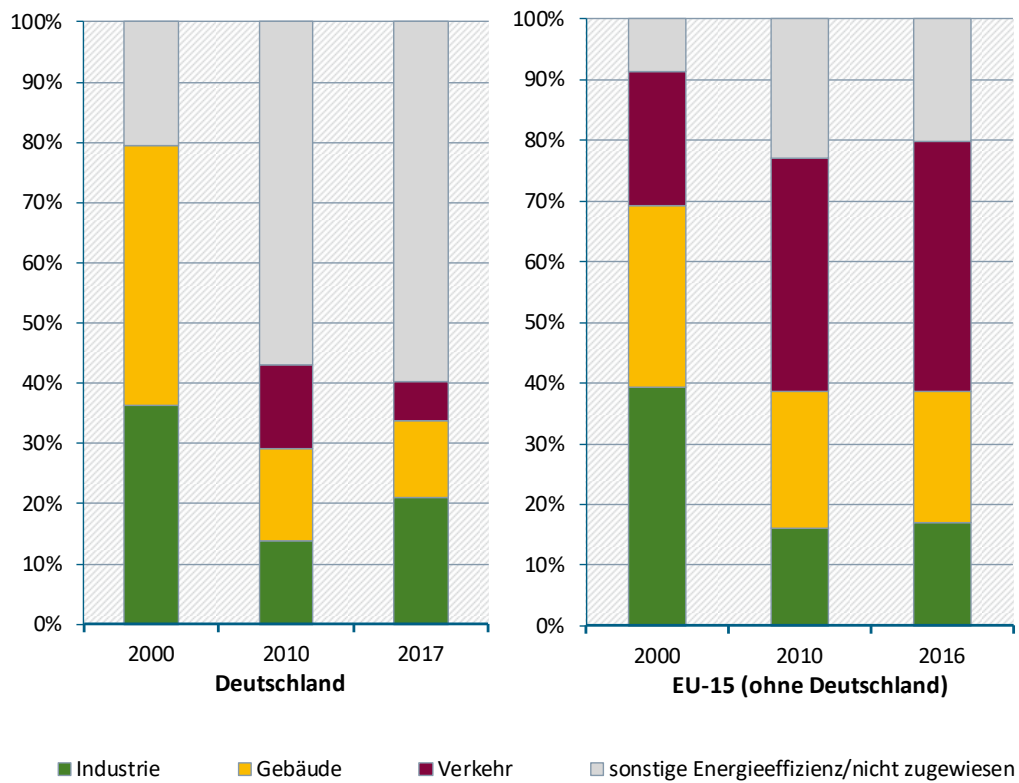
- ▶ Die Schweiz hat ihre Forschungsförderung im Energiebereich zunehmend diversifiziert, wodurch sich der Anteil für Solarenergie dort von knapp 70 stetig auf 47 % reduziert hat. In Frankreich bildet die Solarenergie (ca. 40 %) dahingegen den zweiten großen Schwerpunkt neben den Biokraftstoffen. Italien kam 2017 lediglich auf knapp 50 % im Bereich Solarenergie, fokussierte seine Ausgaben im Forschungsbereich der erneuerbaren Energien aber bereits in den 2000er Jahren nahezu vollständig auf dieses Segment.
- ▶ Zunehmend auf Windenergie setzten hingegen Japan (54 %), Spanien (47 %), Dänemark (63 %) und die Niederlande (26 %). In Korea ist hier dieselbe Priorität wie in Deutschland vorzufinden (20-25 %). Großbritannien konzentrierte seine öffentlichen RD&D-Ausgaben 2017 hingegen erstmals auf Windenergie (59 %).
- ▶ Der Weiterentwicklung der *Hydroelektrizität*, also der Nutzbarmachung von Strömungsenergie des Wassers, widmeten sich im Rahmen der erneuerbaren Energien im größeren Umfang lediglich Norwegen (16 %), die Schweiz (13,5 %) und seit kurzem auch Finnland (42 %). Die *geothermische Energie* wurde dahingegen in mehreren Ländern mit Forschungskapital bedacht. Hierzu zählen die Schweiz (18 %), die USA und Italien (jeweils 8,4 %), Japan (6 %), die Niederlande (5-6,5 %) und auch Deutschland (5-6 %).

Die Steigerung der *Energieeffizienz* ist eine weitere wichtige wirtschaftliche und politische Zielsetzung, um dem weltweit wachsenden Energieverbrauch entgegenzusteuern. Wie eingangs erwähnt, lag der Anteil des Energieforschungsetats Deutschlands 2017 für den Bereich Energieeffizienz mit 22 % im Durchschnitt der EU-15. Die skandinavischen Länder und Österreich huben diesen Mittelwert, die Anteilstreuung der Länder unterhalb des Durchschnitts war hingegen gering. In Deutschland wurden seit dem Jahr 2009 innerhalb des Bereichs Energieeffizienz ca. 60 % des Etats für Querschnittsthemen verausgabt, die sich nicht explizit einem der Teilbereiche Industrie, Gebäude oder Verkehr zuordnen ließen. Über das zugewiesene RD&D-Budget kann gesagt werden, dass zunehmend in den Teilbereich Industrie (21 %) und abnehmend in den Teilbereich Gebäude (13 %) investiert wurde. In den Teilbereich Verkehr gingen in Deutschland 5 bis 6 % der staatlichen Forschungsfördermittel (Abbildung 5).

Im Durchschnitt der übrigen EU-15 lag 2017 ein klarer Fokus auf dem Bereich Verkehr (2017: 41 %). Die Forschungsanteile für die Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie und in Gebäuden wurden in den 2000er-Jahren stetig zurückgefahren und belaufen sich seither auf ca. 17 % (Industrie) bzw. 22 % (Gebäude). Die Forschungsinvestitionen im Teilbereich Verkehr sind schwankend und pendeln – mit gelegentlichen Ausreißern – in einem Bereich von 32 und 38 %. Die Quote für nicht definierte Bereiche (20 %) hat entsprechend zugenommen (Abbildung 5).

Die Schwerpunktsetzungen im Bereich Energieeffizienz unterscheiden sich stark zwischen den Ländern. In den USA (73 %), Großbritannien (76 %), Frankreich (58 %) und Schweden (49 %) nahm der Teilbereich *Verkehr* den größten Stellenwert ein, war in allen vier Staaten jedoch rückläufig. Die Verbesserung der Energieeffizienz in der *Industrie* war insbesondere in Japan (60 %), Korea (48 %) und den Niederlanden (55 %) ein vergleichsweise großes Anliegen. Dänemark hingegen setzte als eines der wenigen Länder den Forschungsschwerpunkt auf energieeffiziente *Gebäude* (61 %). Nicht unerwähnt sollte bleiben, dass Ungarn in den Jahren von 2005 bis 2012 durchschnittlich 92 % seines gesamten Energieforschungsetats in den Bereich Energieeffizienz investierte, wovon bis zu zwei Drittel der Energieeffizienzverbesserung in der Industrie zugutekamen (Tabelle B. 3).

Abbildung 5: Struktur der Energieforschungsbudgets für Verbesserungen im Bereich Energieeffizienz 2000, 2010 und 2017



Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: November 2018. - Berechnungen des CWS.

Die Europäische Union unterhält mit „Horizon 2020“ ein Förderprogramm für Forschung und Innovation für den Zeitraum 2014 bis 2020.¹⁸ In den IEA-Daten werden diesbezüglich die EU-Projektzuschüsse der Jahre 2014 bis 2017 berücksichtigt, die einen ausdrücklichen Bezug zu den FuE-Zielen im Energiebereich aufweisen. Diese belaufen sich auf 13 bis 17 % des Gesamtvolumens, wovon wiederum 85 % in die Bereiche der zukunftsorientierten Technologien fließen (entspricht jährlich 1,5 Mrd. Euro im Mittel). Innerhalb der ersten Hälfte des Förderzeitraumes wurden die Ausgaben für Energieeffizienz langsam erhöht (27 %), jene für Querschnittsthemen hingegen gesenkt (9,5 %). Investitionen in erneuerbare Energieträger machten konstant ein Viertel des Budgets aus, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien erhielten ca. 15 %. Innerhalb der erneuerbaren Energien erfolgte durch die Reduzierung der Forschungsausgaben für Biokraftstoffe (von 29,5 auf 24 %) eine zunehmend größere Schwerpunktlegung auf Solarenergie (ca. 26 %) und andere erneuerbare Energiequellen (11 %). Im Segment der Energieeffizienz kam ein Großteil der Fördergelder neuerdings der Industrie zugute (44 %).

2.1.3 Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland (UFORDAT)

Um detaillierte Informationen über die thematischen Schwerpunkte der Umweltschutzforschung und Forschungsförderung in Deutschland zu erhalten, ist für die Vorgängerberichte zum Wirtschaftsfaktor Umweltschutz in regelmäßigem Turnus die Umweltforschungsdatenbank UFORDAT des Umweltbundesamtes ausgewertet worden. Die zuletzt vorgelegten Analysen (Gehrke et al. 2018) reichen bis zum Jahr 2015 und werden in diesem Bericht bis 2017 fortgeschrieben und aktualisiert.¹⁹

Die Datenbank beinhaltet Angaben zu laufenden und abgeschlossenen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit Umweltbezug. Erfasst werden sowohl öffentlich geförderte Projekte als auch privatwirtschaftlich finanzierte Forschungsvorhaben von Unternehmen, Stiftungen, Verbänden und Vereinen. Jährlich kommt eine Vielzahl von Projektinformationen hinzu, die sich häufig auch auf Vorhaben beziehen, die bereits in früheren Jahren begonnen worden sind. Die laufende Aktualisierung der Datenbank erfolgt über regelmäßige Datenerhebungen bei forschenden und finanzierenden Institutionen, Datenaustausch z. B. mit dem BMBF und eigene Internetrecherchen (UBA 2014).

In Summe sind in Deutschland von 2005 bis einschließlich 2017 (Stand Oktober 2018) mehr als 51.700 Forschungsvorhaben mit Umweltbezug begonnen worden. Für knapp 40.800 dieser Vorhaben liegen Angaben zum Projekt- und Fördervolumen vor, wobei sich die Datenlage zu monetären Größen im Zeitablauf spürbar verbessert hat (Abbildung 6).

Um die Recherchemöglichkeiten für den Nutzer zu verbessern, werden die Projektvorhaben zum einen nach Umweltthemen (z. B. Klimawandel, Ressourceneffizienz, Umwelttechnik o.ä.), zum anderen nach übergreifenden Umweltbereichen (Wasser, Abfall, Boden, Natur- und Landschaftsschutz, Nutzung und Erhaltung von Energie- und Rohstoffressourcen etc.)²⁰ klassifiziert.²¹ Dieser Prozess kann nur in Abstimmung mit den Projektträgern erfolgen und ist mit immer größerem Zeitaufwand verbunden, so dass die inhaltliche Klassifizierung der

¹⁸ Der Gesamtumfang von „Horizon 2020“ beträgt ca. 80 Mrd. Euro (http://ec.europa.eu/research/horizon2020/pdf/press/horizon_2020_budget_constant_2011.pdf).

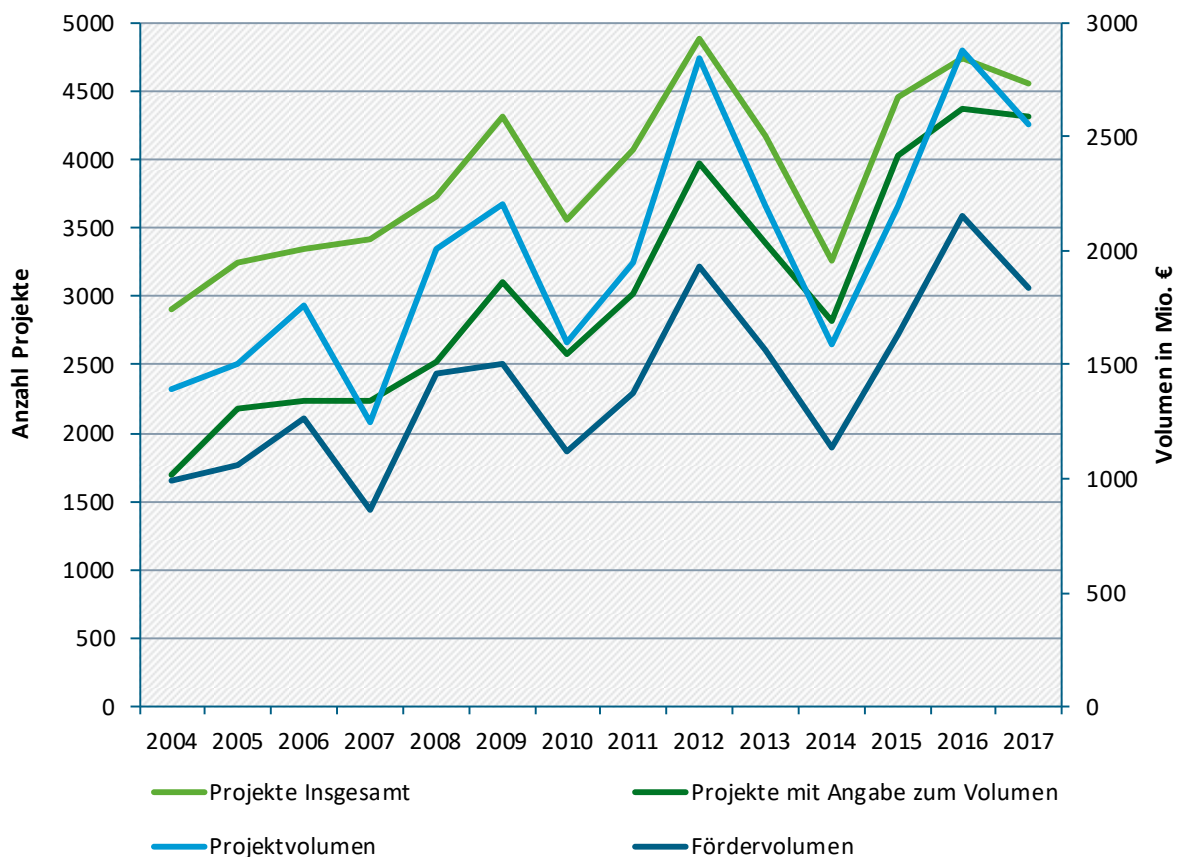
¹⁹ Für weiter zurückreichende Analysen vgl. Legler, Walz et al. (2006) bzw. Schasse, Gehrke, Ostertag (2012).

²⁰ In UFORDAT wird zwischen 14 Umweltbereichen unterschieden (vgl. dazu Tabelle B. 4 in Anhang B). In den hier vorliegenden Analysen wie auch den Vorgängerberichten werden die Themenfelder Umweltökonomie und Umweltrecht als ein Bereich zusammengefasst, so dass insgesamt 13 Umweltbereiche betrachtet werden.

²¹ Vgl. dazu auch <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/information-als-instrument/umweltforschungsdatenbank-ufordat> (04.02.2019).

Forschungsvorhaben für das Jahr 2017 zum Zeitpunkt der Berichtserstellung erst in Teilen umgesetzt war. Deshalb wird in Absprache mit dem Auftraggeber an dieser Stelle auf die differenzierte Fortschreibung der Analyse nach *Umweltbereichen*, durchführenden und finanzierenden Institutionen, die ohne Einschränkungen nur bis zum Jahr 2016 möglich wäre, verzichtet.

Abbildung 6: Grundlegende Kennzahlen zu den in UFORDAT erfassten Forschungsvorhaben: Projekte, Projektvolumen und Fördervolumen 2005 bis 2017



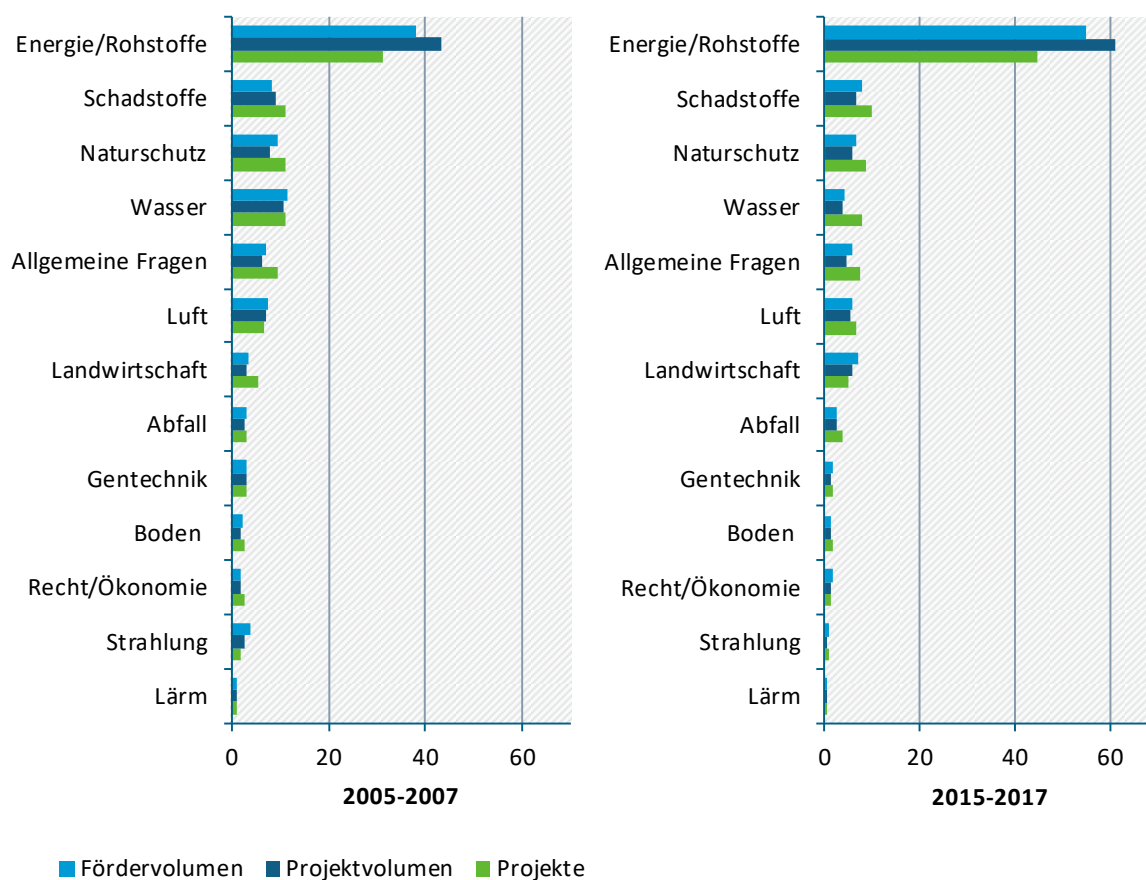
Quelle: Umweltbundesamt, UFORDAT (Recherche Oktober 2018). – Berechnungen des CWS.

Stattdessen wird ein kurzer Überblick über grundsätzliche Trends bei Forschungsvorhaben mit Umweltbezug sowie über maßgebliche strukturelle Verschiebungen im Zeitablauf gegeben. Ein Teil der fehlenden Zuordnungen für das Jahr 2017 konnte unter Zuhilfenahme verfügbarer Klassifikationsmerkmale nach der Leistungsplansystematik des Bundes zugeschätzt werden, die seit mehreren Jahren auch in der UFORDAT vermerkt sind.²² Hierbei ist allerdings zu beachten, dass diese nur für Bundesprojekte vorliegen und die Systematik häufig geändert wird. Zudem lassen sich trotz dieser Schätzungen 10 % der 2017 neu begonnenen Projekte keinem Umweltbereich zuordnen; in den Vorjahren waren dies unter 1 %, zu Beginn des Beobachtungszeitraums maximal 4 %, zumeist jedoch deutlich weniger. Um Schätzfehler und Verzerrungen für das Jahr 2017 weniger ins Gewicht fallen zu lassen, aber dennoch längerfristige strukturelle Entwicklungen aufzeigen zu können, werden Dreijahresdurchschnitte (2005 bis 2007, 2015 bis 2017) gewählt.

²² Vgl. dazu ausführlich <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/SucheAction.do?actionMode=searchmask> (04.02.2019)

Hieran wird deutlich, dass sich die vorne beschriebenen Gewichtungverschiebungen in den globalen öffentlichen Forschungsbudgets in Richtung Klima- und Ressourcenschutz auch anhand der öffentlich geförderten Forschungsvorhaben in Deutschland nachweisen lassen. Hier sind entsprechende Fragen im Wesentlichen im Umweltbereich *Energie- und Rohstoffressourcen – Nutzung und Erhaltung (Energie/Rohstoffe)* angesiedelt. Dessen Strukturanteil ist – von bereits sehr hohem Niveau aus startend – bei allen drei Kennzahlen (Projekte²³, Projektvolumen, Fördervolumen) in Zehnjahresfrist nochmals deutlich gestiegen und macht mittlerweile rund 45 % der neu begonnenen Forschungsvorhaben, 55 % des Projektvolumens und gut 60 % der Fördermittel aus (Abbildung 7).

Abbildung 7: Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017 in %



Quelle: Umweltbundesamt, UFORDAT (Recherche Oktober 2018). – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Alle anderen Umweltbereiche erreichen 2015 bis 2017 durchschnittlich höchstens höhere einstellige Quoten (*Wasser, Naturschutz, Landwirtschaft, Allgemeine Fragen, Schadstoffe, Luft*) und haben – abgesehen vom Themenfeld *Umweltaspekte in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Nahrungsmittel (Landwirtschaft)* – anteilmäßig teils deutlich (*Gentechnik, Schadstoffe*) verloren. Die bezogen auf alle drei Kennzahlen niedrigsten Anteilswerte von aktuell teils deutlich unter 5 % ergeben sich wie bereits im Zeitraum 2005 bis 2007 für Vorhaben aus den Bereichen *Lärm, Gentechnik, Strahlung, (Umwelt-)Recht/-ökonomie, Boden und Abfall*.

²³ Hierbei werden jeweils nur diejenigen Projekte berücksichtigt, für die auch Angaben zu Projekt- und Fördervolumen vorliegen.

Die beobachtete Verschiebung hinwärts der Energieforschung wird auch anhand der offiziellen Daten zur Projektförderung des Bundes bestätigt. So ist die Projektförderung für nicht nukleare Energieforschung in Deutschland real von unter 200 Mio. Euro in der Periode 2005 bis 2007 auf mehr als 550 Mio. Euro in der Periode 2015 bis 2017 gestiegen (BMW 2018, Abb. 5). Folgt man der mittelfristigen Planung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung für die Jahre 2018 bis 2022, dürfte sich dieser Trend weiter fortsetzen. Demnach sind für diesen Zeitraum in Summe rund 6,4 Mrd. Euro für FuE, Demonstration und Erprobung von zukunftsfähigen Technologien und Konzepten vorgesehen, rund 45 % mehr als in der Vergleichsperiode der Jahre 2013 bis 2017 (BMW 2018).

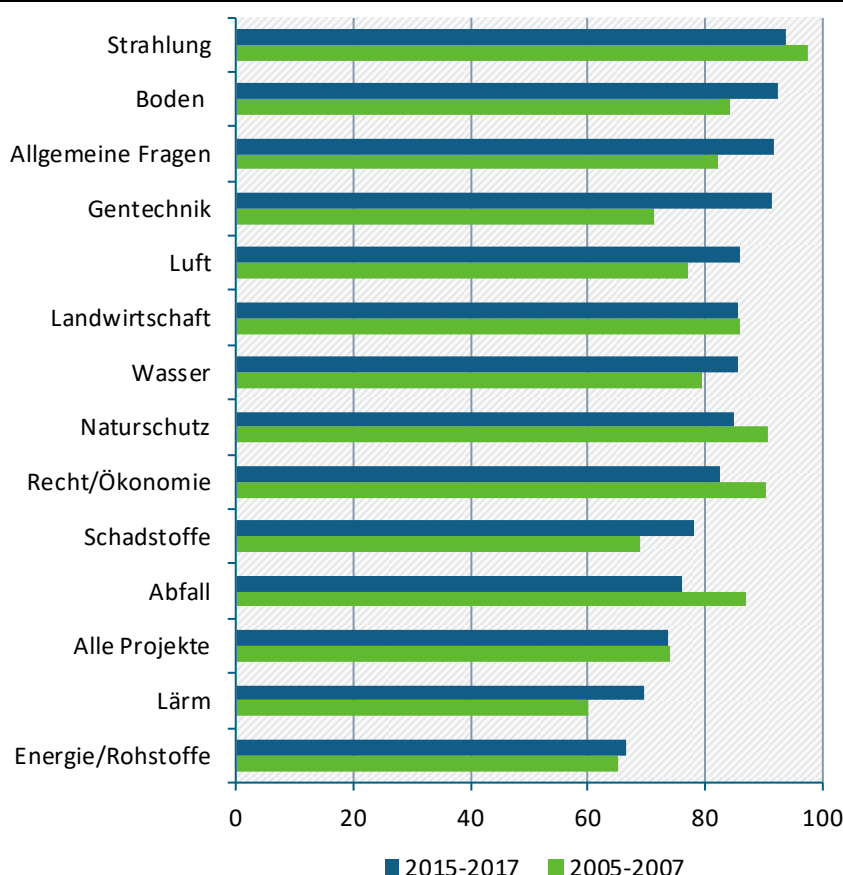
Quer über alle Forschungsvorhaben ist das durchschnittliche Projektvolumen in Zehnjahresfrist von 565 Tsd. Euro (2005 bis 2007) um gut 6 % auf rund 600 Tsd. Euro (2015 bis 2017) gestiegen (vgl. Tabelle B. 5 in Anhang B). Beim durchschnittlichen Fördervolumen fällt der Anstieg mit 5,1 % (von 422 auf 444 Tsd. Euro) etwas geringer aus. In Zehnjahresfrist lässt sich also durchaus ein Anstieg der durchschnittlichen Projektkosten konstatieren, der sich unter Verwendung längerer Durchschnittsperioden²⁴ in dieser Form nicht nachweisen ließ (Gehrke et al. 2018). Dieser Befund wird im Wesentlichen vom dominierenden Umweltbereich *Energie/Rohstoffe* determiniert, für den sich in Zehnjahresfrist sowohl gestiegene durchschnittliche Projektkosten (von 788 auf 821 Tsd. Euro) als auch höhere durchschnittliche Fördersummen (von 517 auf 548 Tsd. Euro) nachweisen lassen. Ähnliches gilt mit noch größeren Zuwachsraten für Forschungsvorhaben im deutlich weniger gewichtigen *Luftbereich*. Bei den weiteren Umweltbereichen zeigt sich ein heterogenes Bild. Stark rückläufige Projektkosten und Fördermittel weisen insbesondere die Bereiche *Gentechnik, Strahlung und Wasser* auf.

Die durchschnittliche Förderquote lag 2015 bis 2017 bei 73,8 % und damit ähnlich hoch wie 2005 bis 2007 (73,9 %). Dies deutet darauf hin, dass sich der zwischenzeitig konstatierte Trend rückläufiger Förderquoten (Gehrke et al. 2018) in jüngerer Zeit wieder umgekehrt hat. Zwischen den einzelnen Forschungsfeldern ergeben sich jedoch teils deutliche Unterschiede. Rückläufigen Förderquoten in den Umweltbereichen Strahlung, Naturschutz, Recht/Ökonomie und Abfall stehen gestiegene Quoten in fast allen anderen Bereichen gegenüber (Abbildung 8). Lediglich im Forschungsfeld Landwirtschaft zeigen sich analog zum Befund über alle Forschungsfelder im Zeitablauf keine Veränderungen in den Förderquoten. Im dominierenden Bereich Energie/Rohstoffe fällt die Förderquote mit aktuell knapp 67 % am geringsten aus und bestimmt damit den relativ niedrigen Durchschnittswert über alle Forschungsfelder. Abgesehen vom Lärmbereich weisen alle anderen Forschungsfelder teils deutlich höhere Förderquoten auf. Dies gilt besonders für die Bereiche Strahlung, Boden, Allgemeine Fragen und Gentechnik mit Quoten über 90 % (2015 bis 2017).

Die Liste der forschenden Institutionen ist sehr heterogen und umfasst neben reinen Forschungseinrichtungen auch eine Vielzahl von privaten und öffentlichen Unternehmen. Ihre Zuordnung zu verschiedenen Einzelpositionen folgt mit wenigen Anpassungen im Wesentlichen der vom Datenbankbetreiber vorgenommenen Spezifikation. Letztendlich werden 10 Typen von forschenden Einrichtungen unterschieden. Neben Hochschulen und spezifischen außeruniversitären Forschungseinrichtungen gehören dazu auch Bundes- und Landesbehörden, kommunale Einrichtungen und insbesondere private Unternehmen aus der Wirtschaft (insbesondere Ingenieur- und FuE-Dienstleister, aber auch eine Vielzahl von verschiedenen Industrieunternehmen).

²⁴ In früheren Untersuchungen (vgl. z. B. Gehrke et al. 2018, Schasse, Gehrke, Ostertag 2012 oder Legler, Walz et al. 2006) flossen alle Beobachtungsjahre in die Berechnungen ein, während hier zwei kürzere Zeitscheiben (2005 bis 2007, 2015 bis 2017) im Abstand von 10 Jahren betrachtet werden.

Abbildung 8: Förderquoten nach Umweltbereichen 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017 in %



Quelle: Umweltbundesamt, UFORDAT (Recherche Oktober 2018). – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

In beiden Vergleichsperioden entfällt der weit überwiegende Teil der Projekte, wie auch der dafür verausgabten Mittel auf die Wirtschaft, die ihre führende Position im Zeitablauf sogar noch weiter ausgebaut hat. Dabei sind der Anteil der Projekte (49 %) und das Fördervolumen (knapp 42 %) im Zehnjahresvergleich annähernd konstant geblieben, wohingegen das Projektvolumen von knapp 52 % auf fast 55 % gestiegen ist (Tabelle 2). Dies belegt, dass zunehmend auch umfangreichere Forschungsvorhaben mit Umweltbezug von privaten Unternehmen initiiert und – vielfach in Kooperation mit öffentlichen Forschungseinrichtungen – durchgeführt werden.²⁵ Hinter der Wirtschaft auf zweiter Position rangieren die Hochschulen mit aktuell rund 29 % der Projekte und Fördermittel sowie 22 % des Projektvolumens. Diese haben im Zeitablauf sowohl im Hinblick auf die Zahl der begonnenen Vorhaben als auch bei den Projektmitteln Anteile eingebüßt.

Innerhalb der Gruppe der außeruniversitären Forschungseinrichtungen haben Fraunhofer Institute 2015 bis 2017 die führende Stellung vor Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft inne, die 2005 bis 2007 noch an der Spitze lagen. Alle anderen Typen von Einrichtungen fallen mit Anteilen unter 3 % und abnehmender Bedeutung für die deutsche Umweltforschung strukturell weniger ins Gewicht. Bemerkenswert ist, dass Fraunhofer Institute sowohl bei den begonnenen Projekten (aktuell 6,8 %), vor allem aber im Hinblick auf ihre Teilhabe an Projekt- und Fördermitteln (9,6 % respektive 12,1 %) im Zeitablauf deutlich hinzugewonnen haben. Einzig im Hinblick auf die Wirtschaft fällt der Förderanteil deutlich und im Zeitablauf

²⁵ Häufig werden bei den Projektbeschreibungen mehrere durchführende Institutionen genannt. Da über die interne Verteilung der Projektmittel aber keine Informationen vorliegen, erfolgt die institutionelle Zuordnung nach der jeweils erstgenannten Einrichtung.

zunehmend niedriger aus als der Projektmittelanteil. Dies lässt sich damit erklären, dass dort eher anwendungsorientierte Projekte im Vordergrund stehen, die im Durchschnitt in geringerem Umfang aus öffentlichen Mitteln gefördert werden als grundlagenorientierte und längerfristig angelegte Vorhaben an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Tabelle 2: Umweltforschung nach durchführenden Einrichtungen: Strukturanteile 2005-2007 und 2015 bis 2017 in %

	Projekte		Projektmittel		Fördermittel	
	Strukturanteile in %		Strukturanteile in %		Strukturanteile in %	
	2005-2007	2015-2017	2005-2007	2015-2017	2005-2007	2015-2017
Hochschulen	32,4	28,8	23,5	21,9	29,0	28,6
Fraunhofer Gesellschaft	3,9	6,8	5,2	9,6	5,9	12,1
Helmholtz Gemeinschaft	5,0	5,5	9,4	7,7	12,1	9,5
Leibniz-Gemeinschaft	3,3	2,4	2,7	1,6	3,5	2,0
Max-Planck-Institute	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8
sonst. Forschungseinrichtungen	1,1	0,7	2,6	1,0	3,3	1,3
Bundesbehörden/-anstalten	2,6	2,8	1,6	1,6	1,8	2,1
Landesbehörden/-anstalten	1,4	1,3	0,9	0,8	1,0	1,0
Kommunale Einrichtungen	1,4	2,0	1,5	0,8	1,3	0,8
Wirtschaft	48,1	48,9	51,8	54,5	41,2	41,7
Gesamtergebnis*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

*Gesamtergebnis einschließlich Forschungsförderer

Quelle: Umweltbundesamt, UFORDAT (Recherche Oktober 2018). – Berechnungen des CWS.

Der weit überwiegende Teil der Fördermittel kommt traditionell vom Bund, der seine führende Position als Forschungsförderer in Zehnjahresfrist von 77 % (2005 bis 2007) auf 88 % (2015 bis 2017) weiter ausgebaut hat (Tabelle 3).

Wichtigste Forschungsförderer auf Bundesebene sind das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, 2015 bis 2017: 35 %) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi: 39 %), wobei letzteres 2005 bis 2007 (15 %) noch klar hinter dem BMBF (44 %) positioniert war. Auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat bezogen auf das Fördervolumen strukturell (von 15 % auf 7 %) wie auch bezogen auf den absoluten Umfang der Mittel verloren. Dies dürfte vor allem damit zusammenhängen, dass Aufgaben aus dem immer gewichtigeren Energiebereich zunächst im BMU angesiedelt waren, seit 2014 aber von dort zum BMWi gewechselt sind.²⁶

²⁶ Im Zeitablauf haben sich die Zuständigkeiten der Bundesministerien und damit auch ihre Bezeichnungen im Vergleich zu früheren Analysen zum Teil geändert. Dies gilt besonders 2014, als die Umsetzung der Energiewende und die damit verbundenen Aufgaben, darunter bspw. auch der Bereich E-Mobilität, schwerpunktmäßig beim BMWi angesiedelt wurden.

Tabelle 3: Projekte und Fördermittel nach Förderinstitutionen 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017

	Geförderte Projekte			Fördervolumen		
	Strukturanteile in %		Veränd. in %	Strukturanteile in %		Veränd. in %
	2005-2007	2015-2017	2005-2007/ 2015-2017	2005-2007	2015-2017	2005-2007/ 2015-2017
Bund gesamt	80,2	95,3	126,2	77,4	88,3	129,3
darunter						
BMBF	47,3	44,4	78,8	44,0	35,3	60,9
BMU	15,3	9,4	17,4	14,7	6,8	-7,6
BMVI	0,1	2,2	*	0,1	2,2	*
BMEL	7,2	10,2	171,0	3,5	5,0	186,8
BMW	9,3	29,0	496,3	14,9	39,0	427,0
sonst. Bundeseinr.	1,1	0,1	-90,3	0,2	0,0	-73,4
EU	2,2	1,2	4,2	13,7	10,1	47,0
Land	3,2	0,2	-87,4	1,3	0,2	-70,5
DBU	9,8	2,9	-43,7	3,5	1,2	-28,4
Andere Stiftungen	0,4	0,0	-85,2	0,2	0,0	-72,9
DFG	1,3	0,1	-88,2	2,5	0,0	-96,9
AIF	1,0	0,1	-88,9	0,4	0,0	-90,9
sonstige	2,0	0,2	-77,2	1,0	0,1	-83,3
Gesamtergebnis	100,0	100,0	90,3	100,0	100,0	100,8

Einbezogen wurden nur diejenigen Projekte, für die Angaben zu den finanzierenden Institutionen vorlagen.

Quelle: Umweltbundesamt, UFORDAT (Recherche Oktober 2018). – Berechnungen des CWS.

Neben dem BMWi haben, allerdings von vergleichsweise niedrigerem Niveau startend, auch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) – vor allem mit Projekten im Themenfeld Mobilität und Verkehr – sowie das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) ihre spezifische Projektförderung in Zehnjahresfrist überdurchschnittlich ausgeweitet.

Spiegelbildlich zum deutlichen Zuwachs der Bundeseinrichtungen in der Forschungsförderung haben andere Forschungseinrichtungen im Zeitablauf relativ und – abgesehen von der EU – auch absolut an Bedeutung verloren. Hierbei spielen allerdings auch Erfassungslücken in der Datenbank eine Rolle. Während die von Bundesministerien geförderten Vorhaben mit allen relevanten Projektinformationen automatisch eingepflegt werden, müssen andere Vorhaben häufig mit unterschiedlichem Erfolg aufwendig (nach-)recherchiert werden. Insofern ist der

Bund in seiner Relevanz für die Umweltforschungsförderung gegenüber anderen Forschungsförderern etwas überschätzt (Gehrke et al. 2018).

Auffällig ist, dass bei der EU insbesondere breit angelegte Projekte mit großen Fördervolumina angesiedelt sind, was durch lediglich gut 1 % der geförderten Projekte, aber zugleich 10 % des Fördervolumens verdeutlicht wird. Die Auftragsvergabe erfolgt hierbei vielfach innerhalb von spezifischen Forschungsrahmenplänen an größere Konsortien mit Partnern aus verschiedenen EU-Mitgliedsländern. Bei den anderen Forschungsförderern ist das durchschnittliche Fördervolumen ungleich niedriger.

2.2 FuE und Innovationen der Wirtschaft im Umweltschutzbereich: Ausgewählte Ergebnisse im Überblick

2.2.1 Öffentliche und private FuE-Investitionen in erneuerbaren Energien nach Weltregionen

Grobe Informationen zu den FuE-Investitionen der Wirtschaft nach Teilsegmenten erneuerbarer Energien und Weltregionen finden sich in den von Bloomberg New Energy Finance seit 2007 jährlich veröffentlichten Berichten zu Global Trends in Renewable Energy Investments. Als Datenquelle wird von den Verfassern jeweils die Internationale Energieagentur (IEA), der Internationale Währungsfonds (IMF), verschiedene nationale Agenturen sowie eigene Erhebungen genannt. Dabei ist zu beachten, dass die Angaben zu den globalen FuE-Aufwendungen der Wirtschaft bereits im Bericht 2017 (FS-UNEP / BNEF 2017) in längerer Frist rückwirkend nach unten revidiert worden sind. Die Revisionen betreffen im Wesentlichen Aussagen zur absoluten Höhe der verausgabten Mittel, der Relation von öffentlichen zu privaten FuE-Aufwendungen sowie in gewissem Umfang auch die Verteilung nach Weltregionen.²⁷ Strukturelle Trends im Hinblick auf die Entwicklung einzelner Energieträger bleiben hingegen unberührt.

Nach dem jüngst verfügbaren Bericht (FS-UNEP / BNEF 2018) wurde im Jahr 2017 bei den weltweiten öffentlichen und privaten FuE-Aufwendungen in erneuerbare Energien ein neuer Höchstwert von 9,9 Mrd. US-\$ erreicht (Tabelle 4). Gegenüber dem Vorjahr (9,3 Mrd. US-\$) bedeutet dies einen Zuwachs von 6 %. Dieser ist ausschließlich auf eine Ausweitung der FuE-Ausgaben der Wirtschaft zurückzuführen (+12 % auf 4,9 Mrd. US-\$); für die öffentlichen FuE-Ausgaben ergab sich der gleiche Wert wie im Vorjahr (5,1 Mrd. US-\$). Damit entfiel knapp die Hälfte (49 %) der globalen FuE-Ausgaben 2017 auf die Wirtschaft und 51 % auf den öffentlichen Sektor.

Nach den aktuell vorgelegten Ergebnissen haben sich die globalen FuE-Aufwendungen der Wirtschaft für erneuerbare Energien von 2004 (2,1 Mrd. US-\$) bis 2011 (4,5 Mrd. US-\$) mehr als verdoppelt. Der anschließende rückläufige Trend bis 2014 (3,9 Mrd. US-\$) hat sich seit 2015 wieder umgekehrt und zum bisherigen Höchstwert von 4,8 Mrd. US-\$ im Jahr 2017 geführt. Im Zehnjahresvergleich (2007 bis 2017) bedeutet dies einen Zuwachs von gut 4 % pro Jahr.

Das Gewicht einzelner Energieträger innerhalb der globalen FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien ist seit Jahren nahezu unverändert (Tabelle 4): Knapp die Hälfte der verausgabten Mittel (4,8 Mrd. US-\$ in 2017) fließt in den Solarbereich. Erst mit deutlichem

²⁷ So waren zum einen in der im Bericht 2016 (FS-UNEP / BNEF 2016) veröffentlichten Zeitreihe die FuE-Aufwendungen der Wirtschaft ab 2011 bis 2015 vom Niveau her jeweils höher als die staatlichen FuE-Aufwendungen. Nachdem die FuE-Aufwendungen der Wirtschaft systematisch nach unten revidiert worden sind, sind die staatlichen FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien seit 2009 aus der globalen Perspektive jeweils höher als die FuE-Aufwendungen der Wirtschaft in diesem Bereich. Insbesondere die chinesischen FuE-Aufwendungen seitens der Wirtschaft, die 2016 noch mit 1 Mrd. US-\$ beziffert wurden, sind deutlich nach unten revidiert worden (2017/18: 0,1 Mrd. US-\$).

Abstand folgen annähernd gleichauf Wind (mit dem aktuellen Höchststand von 1,9 Mrd. US-\$) und Biokraftstoffe (1,6 Mrd. US-\$). Auf Biomasse und Abfall entfallen mit 0,9 Mrd. US-\$ rund 10 % der globalen FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien. Wasserkraft (0,5 Mrd. US-\$) und Geothermie (0,3 Mrd. US-\$) spielen hingegen eine relativ geringe Rolle. Der deutliche Zuwachs der FuE-Aufwendungen 2016/17 ist vor allem auf die größeren Teilsegmente Solar und Wind zurückzuführen, die jeweils rund 6 % zulegen konnten. Noch höhere Steigerungsraten sind nach Schätzungen von FS-UNEP / BNEF (2018) für Biomasse und Abfall (+10 %) zu verzeichnen. Die anderen Teilsegmente erreichen demgegenüber lediglich Wachstumsraten zwischen 1 und 2 %. In den Bereichen Solar, Wind und Biomasse wird FuE überwiegend von der Wirtschaft finanziert, bei Biokraftstoffen, Geothermie und Wasserkraft übernimmt der Staat den weit überwiegenden Teil der FuE-Ausgaben.

Tabelle 4: FuE-Aufwendungen von Staat und Unternehmen in erneuerbare Energien nach Energieträgern und Regionen/Ländern 2017

	Insgesamt in Mrd. US \$	darunter von		geschätzter Zuwachs 2017/16 in %
		Unternehmen	Staat	
FuE-Aufwendungen insgesamt	9,9	4,9	5,1	6
nach Energieträgern				
Solar	4,8	2,8	2,0	6
Wind	1,9	1,1	0,8	6
Biokraftstoffe	1,6	0,3	1,3	2
Biomasse und Abfall	0,9	0,5	0,4	10
Geothermie	0,3	0,05	0,2	2
Wasser*	0,5	0,1	0,4	1
<i>nach Regionen und Ländern</i>				
Europa	2,7	1,5	1,2	8 (16/0)**
ASOC (ohne China)	2,5	1,9	0,6	6 (8/0)**
USA	2,1	1,1	1,0	8 (16/0)**
China	2,0	0,1	1,9	0 (3/0)**

*umfasst kleine Wasserkraftwerke mit einer Leistung von höchstens 50 MW (small hydro) sowie Meerwasserkraftwerke (marine). - **die Zahlen in den Klammern indizieren den jeweiligen Zuwachs der FuE-Aufwendungen von Wirtschaft und Staat. - ASOC: Asien und Ozeanien.

Quelle: FS-UNEP / BNEF (2018, Kapitel 8). – Berechnungen des CWS.

Europa ist seit 2010 der führende FuE-Standort bei erneuerbaren Energien (2,7 Mrd. US-\$) vor dem großen Konglomerat aller asiatischen und ozeanischen Länder ohne China (ASOC) (2,5 Mrd. US-\$), den USA (2,1 Mrd. US-\$) und China (2,0 Mrd.). Bei alleiniger Betrachtung der Wirtschaft liegt Europa mit 1,5 Mrd. US-\$ weiterhin klar vor den USA (1,1 Mrd. US-\$), aber hinter den ASOC-Staaten (1,9 Mrd. US-\$), in denen mit rund drei Viertel aller FuE-Aufwendungen der mit Abstand größte Anteil auf die Wirtschaft entfällt. Die USA haben allerdings seit 2014 in Folge der klimafreundlicheren Politik unter der Obama-Regierung

spürbar aufgeholt, wobei die FuE-Aufwendungen beider Regionen am aktuellen Rand (2016/17) nur mehr mit gleicher Rate gewachsen sind (+8 %).

China, das im Hinblick auf die globalen Investitionen in erneuerbare Energien mit weitem Abstand die Spitzenstellung hält, folgt bezogen auf die FuE-Aufwendungen (2 Mrd. US-\$) erst auf Rang 4 und ist zudem erstmals seit 2011 wieder hinter die USA zurückgefallen. Die Autoren argumentieren, dass dieses eher schwache Ergebnis für China auch mit den geringeren FuE-Kosten (insbesondere Personalkosten) in China im Vergleich zu Europa und den USA zusammenhängen dürfte und nicht unbedingt für „real“ niedrigere FuE-Anstrengungen steht (FS-UNEP / BNEF 2018, S. 73). Auffällig ist jedoch, dass in Europa und den USA mehr als die Hälfte der FuE-Aufwendungen aus der Wirtschaft stammen, während sie in China noch immer fast ausschließlich (95 %) vom Staat getätigt werden.²⁸ Zudem sind die FuE-Aufwendungen Chinas für erneuerbare Energien seit drei Jahren nicht mehr gestiegen.

2.2.2 Forschungs- und Innovationsausgaben von Unternehmen in Europa in energiebezogenen Schlüsselaktionsfeldern (SET Plan key actions)

Im September 2015 hat sich die Europäische Kommission im Rahmen des europäischen Strategic Energy Technology (SET) Plan auf neun Schlüsselaktionsfelder (key actions) verständigt, für die zukünftig regelmäßig Forschungs- und Innovationsindikatoren beobachtet werden sollen (European Commission 2016). Dieser Plan verfolgt das Ziel, die nachhaltige Transformation des europäischen Energiesystems auf karbonarme Technologien durch Innovation voranzutreiben. Für die Beobachtung der Fortschritte in diesem Prozess ist ein spezifisches Informationssystem (SETIS) entwickelt worden (Fiorini et al. 2017a). Neben öffentlichen Aufwendungen für Forschung und Innovation (FuI) und Patentaktivitäten werden dabei auch private FuI-Aufwendungen der Wirtschaft in den neun Schlüsselaktionsfeldern betrachtet, die im Gegensatz zur zuvor verwendeten Abgrenzung (Gehrke et al. 2018) stärker anwendungsbezogen als technologiebezogen und damit auch breiter ausgerichtet sind. Dies mag mit ein Grund dafür sein, warum hier nicht von Forschung und Entwicklung (FuE), sondern von Forschung und Innovation im Sinne einer stärkeren Betonung der wirtschaftlichen Umsetzung der Forschungsergebnisse gesprochen wird. Die nun betrachteten Aktionsfelder beinhalten

- ▶ erneuerbare Energietechnologien (renewable energy technologies: RET)
- ▶ intelligente Konsumentenlösungen (smart solutions for consumers: SSC)
- ▶ integrierte und flexible Energiesysteme (integrated and flexible energy systems: IFES)
- ▶ Energieeffizienz in Gebäuden (energy efficiency in buildings: EEB)
- ▶ Energieeffizienz in der Produktion (energy efficiency in industry: EEI)
- ▶ Batterien und E-Mobilität (batteries and e-mobility: BEM²⁹)
- ▶ nachwachsende Kraftstoffe und Bioenergie (renewable fuels and bioenergy: RFB)

²⁸ Insofern mag es für China auch leichter sein, das im Programm „Made in China 2025“ festgeschriebene ambitionierte Ziel einer 40-prozentigen CO₂-Emissionsreduktion gegenüber 2015 durchzusetzen. Deutschland hatte sich dieses Ziel für den Zeitraum 1990 bis 2020 gesetzt und wird es aller Voraussicht nach nicht realisieren können (Benrath et al. 2018).

²⁹ In der ausführlichen Beschreibung bezieht sich dieses Feld auf Batterien für E-Mobilität und stationäre Speicherung (Fiorini et al. 2017b).

- Technologien zur CO₂-Abscheidung, Verwendung und Speicherung (carbon capture, utilization, and storage: CCUS)
- nukleare Sicherheit (nuclear safety: NS).

Zur Schätzung der privaten FuI-Aufwendungen wird mangels entsprechender statistischer Daten wie bereits in früheren Analysen³⁰ auf verfügbare Geschäftsberichte von Unternehmen, Informationen von Verbänden und öffentlichen Institutionen – u. a. zur Beteiligung von Unternehmen an technologiespezifischen Forschungsprojekten – sowie unternehmensspezifischen Angaben aus dem EU Industrial R&D Investment Scoreboard zurückgegriffen. Dabei werden fehlende Informationen zu den FuI-Aufwendungen mit Hilfe von durchschnittlichen technologiespezifischen Patentanmeldungen approximiert.³¹ Kritisch anzumerken ist, dass zwar die regionale Verteilung hinsichtlich der privaten FuI-Investitionen durch die Kenntnis der Aktivitäten führender Unternehmen recht gut abgebildet sein dürfte, differenzierte absolute Werte sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da die Schätzungen fehlender FuI-Angaben auf Basis von Patentinformationen mit hohen Unsicherheiten verbunden sind.³²

In Fiorini et al. (2017a) wurden die ersten Schätzungen zu den privaten FuI-Aufwendungen der EU-28 in den genannten energiebezogenen Schlüsselaktionsfeldern für die Jahre 2008 bis 2013 ausgewiesen. Ende 2018 wurde eine Online-Plattform mit revidierten und aktualisierten Daten freigeschaltet.³³ An dieser Stelle beschränkt sich die explizite Darstellung auf ein Strukturbild für größere Länder³⁴ im Jahr 2014 (Tabelle 5) sowie auf wesentliche Entwicklungsunterschiede zwischen Deutschland und der übrigen EU-28 (ohne Deutschland) zwischen 2008 und 2014 (Abbildung 9).

Nach den vorgelegten Schätzungen von Pasimeni et al. (2018) beliefen sich die EU-weiten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft über alle energiebezogenen Aktionsfelder im Jahr 2014 auf gut 16 Mrd. Euro (Tabelle 5). Davon waren mehr als 97 % den explizit ausgewiesenen 12 größeren Ländern zuzurechnen. Rund die Hälfte davon entfiel allein auf Deutschland (49,8 %), mit weitem Abstand gefolgt von Frankreich (12,9 %) und Großbritannien (7,2 %) (Tabelle 5). Damit war der deutsche Anteil an den europaweiten FuI-Aufwendungen für diese energiebezogenen Schlüsselaktionsfelder deutlich höher als der Anteil deutscher Unternehmen an den gesamten FuE-Aufwendungen der EU-Wirtschaft (2014: 31,6 %³⁵). Das Gleiche gilt weniger ausgeprägt auch für Dänemark, die Niederlande, Finnland und Österreich. Für die anderen ausgewiesenen EU-Mitgliedsländer fällt der Beitrag der Wirtschaft zu den EU-weiten energiebezogenen FuI-Aufwendungen geringer aus als ihr Beitrag zu den gesamten FuE-Aufwendungen der Wirtschaft.

Im EU-Durchschnitt dominieren die Aktionsfelder *Batterien und E-Mobilität* (BEM: 23 %), *Energieeffizienz in der Produktion* (EEI: 19,7 %) und *erneuerbare Energietechnologien* (RET: 18,5 %). Im Mittelfeld liegen *intelligente Konsumentenlösungen* (SSC: 14,1 %) und *nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie* (RFB: 12,4 %). Hingegen fallen *integrierte und flexible*

³⁰ Vgl. dazu Corsatea et al. (2015), JRC (2014), Gnamus (2011), Wiesenthal et al. (2009), auf deren Ergebnisse in früheren Berichten im Rahmen des Wirtschaftsfaktors Umweltschutz Bezug genommen wurde (Gehrke et al. 2018, Gehrke, Schasse, Ostertag 2014).

³¹ Zur Methodik vgl. ausführlich Fiorini et al. (2017b).

³² Vgl. dazu ausführlich Wiesenthal et al. (2009).

³³ Vgl. Pasimeni et al. (2018). Der Datensatz enthält auch erste Schätzungen für das Jahr 2015 auf Basis der im Frühjahr 2018 veröffentlichten EPO-Patentanmeldungen. Diese werden aufgrund der Unsicherheit der Daten von den Autoren aber nicht in der Außendarstellung verwendet und bleiben deshalb auch an dieser Stelle unberücksichtigt.

³⁴ Ausgewählt wurden Länder, auf die im Jahr 2014 mindestens 1 % der FuI-Aufwendungen der EU-28 insgesamt entfallen ist.

³⁵ Die FuE-Aufwendungen der Wirtschaft insgesamt wurden auf Basis von OECD.Stat: Main Science and Technology Indicators (MSTI) database (<https://stats.oecd.org/>) berechnet. Grundlage dafür sind die dort bereit gestellten Daten zu Business Enterprise Research and Development (BERD).

Energiesysteme (IFES: 6,4 %), *Energieeffizienz in Gebäuden* (EEB: 3,2 %) und insbesondere Technologien zur *CO₂-Abscheidung, Verwendung und Speicherung* (CCUS: 1,4 %) und *nukleare Sicherheit* (NS: 1,3 %) gemessen an den energiespezifischen FuI-Aufwendungen der EU-Wirtschaft kaum ins Gewicht.

Tabelle 5: Anteile einzelner Länder an den gesamten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft in den SET Plan Schlüsselaktionsfeldern 2014

Land	Insgesamt		Anteile einzelner Aktionsfelder an den länderweisen FuI-Aufwendungen im Energiebereich insgesamt in %								
	abs. in Mio. €	Anteil in %	RET	SSC	IFES	EEB	EEI	BEM	RFB	CCUS	NS
AUT	718	4,5	12,0	24,9	7,9	2,4	12,5	27,7	10,8	1,7	0,0
BEL	198	1,2	17,0	7,2	5,4	1,8	55,2	7,6	2,2	3,5	0,2
DEN	593	3,7	34,2	8,1	3,9	3,4	26,6	1,0	20,5	2,4	0,0
FIN	431	2,7	9,4	25,1	5,6	2,6	32,8	8,2	15,9	0,3	0,0
FRA	2.066	12,9	16,8	16,4	9,1	4,7	14,5	21,6	9,7	1,8	5,3
GER	7.994	49,8	18,1	9,2	6,4	2,2	16,5	32,0	14,2	1,0	0,5
ITA	622	3,9	20,7	17,2	5,3	3,4	29,5	13,4	9,4	1,1	0,0
NED	818	5,1	14,7	23,8	3,1	5,3	38,3	0,4	10,1	4,3	0,0
POL	157	1,0	14,9	7,5	9,3	6,4	42,3	4,1	15,5	0,0	0,0
ESP	310	1,9	52,0	8,7	9,0	2,8	15,4	5,6	4,7	0,4	1,4
SWE	609	3,8	14,7	38,4	2,2	1,9	12,3	24,7	3,6	0,8	1,3
GBR	1.151	7,2	18,5	18,8	6,8	6,1	21,6	13,6	10,6	1,5	2,5
übrige	373	2,3	21,1	14,5	5,7	4,6	28,7	4,9	15,6	1,1	3,8
EU-28	16.040	100,0	18,5	14,1	6,4	3,2	19,7	23,0	12,4	1,4	1,3

Quelle: Pasimeni et al. 2018. – Berechnungen des CWS.

Bedingt durch das hohe Strukturgewicht des Kraftfahrzeugbaus sind die FuI-Aufwendungen der deutschen Wirtschaft besonders stark auf das Aktionsfeld *Batterien und E-Mobilität* (BEM: 32 %) konzentriert. Auch bei *nachwachsenden Kraftstoffe/Bioenergie* (RFB: 14,2 %) ist Deutschland – gemessen an der Verteilung der FuI-Aufwendungen in ganz Europa – überdurchschnittlich spezialisiert. In allen anderen Feldern ergeben sich höchstens ähnlich hohe oder geringere Anteile. Ersteres gilt beispielsweise für *erneuerbare Energietechnologien* (RET: 18,1 %) und *integrierte und flexible Energiesysteme* (IFES: 6,4 %), letzteres für *intelligente Konsumentenlösungen* (SSC: 9,2 %) sowie *Energieeffizienz in der Produktion* (EEI: 16,5 %) (Tabelle 5).

Die einzelnen Mitgliedsländer zeigen teils deutlich abweichende Spezialisierungsprofile. *Schweden* hat einen herausragenden FuI-Schwerpunkt bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC) und ist darüber hinaus bei Batterien und E-Mobilität (BEM) zumindest leicht

überdurchschnittlich vertreten. *Frankreich* und *Großbritannien* setzen einen relativen Fokus auf intelligente Konsumentenlösungen (SSC) und nukleare Sicherheit (NS), in *Frankreich* kommen integrierte und flexible Energiesysteme (IFES), in *Großbritannien* Energieeffizienz in Gebäuden (EEB) hinzu. *Spanien*, *Dänemark* und etwas weniger ausgeprägt auch *Italien* weisen klare FuL-Schwerpunkte bei erneuerbaren Energietechnologien (RET) auf. *Dänemark* ist darüber hinaus noch bei nachwachsenden Kraftstoffen/Bioenergie (RFB) sowie Energieeffizienz in der Produktion (EEI) überdurchschnittlich vertreten, *Spanien* bei integrierten und flexiblen Energiesystemen (IFES) und *Italien* bei Energieeffizienz in der Produktion (EEI) sowie intelligenten Konsumentenlösungen (SSC). Die *Niederlande* legen ihren energiebezogenen FuL-Fokus auf intelligente Konsumentenlösungen (SSC) und Energieeffizienz in der Produktion (EEI); auch Technologien zur CO₂-Abscheidung, Verwendung und Speicherung (CCUS) sind hier vergleichsweise stark vertreten. *Finnland* und vor allem *Belgien* setzen hingegen einen FuL-Schwerpunkt auf Energieeffizienz in der Produktion (EEI); *Belgien* zeigt darüber hinaus noch relative Spezialisierungsvorteile bei Technologien zur CO₂-Abscheidung, Verwendung und Speicherung (CCUS), *Finnland* bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC) sowie nachwachsenden Kraftstoffen/Bioenergie (RFB). *Österreich* andererseits setzt relative Schwerpunkte bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC) sowie Batterien und E-Mobilität (BEM). *Polen* sticht bei Energieeffizienz in der Produktion (EEI) hervor, ist darüber hinaus aber auch bei nachwachsenden Kraftstoffen/Bioenergie (RFB), integrierten und flexiblen Energiesystemen (IFES) sowie Energieeffizienz in Gebäuden (EEB) überdurchschnittlich vertreten.

Da das Bild für den EU-28-Durchschnitt stark durch Deutschland geprägt ist, zeigt Abbildung 9 die Verteilung der FuL-Aufwendungen der Wirtschaft auf die neun Schlüsselaktionsfelder in Deutschland im Vergleich zur übrigen EU-28 (ohne Deutschland) in den Jahren 2008 und 2014.

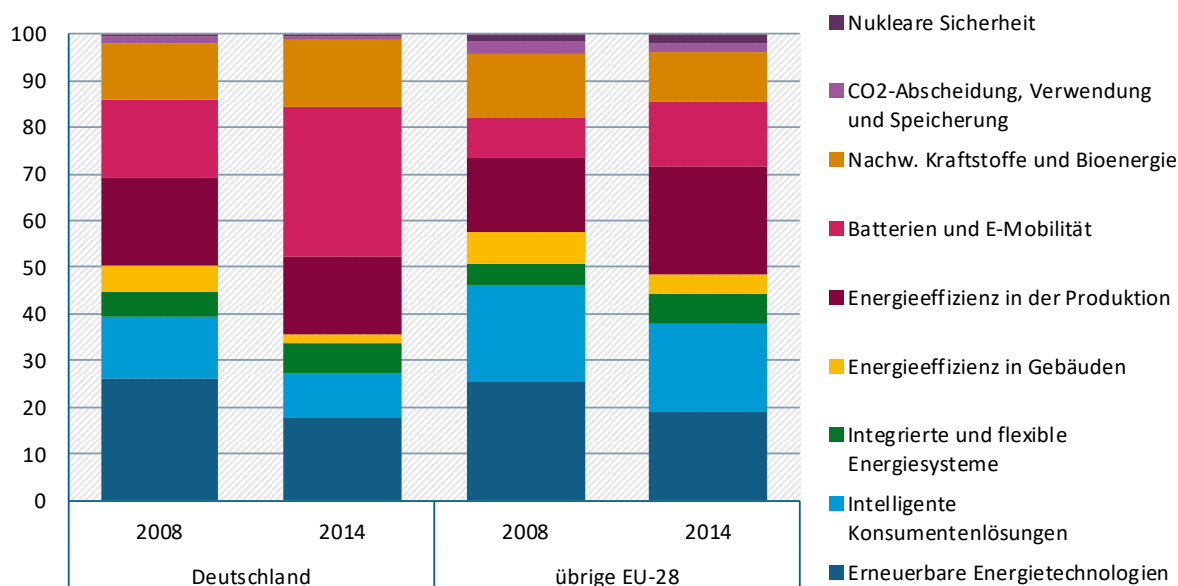
Dabei tritt die hohe Bedeutung des Aktionsfeldes Batterien und E-Mobilität in Deutschland (2014: 32 % gegenüber 14 % in den übrigen EU-28) noch stärker hervor. Zudem wird deutlich, dass die Forschungs- und Innovationsanstrengungen in diesem Aktionsfeld in beiden Vergleichsregionen bei insgesamt steigenden FuL-Aufwendungen³⁶ im Zeitablauf überproportional ausgeweitet worden sind, in Deutschland aber bereits 2008 mit 17 % einen sehr viel höheren Anteil an den gesamten energiebezogenen FuL-Aufwendungen ausgemacht haben als in der übrigen EU-28 (8,5 %). In Deutschland haben neben Batterien und E-Mobilität nur noch nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie sowie integrierte und flexible Energiesysteme im Zeitablauf strukturell etwas hinzugewonnen. Auch in den übrigen EU-28 hat sich bei den energiebezogenen FuL-Aufwendungen der Wirtschaft wie in Deutschland – neben Batterien und E-Mobilität – eine Gewichtungverschiebung zugunsten integrierter und flexibler Energiesysteme eingestellt. Hinzukommen Anteilsgewinne bei Energieeffizienz in der Produktion sowie im kleinsten Feld der nuklearen Sicherheit.

Für die hohe und wachsende Bedeutung der privaten Forschungsaufwendungen in den Feldern Batterien und E-Mobilität sowie nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie ist vor allem der Automobilsektor verantwortlich. Hierbei spiegeln sich einerseits die Anforderungen an die Automobilproduzenten wieder, bei konventionellen Antriebstechnologien die Effizienzgrade zu verbessern und die Emissionen zu senken, andererseits aber auch die Erwartungen, dass die Nachfrage nach E-Mobilität deutlich steigen wird (IEA 2018b). In Deutschland sind beide Anwendungsfelder bei den FuL-Aufwendungen der Wirtschaft infolge der hohen Bedeutung des Automobilsektors klar überrepräsentiert (vgl. Tabelle 6). Hieran werden die Unterschiede zwischen der stärker anwendungsbezogenen Definition der Schlüsselaktionsfelder der EU

³⁶ Basierend auf den Schätzungen von Pasimeni et al. (2018) waren die FuL-Aufwendungen der Wirtschaft für die neun Schlüsselaktionsfelder in Deutschland 2014 rund 34 % höher als 2008, in der übrigen EU-28 waren es 36 %.

(Fiorini et al. 2017a), die sich in den FuI-Aufwendungen der Wirtschaft widerspiegelt, gegenüber der technologiebezogenen IEA-Definition (IEA 2018c) zur Klassifikation der öffentlichen RD&D-Aufwendungen besonders deutlich (vgl. Abschnitt 2.1.2).

Abbildung 9: FuI-Aufwendungen nach SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern 2008 und 2014: Deutschland und übrige EU-28 insgesamt im Vergleich (Anteile in %)



Quelle: Pasimeni et al. 2018. – Berechnungen des CWS.

Tabelle 6: Forschungs- und Innovationsindikatoren für Deutschland in den SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern der EU 2014

	Anteil an den EU-28 in %	
	Öffentliche FuI	FuI in der Wirtschaft
Erneuerbare Energietechnologien	25,0	48,6
Intelligente Konsumentenlösungen	9,3	32,4
Integrierte und flexible Energiesysteme	8,0	49,7
Energieeffizienz in Gebäuden	25,6	34,7
Energieeffizienz in der Produktion	20,8	41,7
Batterien und E-Mobilität	-	69,2
Nachw. Kraftstoffe und Bioenergie	7,5	57,0
CO ₂ -Abscheidung, Verwendung und Speicherung	7,4	35,7
Nukleare Sicherheit	19,6	19,5

Quelle: Pasimeni et al. 2018. – Darstellung des CWS.

2.2.3 Bedeutung von Umweltinnovationen für Unternehmen im europäischen Vergleich

Im Jahr 2015 wurde im Rahmen der neunten Europäischen Innovationserhebung (Community Innovation Survey CIS) zum zweiten Mal als Schwerpunktthema die Bedeutung von Umweltinnovationen (*innovations with environmental benefits*) für die Unternehmen erfragt.³⁷ In diesem Bericht steht – anders als in der Vorgängerstudie (Gehrke et al. 2018), in welcher wesentliche Ergebnisse für Deutschland vorgestellt worden sind – der europäische Vergleich im Vordergrund. Dabei ist zu beachten, dass die hochgerechneten CIS-Ergebnisse für Deutschland von den in anderen Berichten dargestellten Zahlen, die sich aus der vom ZEW Mannheim durchgeführten deutschen Innovationserhebung ergeben, abweichen. Dies liegt darin begründet, dass sich die CIS-Ergebnisse aufgrund der methodischen Vorgaben von Eurostat nur auf Unternehmen mit 10 oder mehr Beschäftigten beziehen (andere Berichte: ab 5 Beschäftigte) und im Dienstleistungsbereich weniger Branchen umfassen als die deutsche Erhebung.³⁸

Erfasst wurden für den Zeitraum 2012 bis 2014

- ▶ die Einführung von prozessbezogenen Umweltinnovationen, deren Nutzen im innovierenden Unternehmen selbst stattfindet,
- ▶ die Einführung von produktbezogenen Umweltinnovationen, deren Nutzen beim Kunden anfällt,
- ▶ Faktoren, die die Einführung von Umweltinnovationen beeinflusst haben.³⁹

Bei den Unternehmen, die angeben, produktbezogene Umweltinnovationen eingeführt zu haben, handelt es sich zumindest im weiteren Sinne⁴⁰ um Anbieter von Umweltschutzgütern und Umweltschutzleistungen, die bei ihren Kunden zur Vermeidung und Verringerung von Emissionen sowie zur Ressourcenschonung beitragen.

Je nach Zielrichtung wird in der Fragestellung zwischen verschiedenen Arten von Umweltinnovationen unterschieden. Die Daten liegen für 22 EU-Mitgliedstaaten (einschließlich Deutschland) vor. Für mehrere große Länder (Frankreich, Spanien, Großbritannien) sind allerdings keine Angaben verfügbar. In Tabelle 7 sind die Ergebnisse zu umweltrelevanten Produktinnovationen im Ländervergleich dargestellt, Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse zu umweltrelevanten Prozessinnovationen. Um Unterschiede in der relativen Bedeutung von umweltrelevanten Innovationen in den einzelnen Mitgliedstaaten herausstellen zu können, werden die Nennungen zu den einzelnen Innovationsarten jeweils in Beziehung zur Anzahl aller länderweisen Unternehmen im Sample gesetzt.⁴¹

³⁷ Die erste ähnlich konzipierte Befragung erfolgte in der Welle 2009. Einen Überblick über wesentliche Ergebnisse finden sich in Gehrke, Schasse, Ostertag 2014, Kapitel 8.1.

³⁸ In der CIS-Erhebung werden nur Großhandel, Transportgewerbe, Banken und Versicherungen, EDV und Telekommunikation sowie technische Dienstleister berücksichtigt, in der deutschen Erhebung hingegen auch andere Unternehmensdienstleistungen (z. B. Wirtschaftsprüfung, Unternehmensberatung, Sicherheitsdienste). <https://www.zew.de/de/publikationen/zew-gutachten-und-forschungsberichte/forschungsberichte/innovationen/community-innovation-survey-cis/> (20.11.2018).

³⁹ Teils ähnliche Fragestellungen finden sich auch im Flash Eurobarometer 315 (European Commission 2011), das Anfang 2011 bei 5572 Managern aus den 27 EU-Mitgliedsstaaten deren Einstellung zu Öko-Innovationen abgefragt hat, darunter auch Treiber für Öko-Innovationen. Gravierende Methodische Unterschiede lassen einen Vergleich darauf aufbauender Ergebnisse (z.B. Triguero, Moreno-Mondéjar, Davia 2013) mit den CIS-Ergebnissen jedoch nicht zu.

⁴⁰ Während Umweltschutz in der CIS-Befragung auch ein Nebeneffekt der Innovation sein kann, stellt er in amtlichen Statistiken zur Erfassung der Umweltwirtschaft, sei es in der deutschen Erhebung von Waren, Bau und Dienstleistungen für den Umweltschutz als auch in der europäischen Erhebung (Environmental Goods and Services Statistics EGSS), das wesentliche Abgrenzungskriterium dar (vgl. Gehrke, Schasse 2019, forthcoming).

⁴¹ Diese Vorgehensweise unterscheidet sich von Eurostat, das in seinen Veröffentlichungen als Referenzwert alle innovativen Unternehmen verwendet. Vgl. dazu z. B. Eurostat (2018). Da sich die Innovatorenquoten zwischen den Ländern aber teils erheblich

Tabelle 7: Unternehmen mit Innovationen, die beim Endverbraucher Umweltvorteile generieren, im europäischen Vergleich 2012 bis 2014

	in % aller Unternehmen im Sample					nachrichtlich: Unternehmen, die Innovationen, egal welcher Art, eingeführt haben abs. in %	
	Umwelt- produkt- innovatoren insgesamt	Verringerung des Energie- verbrauchs/ CO ₂ - Fußabdrucks	Emissions- verringern (Luft, Wasser, Boden, Lärm)	Verbesserung der Recycl- barkeit	Erhöhung der Lebens- dauer		
Luxemburg	21,7	13,1	10,4	12,6	11,1	1.115	63,7
Deutschland	24,7	20,6	12,6	11,6	11,4	85.459	62,8
Österreich	25,2	17,1	11,3	9,8	12,1	9.801	58,9
Finnland	25,9	19,8	13,8	12,8	14,7	4.610	53,8
Portugal	22,6	11,7	10,3	15,2	12,1	9.830	52,8
Schweden	21,0	15,2	12,4	8,3	11,0	9.377	52,7
Griechenland	18,7	10,6	7,7	11,4	10,4	6.824	49,3
Dänemark	8,8	6,5	4,1	2,2	2,8	3.765	48,5
Italien	7,3	10,4	9,0	6,4	8,4	51.981	46,5
Slowenien	19,8	14,7	11,6	7,7	10,9	1.875	45,1
Litauen	13,1	8,3	8,0	4,3	4,5	3.203	42,1
Zypern	7,6	4,6	3,7	4,3	2,8	670	41,8
Tschechien	15,0	8,2	5,7	6,4	8,0	8.648	40,1
Kroatien	13,8	8,5	8,9	8,4	7,8	2.727	39,4
Malta	8,9	4,6	2,6	5,6	3,8	350	39,3
Slowakei	7,3	4,3	3,7	3,3	3,5	2.339	30,6
Estland	7,1	4,8	3,2	2,6	3,7	912	25,1
Lettland	7,0	3,2	3,6	2,7	3,2	1.237	24,7
Bulgarien	3,5	1,6	1,9	1,7	2,0	3.488	24,5
Ungarn	5,9	3,3	2,8	2,2	2,9	3.543	24,1
Polen	5,0	2,9	2,5	1,9	2,7	11.867	20,2
Rumänien	2,1	0,8	1,1	0,9	0,9	3.399	12,0
EU-22	14,2	11,5	8,3	7,3	8,0	227.020	44,7

Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eurostat, Community Innovation Survey 2014. – Berechnungen des CWS.

Aus den erzielten Antworten lassen sich zwar keine Angaben hinsichtlich des Umfangs der mit diesen Leistungen verbundenen FuE- und Innovationsaufwendungen ablesen. Dennoch wird deutlich, dass Umweltinnovationen für deutsche Unternehmen sowohl bezogen auf ihre Lieferungen und Leistungen an den Endkunden als auch bezogen auf ihre eigenen

unterscheiden, kann dies zu erheblichen Verzerrungen hinsichtlich der tatsächlichen Bedeutung von Umweltinnovationen innerhalb des jeweiligen Landes führen.

Produktionsprozesse von vergleichsweise hoher Bedeutung sind. So haben fast ein Viertel aller deutschen Unternehmen Innovationen mit Umweltvorteilen für den Endverbraucher eingeführt, im Durchschnitt der betrachteten 22 Länder (EU-22) sind es hingegen nur 14,2 %. Ähnlich hohe Anteile wie für Deutschland ergeben sich nur noch für Österreich und Finnland (Tabelle 7). Berücksichtigt man zusätzlich die Innovatorenquote insgesamt, die in Deutschland mit 63 % herausragend hoch ausfällt (EU-22: 45 %), zeichnen sich auch Slowenien und Schweden durch ein besonders hohes Gewicht produktbezogener Umweltinnovationen aus. In all den genannten Ländern kommt Produktinnovationen, die zu einer Verringerung des Energieverbrauchs bzw. des CO₂-Abdrucks je Produkteinheit beim Endverbraucher führen (EU-22: 11,5 %), im Vergleich mit den anderen produktbezogenen Umweltinnovationen (7 bis 8 %) besonders hohe Bedeutung zu. Spitzenwerte ergeben sich für Deutschland (21 %) und Finnland (20 %). Auch bei den anderen drei produktbezogenen Umweltinnovationsarten erreicht Deutschland klar überdurchschnittliche Anteile (Emissionsverringerung je Produkteinheit: 13 %; Verbesserung der Recycelfähigkeit: 12 %; Erhöhung der Lebensdauer durch haltbarere Produkte: 11 %). Der Vorsprung zum EU-22-Durchschnitt ist aber weniger ausgeprägt als bei Innovationen zur Verringerung des Energieverbrauchs bzw. des CO₂-Abdrucks.

Im Hinblick auf produktbezogene Innovationen zur Emissionsverringerung stechen in Referenz zur Innovatorenquote insgesamt vor allem Finnland, Schweden, Slowenien und Portugal hervor, im Hinblick auf die Verbesserung der Recycelfähigkeit Portugal, Finnland, Griechenland und Kroatien, in Bezug auf die Erhöhung der Lebensdauer von Produkten sind es Finnland, Portugal, Slowenien und Griechenland (Tabelle 7).

Der Blick auf Tabelle 8 macht deutlich, dass prozessbezogenen Innovationen mit Umweltvorteilen für das eigene Unternehmen im EU-22-Durchschnitt mit fast 23 % ein ungleich höheres Gewicht zukommt als auf die Bedürfnisse des Endkunden ausgerichteten produktbezogenen Umweltinnovationen (14 %, Tabelle 7). Dies gilt besonders für Deutschland, wo fast 40 % aller Unternehmen prozessbezogene Umweltinnovationen eingeführt haben. Bemerkenswert ist zudem Italien, wo dieser Anteil (20 %, Tabelle 8) fast dreimal so hoch ist wie der Anteil der Unternehmen, die mit ihren Innovationen Umweltvorteile beim Endkunden realisieren konnten (7 %, Tabelle 7).

Auch bezogen auf Umweltprozessinnovationen rangieren Innovationen zur Verringerung des Energieverbrauchs oder des Kohlendioxidausstoßes bzw. CO₂-Abdrucks je Produkteinheit an höchster Stelle (EU-22: 15 %) vor Innovationen zur Verringerung des Material- und Wasserverbrauchs (12 %), zur „klassischen“ Emissionsminderung (Luft, Wasser, Boden, Lärm) (12 %), zur Verbesserung der Aufarbeitung und Wiederverwertbarkeit (Abfall, Abwasser, Materialien) (10 %), zum Ersatz gefährlicher Materialien (9 %) und zum Ersatz fossiler durch erneuerbare Energiequellen (6 %) (Tabelle 8). Deutschland weist nicht nur für Umweltprozessinnovationen insgesamt, sondern auch über alle Einzelkategorien betrachtet überdurchschnittliche Anteile auf. Besonders ausgeprägt gilt dies für Innovationen zur Verringerung des Energieverbrauchs, die in Deutschland von rund einem Drittel der Unternehmen eingeführt worden sind. Erst mit deutlichem Abstand folgen Österreich und Finnland mit jeweils rund 20 %.

Der direkte Vergleich mit den Ergebnissen der sechsten Innovationserhebung für die Jahre 2006 bis 2008 ist nicht möglich, weil einzelne Veränderungen in der Fragestellung vorgenommen worden sind. Jedoch lässt sich feststellen, dass energie- und klimaschutzbezogene Umweltinnovationen für die Unternehmen relativ zu anderen Umweltinnovationen weiter an Gewicht gewonnen haben, insbesondere im eigenen Unternehmen, weniger ausgeprägt aber auch in Bezug auf entsprechenden Nutzen beim Endkunden.

Tabelle 8: Unternehmen mit Innovationen, die im eigenen Unternehmen Umweltvorteile generieren, im europäischen Vergleich 2012 bis 2014

	in % aller Unternehmen im Sample							nachrichtlich: Unternehmen, die Innovationen, egal welcher Art, eingeführt haben	
	Umwelt- prozess- innovato- ren insgesamt	Verringe- rung des Material- und Was- server- brauchs	Verringe- rung des Energie- ver- brauchs/ CO ₂ -Fuß- abdrucks	Emissi- onsverrin- gerung (Luft, Wasser, Boden, Lärm)	Ersatz gefähr- licher Materi- alien	Ersatz fossiler durch erneu- erbare Energie- quellen	Recycling von Abfall, Abwasser, Materia- lien	abs.	in %
Luxemburg	27,7	12,7	16,9	12,7	10,4	6,2	15,4	1.115	63,7
Deutschland	39,3	18,3	32,6	19,4	11,8	9,9	17,8	85.459	62,8
Österreich	32,3	16,3	21,1	16,0	14,4	8,7	14,1	9.801	58,9
Finnland	27,7	15,6	20,3	12,6	11,1	6,5	13,9	4.610	53,8
Portugal	31,8	13,6	15,5	14,4	13,3	4,8	25,6	9.830	52,8
Schweden	24,7	9,6	15,1	12,1	11,6	7,2	12,1	9.377	52,7
Griechenland	20,8	8,6	11,8	8,6	8,5	2,4	10,7	6.824	49,3
Dänemark	12,3	5,9	7,9	4,0	3,4	1,7	5,6	3.765	48,5
Italien	20,3	16,6	8,6	13,0	11,0	9,0	3,9	51.981	46,5
Slowenien	24,9	14,0	16,3	13,0	13,4	6,1	11,0	1.875	45,1
Litauen	19,9	6,3	15,4	11,3	5,7	1,9	4,9	3.203	42,1
Zypern	13,7	5,5	8,2	6,0	4,6	3,7	9,1	670	41,8
Tschechien	19,2	8,4	11,2	7,7	5,8	2,6	10,0	8.648	40,1
Kroatien	17,7	9,6	10,6	9,5	7,9	3,5	10,4	2.727	39,4
Malta	12,7	5,7	7,0	2,8	5,1	3,8	7,0	350	39,3
Slowakei	11,2	5,9	6,0	5,7	3,2	1,4	5,6	2.339	30,6
Estland	9,5	4,6	6,1	3,4	4,1	1,7	4,2	912	25,1
Lettland	9,2	3,5	5,0	4,0	3,7	0,7	3,4	1.237	24,7
Bulgarien	4,8	2,5	2,3	2,5	2,2	0,7	2,3	3.488	24,5
Ungarn	8,1	3,8	4,0	3,5	4,1	1,4	3,3	3.543	24,1
Polen	6,4	3,1	3,6	2,8	2,5	0,9	3,1	11.867	20,2
Rumänien	2,8	1,2	1,6	1,8	0,8	0,2	1,5	3.399	12,0
EU-22	22,6	12,0	15,1	11,6	8,6	6,0	9,6	227.020	44,7

Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eurostat, Community Innovation Survey 2014. – Berechnungen des CWS.

Gerade in Deutschland haben energie- und klimaschutzbezogene Innovationen durch die Energiewende einen besonderen Schub erhalten, da sie einen wichtigen Beitrag zur Realisierung der energiepolitischen Zielsetzungen leisten. Aber auch die Umsetzung der klima- und energiepolitischen Strategien und Ziele auf EU-Ebene⁴² impliziert weiteren Innovationsbedarf in diesem Segment, sowohl in Deutschland als auch den anderen EU-Mitgliedstaaten. Das gilt

⁴² https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_de

besonders für Prozess- und Produktinnovationen zur Verringerung des Energiebedarfs je Produkteinheit als besonders kosteneffektive Möglichkeit zur langfristigen Sicherung der Energieversorgung, zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Verringerung klimaschädlicher Emissionen (IEA 2018a).

Für die Entscheidung von Unternehmen, Umweltinnovationen einzuführen, können unterschiedliche Faktoren von Bedeutung sein. Zum einen spielt der Einfluss nationaler Regelungen eine Rolle, wobei sowohl bestehende als auch erwartete Regulierungen einen Anstoß für Umweltinnovationen geben können (Khanna et al. 2009). Zum anderen können nationale Förderpolitiken, Kosten- und Marketingüberlegungen ebenso wie die Nachfrage nach Umweltinnovationen oder Selbstverpflichtungen der Wirtschaft Ursache für die Einführung von Umweltinnovationen sein (Rammer et al. 2016).

Zur vergleichenden Betrachtung von Faktoren, die aus Sicht der Unternehmen die Einführung von Umweltinnovationen beeinflusst haben, werden diese in Relation zu allen Unternehmen mit Umweltinnovationen im jeweiligen Land gesetzt (Tabelle 9). Dabei ist jeweils der Anteil der Unternehmen dokumentiert, die den entsprechenden Faktor als „sehr wichtig“ bewertet haben.

Im Durchschnitt der hier betrachteten 21 EU-Länder haben drei Faktoren ähnlich hohe Bedeutung für die Einführung von Umweltinnovationen: Jeweils gut ein Viertel der Unternehmen nennt die Erfüllung bestehender gesetzlicher Regelungen, hohe bzw. steigende Energie- und Rohstoffkosten sowie die Verbesserung der Unternehmensreputation als sehr wichtigen Faktor. Knapp dahinter mit gut einem Fünftel der Nennungen folgen Selbstverpflichtungen oder Standards in der Branche. Zukünftige gesetzliche Regelungen (12 %), bestehende Umweltsteuern oder -abgaben sowie die derzeitige oder erwartete Marktnachfrage (jeweils rund 10 %) spielen demgegenüber im EU-21-Schnitt eine deutlich geringere Rolle. Schlusslicht bilden öffentliche Fördermaßnahmen, denen nur von 8 % der Unternehmen mit Umweltinnovationen eine sehr wichtige Bedeutung beigemessen wird.

Für einzelne Länder ergeben sich jedoch teils andere Bewertungen. Für Deutschland spielen steigende Energie- und Rohstoffkosten (26 %) eindeutig die größte Rolle vor der Erfüllung bestehender gesetzlicher Regelungen (20 %). Hingegen wird eine Verbesserung der Unternehmensreputation nur von 11 % der deutschen Umweltinnovatoren als sehr wichtiger Faktor genannt, während dieser Aspekt für die meisten Länder an vorderster oder zweiter Stelle steht. Bemerkenswert ist, dass hohe oder steigende Energie- und Rohstoffkosten in Dänemark, Griechenland und Italien von vergleichsweise geringer Bedeutung sind. Zudem wird einzig in Dänemark öffentlichen Fördermaßnahmen die größte Bedeutung für die Einführung von Umweltinnovationen beigemessen. Multivariate Analysen im Hinblick auf Unterschiede im Einfluss einzelner Faktoren auf verschiedene Formen von Umweltinnovationen auf Basis der Vorgängerbefragung aus dem Jahr 2009 kommen zu dem Ergebnis, dass unterschiedliche Umweltbereiche verschiedene Politikmaßnahmen fordern. So erhalten Innovationen in manchen Feldern eher Impulse aus Markteffekten (wie Umsatzsteigerungen durch Materialeinsparungen im Unternehmen oder durch die Herstellung energieeffizienterer Produkte), während sie vor allem in nachgeschalteten Technologien eher aus gesetzlichen Regelungen entstehen (Horbach, Rammer, Rennings 2013).

Tabelle 9: Bedeutung von Faktoren für die Einführung von Umweltinnovationen im europäischen Vergleich 2012 bis 2014

	Anteil der "sehr wichtig" - Nennungen an allen Unternehmen mit Umweltinnovationen in %							
	Erfüllung bestehender gesetzlicher Vorgaben/Regulierungen	bestehende Umweltsteuern oder Umweltabgaben	Erwartung künftiger oder geänderter gesetzlicher Regelungen	Öffentliche finanzielle Förderung von Umweltinnovationen	derzeitige oder erwartete Marktnachfrage	Verbesserung der Unternehmensreputation	Selbstverpflichtungen oder Standards in der Branche	hohe Kosten für Energie oder andere Rohstoffe
Bulgarien	29,7	16,8	15,1	13,9	19,6	51,3	33,3	42,4
Dänemark	15,1	15,2	16,7	20,3	14,7	10,7	14,5	10,7
Deutschland	19,7	6,2	9,6	5,6	4,5	10,9	11,9	26,3
Griechenland	36,0	23,7	16,4	13,1	19,0	43,1	27,3	9,5
Kroatien	41,7	24,3	24,3	18,0	16,9	42,9	22,3	41,7
Italien	28,5	7,8	11,3	7,8	9,4	43,0	39,0	14,2
Zypern	39,8	17,9	17,5	14,2	23,2	52,8	38,2	43,1
Lettland	27,1	24,2	25,3	23,4	22,0	50,3	20,2	50,9
Litauen	20,8	20,0	14,1	11,5	10,0	62,0	51,9	58,6
Luxemburg	18,8	12,8	10,4	9,0	16,8	38,8	27,2	21,2
Ungarn	33,1	18,1	16,3	8,4	28,3	43,9	18,1	36,6
Malta	29,8	23,1	14,9	27,3	14,9	41,3	28,1	49,6
Österreich	31,7	13,6	14,6	17,6	16,0	38,8	15,8	32,5
Polen	33,4	22,7	18,7	11,1	20,4	36,0	29,9	41,8
Portugal	34,6	20,4	19,5	8,7	12,9	35,5	27,9	38,4
Rumänien	54,7	25,6	24,9	16,1	21,9	57,7	20,3	40,4
Slowenien	34,1	17,7	19,0	13,4	15,3	40,1	26,6	39,5
Slowakei	35,2	23,0	19,8	10,2	24,3	41,5	33,0	43,2
Finnland	19,8	10,0	15,9	6,3	14,6	18,6	13,4	18,5
Schweden	27,0	11,3	14,1	n.v.	23,3	29,2	14,2	18,5
EU-21¹	25,2	10,2	12,3	7,8	9,7	25,8	21,2	25,4

1 ohne Estland, da die gemeldeten Daten zu diesem Indikator nicht plausibel sind. – n.v.: nicht vorhanden

Quelle: Eurostat, Community Innovation Survey 2014. – Berechnungen des CWS.

2.2.4 Interne FuE-Ausgaben der US-amerikanischen Unternehmen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen

In den USA wird seit der Umstellung der amtlichen FuE-Erhebung auf den Business R&D and Innovation Survey (BRDIS⁴³) ab Berichtsjahr 2008 auch erfragt, wie viel der unternehmerischen FuE-Ausgaben in Energieanwendungen (Produktion, Verteilung, Speicherung und

⁴³ Vgl. dazu ausführlich NSF (o.J.): Business R&D and Innovation Survey (BRDIS).
<https://www.nsf.gov/statistics/srvyindustry/about/brdis/>

Effizienzsteigerung⁴⁴) oder Umweltschutzanwendungen⁴⁵ fließt. Diese Informationen liegen aktuell differenziert nach Wirtschaftszweigen und Betriebsgrößenklassen in vergleichbarer Form für die Jahre 2010 bis 2015 vor. Befragt werden alle Unternehmen mit mindestens 5 Beschäftigten.⁴⁶

Im Jahr 2015 haben US-Unternehmen aus eigenen Mitteln rund 20,5 Mrd. US-\$ für Energieanwendungen und rund 7,5 Mrd. US-\$ für Umweltschutzzwecke aufgewendet. Hinzu kamen 4,25 Mrd. US-\$ (2,6 Mrd. für Energie- und 1,7 Mrd. für Umweltschutzanwendungen) aus externen Finanzierungsquellen, die vor allem im Umweltschutzbereich bezogen auf die gesamten FuE-Aufwendungen der Wirtschaft eine wichtige Rolle spielen.

Der Anteil der internen FuE-Aufwendungen für Anwendungen im Energiebereich an den gesamten internen FuE-Aufwendungen der Wirtschaft lag 2015 bei 6,9 %; für Umweltschutzzwecke wurden 2,5 % der FuE-Mittel verausgabt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Anteil interner FuE-Ausgaben US-amerikanischer Unternehmen für Energie- und Umweltschutzanwendungen an allen internen FuE-Ausgaben 2010 bis 2015

Anwen- dungs- bereich	Energie			Umweltschutz		
	Anteil an den gesamten internen FuE-Aufwendungen in %					
	Jahr	alle Unternehmen	darunter solche mit ...Beschäftigten		alle Unternehmen	darunter solche mit ...Beschäftigten
weniger als 250			250 und mehr	weniger als 250		250 und mehr
2010	7,4	10,0	7,0	3,6	7,3	2,9
2011	7,7	8,2	7,6	3,2	4,6	3,0
2012	8,3	9,0	8,2	2,8	3,5	2,7
2013	7,6	8,1	7,5	2,8	2,9	2,8
2014	7,1	10,1	7,0	2,9	3,6	2,9
2015	6,9	10,3	6,5	2,5	2,7	2,5

Quelle: NSF, BRDIS, verschiedene Jgge. – Berechnungen des CWS.

Während die US-amerikanischen Unternehmen mit Ausnahme des Jahres 2014 kontinuierlich geringere FuE-Anteile für Umweltschutzzwecke ausgegeben haben, 2008 lag dessen Anteil noch bei 3,6 %, war im Energiebereich zunächst ein relativer Prioritätszuwachs von 7,4 % (2010) auf 8,3 % (2012) zu verzeichnen. Seit 2013 hat sich diese Entwicklung aber wieder umgekehrt, so dass auch das Energiesegment in mittelfristiger Sicht anteilmäßig verloren hat.

⁴⁴ Die entsprechende Formulierung in Frage 4-7 des BRDIS Fragebogens 2015 lautet: „What percentage of the (R&D) amount (...) had energy applications, including energy production, distribution, storage, and efficiency (excluding exploration and prospection)?“ Vgl. <https://www.nsf.gov/statistics/srvyindustry/about/brdis/surveys/srvybrdis-2015-BRDI-1.pdf>

⁴⁵ In Frage 4-8 heißt es „What percentage of the amount (...) had environmental protection applications, including pollution abatement?“ Vgl. <https://www.nsf.gov/statistics/srvyindustry/about/brdis/surveys/srvybrdis-2015-BRDI-1.pdf>

⁴⁶ Die Daten sind auf der Homepage der National Science Foundation (NSF, o.J.) unter <http://www.nsf.gov/statistics/industry/> zum Download verfügbar.

Ungeachtet dessen bestätigt sich analog zur Entwicklung bei den staatlichen FuE-Budgets der USA (vgl. Tabelle 1 in Abschnitt 2.1.1) auch auf Seiten der Unternehmen die strukturelle Gewichtungverschiebung zwischen energie- und umweltschutzspezifischer FuE.

Bemerkenswert ist, dass kleine und mittlere Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten (KMU) jeweils höhere Anteile ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen verausgaben als größere Unternehmen. Im Energiebereich sind zudem die FuE-Anstrengungen von KMU 2014/15 anders als bei größeren Unternehmen wieder überdurchschnittlich ausgeweitet worden, so dass die anteilige Differenz zwischen KMU (10,3 %) und größeren Unternehmen (6,5 %) 2015 dort besonders ausgeprägt ist (Tabelle 10).

3 Patentanmeldungen im Umweltschutz

3.1 Methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Patentindikatoren

3.1.1 Betrachtete Umweltbereiche, Technologielinien und umweltfreundliche Güter

Zur Abbildung der Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft werden in der Projektfamilie „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ verschiedene Innovations- und Wettbewerbsindikatoren u. a. aus den Bereichen Produktion und Außenhandel, FuE und Patentanmeldungen analysiert. Um eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen diesen verschiedenen Blickwinkeln zu erreichen, wird die Analyse soweit möglich übereinstimmend auf sechs Umweltbereiche herunter gebrochen:

1. Luftreinhaltung
2. Lärmschutz
3. Abwasser
4. Abfall und Recycling
5. Mess-, Steuer- und Regeltechnik für den Umweltschutz
6. Klimaschutz, darunter
erneuerbare Energien, rationelle Energieumwandlung und rationelle Energieverwendung.

Ergänzend dazu werden, wie bereits im letzten Bericht (Gehrke et al. 2018), weitere Umweltbereiche - teils auch tiefer untergliedert - präsentiert. Sie orientieren sich an der Erfassung der Umweltwirtschaft in der Europäischen Statistik, d. h. an der „Classification of Environmental Protection Activities“ (CEPA) in Kombination mit der „Classification of Resource Management Activities“ (CReMA). Die CEPA fokussiert auf Umweltschutzaktivitäten und gliedert sich nach Umweltmedien und -problemen wie Luft, Lärm etc., während sich die CReMA der Beschreibung von Produktionstechniken, Gütern und Dienstleistungen widmet, die den Bestand an natürlichen Ressourcen schützen (Eurostat 2016). Einen Überblick über die Kernbereiche und die komplementären Bereiche aus CEPA und CReMA, für die Patentdaten vorliegen⁴⁷, gibt Tabelle 11. Jeder Umwelt- bzw. CEPA-/CReMA-Bereich ist mit einer Reihe von Technologielinien hinterlegt, die konkreter darlegen, was unter dem jeweiligen Bereich gefasst ist (vgl. Abschnitt A.2 im Anhang)⁴⁸. Eine Sonderrolle nimmt der Arten- und Landschaftsschutz (CEPA 6) ein. Die Möglichkeiten, hierfür relevante Technologielinien zu definieren, sind sehr begrenzt. Die schon von den passenden IPC-Klassen her enge Suchstrategie ergibt mengenmäßig nur sehr geringe Werte für die Zahl der weltweiten Patentanmeldungen im Artenschutz. Deshalb ist eine separate Betrachtung der Indikatoren in diesem Feld nicht sinnvoll. In aggregierter Darstellung werden unter der Bezeichnung „Umwelt“ alle Umweltbereiche inkl. Klimaschutz gefasst.

Außerdem werden neben Umwelttechnologien auch umweltfreundliche Güter abgebildet. Gemäß der Definition von Umwelttechnologien nach der bereits lange etablierten potenzialorientierten funktionalen Abgrenzung der Umweltschutzwirtschaft liegt deren Fokus auf Gütern und Technologien, die hinsichtlich ihrer Funktion dem Umwelt- und Klimaschutz dienen bzw. je nach tatsächlichem Einsatzzweck zumindest dienen können. Dagegen sind umweltfreundliche Güter („adapted goods“) folgendermaßen definiert:

⁴⁷ Einige CEPA- und CReMA-Bereiche sind nicht abgedeckt. So ist Strahlenschutz (CEPA 7) nicht Gegenstand der Betrachtungen im Projekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“. Weitere fehlende Bereiche sind nicht enthalten, weil sie ihrer Art nach keine patentierbaren bzw. technologiebasierten Aktivitäten sind (z. B. FuE-Tätigkeiten in CEPA 8, CReMA 15).

⁴⁸ Verschiedene Technologielinien wurden in Gehrke et al. (2018) neu dazu genommen und sind auch hier wieder abgebildet. Zu den Details und Implikationen der Erweiterung und Umstellung siehe dort.

“Adapted goods are goods that have been specifically modified to be more “environmentally friendly” or “cleaner” and whose use is therefore beneficial for environmental protection.”
(European Commission et al. 2014, S.106)

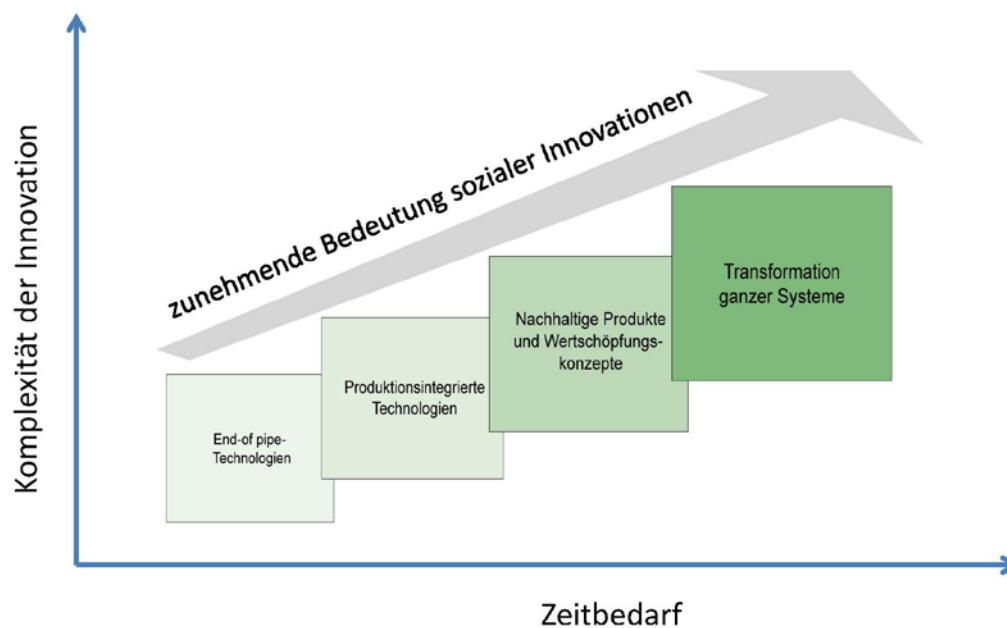
Umweltfreundliche Güter werden erst in jüngerer Zeit verstärkt betrachtet. Sie spielen für die Transformation zu einer Green Economy eine bedeutende Rolle (vgl. ausführlicher Gehrke et al. 2018, Walz et al. 2019 und Abbildung 10).

Tabelle 11: Liste der CEPA-/CReMa-Bereiche, für die Patentdaten vorliegen

CEPA / CReMA	CEPA / CReMA - Bezeichnung	Entsprechende Umweltbereiche im „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“	“Adapted goods” abgebildet?
CEPA 1	Luftreinhaltung und Klimaschutz	Luftreinhaltung	ja
CEPA 2	Gewässerschutz / Abwasserwirtschaft	Abwasser	nein
CEPA 3	Abfallwirtschaft	Abfall und (Teilbereiche von) Recycling	Abfall: nein Recycling: ja
CEPA 4	Schutz und Sanierung von Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser	komplementär	nein
CEPA 5	Lärm und Erschütterungsschutz	Lärmschutz	nein
CEPA 6	Arten- und Landschaftsschutz	komplementär	nein
CReMA 10	Wassermanagement	komplementär	nein
CReMA 11, CReMA 11B	Forstmanagement, darunter: Minimierung der Aufnahme von Waldressourcen	(Teilbereich von) Recycling: Papierrecycling	nein
CReMA 13	Management der Energieressourcen		
darunter CReMA 13A	Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen	Klimaschutz: Teilbereich Erneuerbare Energien	ja
Darunter CReMA 13B	Wärme-/ Energieeinsparungen und Management	Klimaschutz: Teilbereiche rationelle Energieumwandlung, rationelle Energieverwendung	nein nein
Darunter CReMA 13C	Minimierung der Aufnahme von fossilen Ressourcen als Rohstoff	(Teilbereich von) Recycling: Kunststoffrecycling	ja
CReMA 14	Management mineralischer Rohstoffe	(Teilbereich von) Recycling: Metall / Mineralstoffrecycling	ja
	(laut Eurostat in einzelnen CEPA-/CReMA-Klassen subsumiert, im Projekt separat ausgewiesen)	Mess- / Steuer- / Regeltechnik	nein

Quelle: Eurostat 2016, Ostertag und Marscheider-Weidemann 2014, eigene Darstellung.

Abbildung 10: Öko-Innovationstypen im Vergleich



Quelle: Fraunhofer ISI.

3.1.2 Datenquellen und Schätzmethoden

Die Patentrecherchen wurden mittels der Patent-Datenbank des Fraunhofer ISI basierend auf der PATSTAT-Datenbank in der Version von Herbst 2018 durchgeführt. Der aktuelle Rand der Daten liegt (weitgehend – s. unten) im Jahr 2016. Sie knüpfen vorrangig bei den Patentanmeldungen über das Verfahren gemäß Patent-Corporation-Treaty (PCT-Verfahren) an, mit dem Anmeldungen bei der World Intellectual Property Organisation (WIPO) hinterlegt werden können. Da dieses Anmeldeverfahren erst in jüngerer Zeit an Beliebtheit gewonnen hat und es auch weitere Möglichkeiten für internationale Anmeldungen von Patenten gibt, werden zusätzlich Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt hinzugerechnet, wobei Doppelzählungen von identischen Erfindungsmeldungen ausgeschlossen werden. Damit wird eine Methode zur Abbildung der internationalen Patente herangezogen, die nicht auf einzelne Märkte wie Europa abzielt, sondern einen stärker transnationalen Charakter aufweist. Die Anmeldungen werden entsprechend dem Wohnort der Erfinder den Ländern zugeordnet, was erfahrungsgemäß die Verzerrungen minimiert. Als Beobachtungszeitraum wird die Entwicklung seit 1991 betrachtet. Für den Querschnittsvergleich werden die Durchschnittswerte mehrjähriger Vergleichszeiträume herangezogen, so dass eine statistisch zuverlässige Grundgesamtheit erreicht wird, bei der zufällige Schwankungen in einzelnen Jahren ausgeglichen werden.

Die Suchstrategien basieren größtenteils auf Abfrageskripten, die verschiedene Klassen der International Patent Classification (IPC) logisch miteinander kombinieren und zum Teil zusätzlich Stichwortsuchen verwenden. Die Abfrageskripten des Fraunhofer ISI werden regelmäßig aktualisiert, auf die häufigen Novellierungen der IPC-Klassifikation angepasst und mit veröffentlichten Suchstrategien anderer Organisationen abgeglichen.

Darüber hinaus bietet die Y02/Y04-Klassifikation neben IPC-basierten Suchstrategien weitere Möglichkeiten, bestimmte umweltrelevante Patente zu identifizieren. Diese Klassifikation wird vom Europäischen Patentamt in Zusammenarbeit mit verschiedenen weiteren Organisationen im Kontext der Klimadebatte entwickelt und zielt darauf ab, speziell Klimaschutztechnologien

abzubilden (European Patent Office 2016). Das Fraunhofer ISI hat im Zuge dieses Projekts begonnen, die Suchstrategien für einzelne Technologielinien im Bereich Klimaschutz auf diese neue Klassifikation umzustellen (vgl. Anhang, Abschnitt A.2). Weiterer Forschungsbedarf, der im Rahmen dieses Projekts nicht adressiert werden konnte, besteht bezüglich der breiteren Verwendung der neuen Klassifikation u.a. in weiteren Umweltbereichen (z. B. Recycling, Abwasser, nachhaltige Mobilität) oder zur breiteren Abbildung von Energieeffizienztechnologien.

Ein Nachteil der Y02-Klassifikation besteht darin, dass die CPC-Klassifikation, auf der sie basiert, erst vergeben wird, wenn die Patente, die über das PCT-Verfahren angemeldet werden, in die nationale Phase übergehen. Dies ist erst 30 Monate nach Anmeldung der Fall. Der aktuelle Rand der Zahlen liegt deshalb hier noch weiter zurück als bei üblichen Patentrecherchen, nämlich aktuell im Jahr 2014. Soweit die Suchstrategien auf die Y02-Klassifikation zurückgreifen, werden die Zahlen deshalb für die Jahre 2015 und 2016 geschätzt. Die Hochrechnung erfolgt anhand der jährlichen Wachstumsraten des letzten 5-Jahres-Zeitraums (2010 - 2014).

Im Fall der erneuerbaren Energien scheint diese Schätzung jedoch zweifelhaft, da nach langem rasanten Anstieg ab 2011 ein deutlicher Rückgang der Patentanmeldungen zu verzeichnen ist. Die Hochrechnung anhand der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate würde je nach Wahl des Referenzzeitraums ganz unterschiedliche Werte ergeben – bei der Wahl der vergangenen 5 Jahre würde zum Beispiel rein rechnerisch ein weiteres Absinken ausgewiesen. Für diesen Fall erfolgt die Schätzung deshalb auf Basis der Werte der IPC-basierten Suchstrategie, korrigiert um einen Zuschlag für die durchschnittliche Differenz in den Patentanmeldezahlen, die sich aus beiden Suchstrategien ergeben.

3.2 Ergebnisse der Patentindikatorik

Im Folgenden werden verschiedene Patentindikatoren betrachtet, die sowohl die Dynamik der technologischen Entwicklung als auch Spezialisierungsmuster verschiedener Länder aufzeigen. Alle Auswertungen heben auf die Anzahl der Patentanmeldungen ab. Die Ergebnisse zu umweltfreundlichen Gütern (adapted goods) werden separat ausgewiesen.

3.2.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei potenziellen Umweltschutztechnologien

Die Patentdynamik zeigt die Entwicklung der Zahl der jährlichen Patentanmeldungen über die Zeit. Betrachtet wird der Zeitraum 1991 bis 2016. Als Basisjahr wird der Beginn des Betrachtungszeitraums herangezogen (1991 = 100). Der mit Abstand dynamischste Umweltbereich - und auch deutlich über der Gesamtentwicklung aller Technologien - ist der Klimaschutz (vgl. Abbildung 11 im Vergleich zu Abbildung 13). Insbesondere die Erneuerbaren Energien, die mit einem Anteil von ca. zwei Dritteln die Anmeldungen im Klimaschutz deutlich dominieren, haben weltweit bis 2011 einen Zuwachs um mehr als den Faktor 20 erfahren, befanden sich aber seither in einer deutlichen Abwärtsentwicklung. Diese scheint nun fast gestoppt: die Zahlen haben sich in den letzten zwei Jahren des Betrachtungszeitraums beinahe stabilisiert. In Deutschland ist die Patententwicklung der Erneuerbaren Energien strukturell ähnlich, d. h. sehr starkes Wachstum bis 2011, dann Trendwende und jetzt Anzeichen für eine Stabilisierung.

In der Wachstumsphase bis 2011 muss man jedoch feststellen, dass die Dynamik der Erneuerbaren Energien - und damit des Klimaschutzes insgesamt - in Deutschland deutlich hinter der weltweiten Entwicklung zurückblieb. Die Entwicklung seit 1991 belief sich „nur“ auf einen Anstieg um den Faktor 16. Dagegen haben Japan und die USA - gemessen am Patentanteil die beiden größten Player auf dem Gebiet der Erneuerbaren Energien (vgl. Abbildung 18) - die

weltweite Dynamik hier angetrieben (s. Abbildung 12 oben). Tatsächlich lag Deutschland in der Zeit auch hinter Frankreich, Großbritannien und Italien zurück. Bei weitem überflügelt haben die Entwicklung dagegen Korea, China und - auf europäischer Seite - Dänemark (s. Abbildung 12 unten). Diese Länder haben allerdings absolut gesehen (noch) keinen so großen Einfluss auf die weltweite Entwicklung, wie ihre relativ bescheidenen Patentanteile zeigen (vgl. Abbildung 18). Wegen des großen Gewichts der Erneuerbaren Energien im Verhältnis zu den zwei anderen Klimaschutzbereichen gelten diese Aussagen der Struktur nach auch für Klimaschutz als Ganzes, wobei hier China (und nicht Korea) die größte Dynamik aufweist (vgl. Abbildung B. 1).

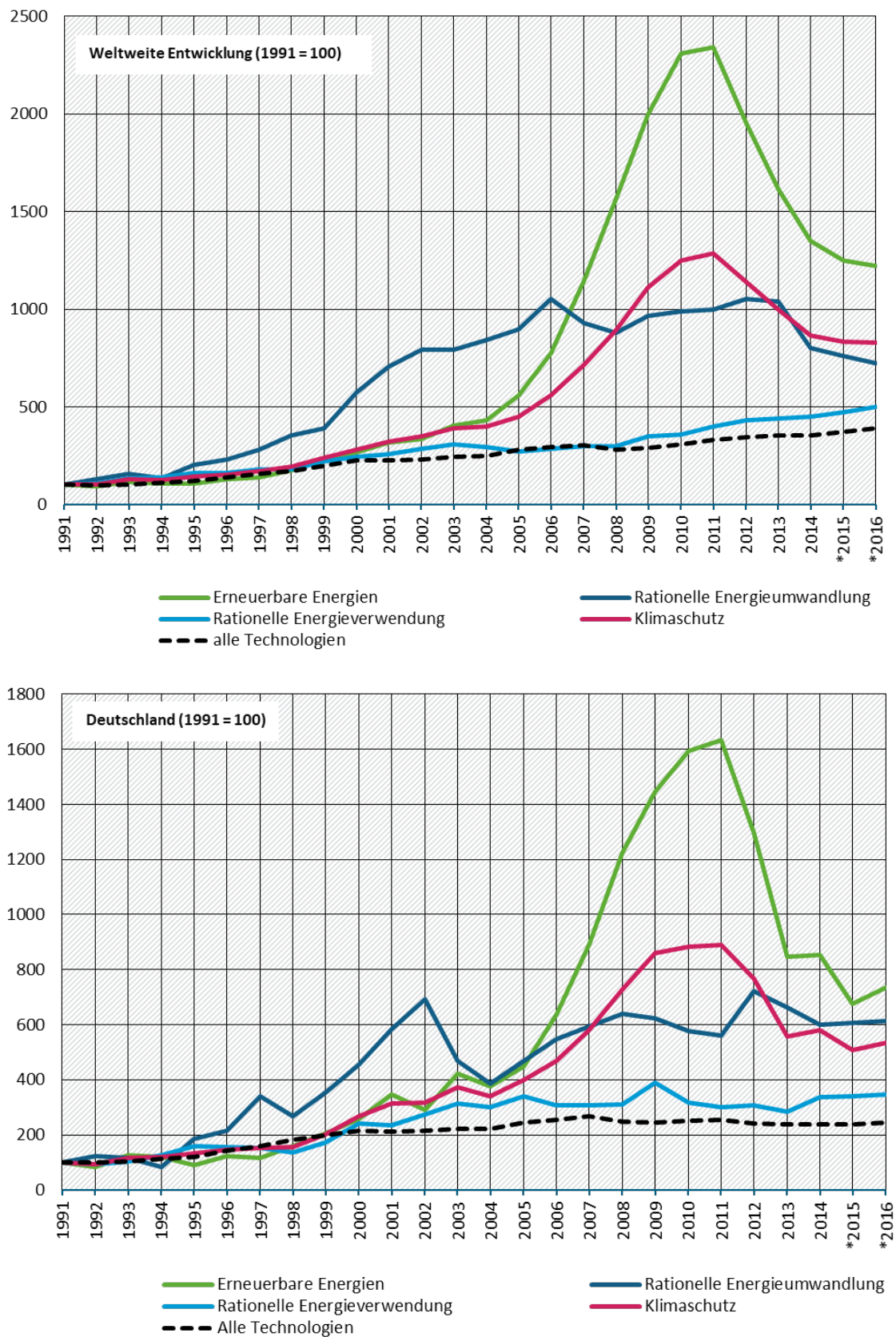
Die aktuelle deutliche Verlangsamung des Abwärtstrends der Patentzahlen bei Erneuerbaren Energien ist weltweit klar erkennbar. In Deutschland ist die Entwicklung etwas volatil: nach Stabilisierung in 2014 erfolgte 2015 erneut ein Rückgang, der sich aber 2016 in einen Anstieg verkehrt hat. Auch bei den Spitzenreitern ist ein Anstieg (Dänemark (DNK), China (CHN)) oder zumindest eine Stabilisierung zu sehen. Eine Vermutung wäre, dass die Beschlüsse der COP 21 in Paris 2015 (COP 21 2015) diese Entwicklung mit beeinflusst haben. Die Einigung darauf, die Erwärmung auf deutlich unter 2°C möglichst auf 1,5°C zu begrenzen, mag die Markterwartungen bzgl. eines stringenteren Klimaschutzes gesteigert und damit die Marktrelevanz von Klimaschutztechnologien erhöht haben.

Schaut man auf einzelne Technologielinien der erneuerbaren Energien, so ist in Deutschland die Entwicklung bei Windenergie maßgeblich für das aktuell positivere Gesamtbild: Windenergiepatente sind seit 2013 am stärksten gewachsen und machen inzwischen über die Hälfte aller Erneuerbaren Energien Patente in Deutschland aus. An zweiter Stelle folgt mit viel Abstand die Photovoltaik, wo der Abwärtstrend zumindest gestoppt scheint. Deutliche Zunahmen sieht man auch für Wärmepumpen, deren Patentzahlen sich aber insgesamt noch auf recht kleinem Niveau bewegen (s. Tabelle B. 6 und Tabelle B. 7)

Richtet man den Blick auch auf die anderen beiden Klimaschutzbereiche - Rationelle Energieverwendung und Rationelle Energieumwandlung - sieht man auf globaler Ebene einen stetigen wenn auch nur leichten Anstieg im ersten Fall, jedoch einen Rückgang im zweiten Fall (s. auch Wachstumsraten in Tabelle B. 8). Letzteres kann durch die Schätzmethoden bedingt sein und sollte weiter beobachtet werden. In Deutschland verläuft die Entwicklung in diesen beiden Teilbereichen des Klimaschutzes in den letzten beiden Jahren stagnierend. Zieht man den letzten 5-Jahreszeitraum heran (2012-2016), entwickelt sich die Rationelle Energieverwendung noch leicht positiv, aber unterhalb des globalen Wachstums. Dafür ist das Absinken bei Rationeller Energieumwandlung etwas schwächer als weltweit (s. Tabelle B. 8).

Vom dynamischsten Umweltbereich richten wir den Blick nun auf das andere Extrem: den schwächsten Verlauf unter den Umwelttechnologien auf globaler Ebene weisen zwei klar dem nachsorgenden Umweltschutz zuzuordnende Bereiche auf: der eher kleine Bereich Sanierung ist rückläufig und die Abfallpatente stagnieren. In Deutschland sind die absoluten Zahlen der Sanierungspatente so gering, dass sie sich einer weiteren statistischen Auswertung entziehen. Im Bereich Abfall ist ein deutlicher Rückgang der Patente über die lange Frist (vgl. Abbildung 13), aber auch in den letzten 5 Jahren (vgl. Tabelle B. 8) sichtbar.

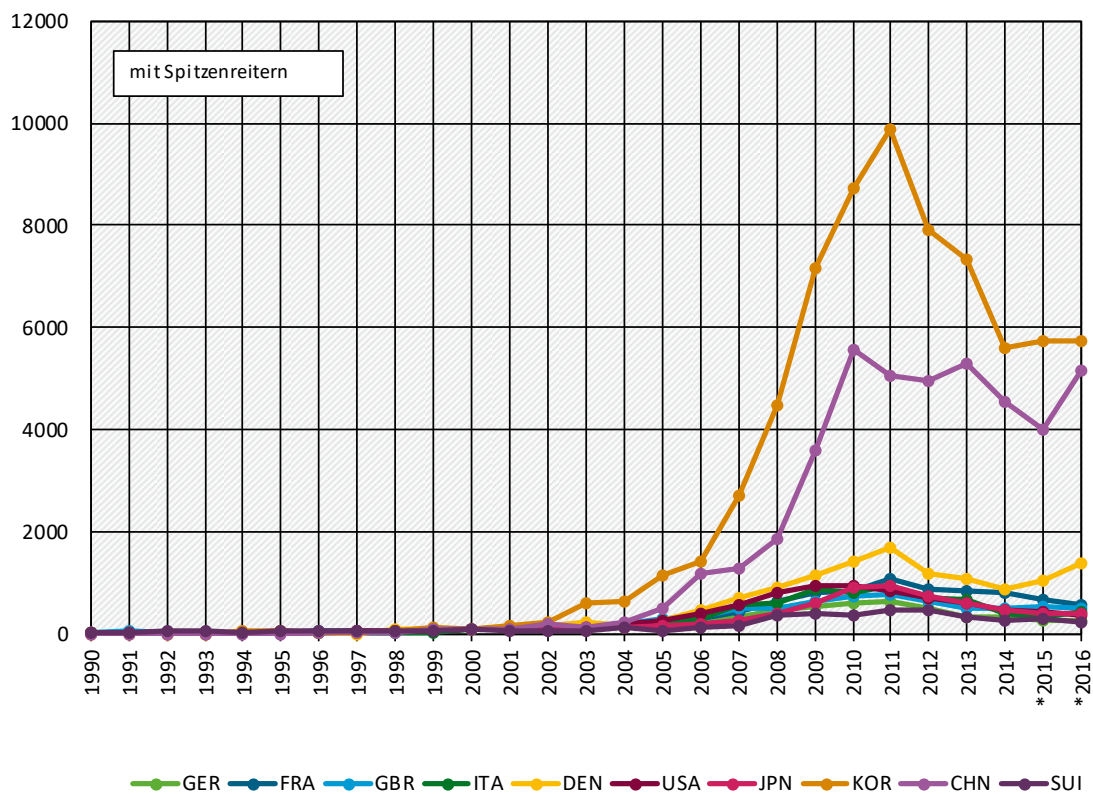
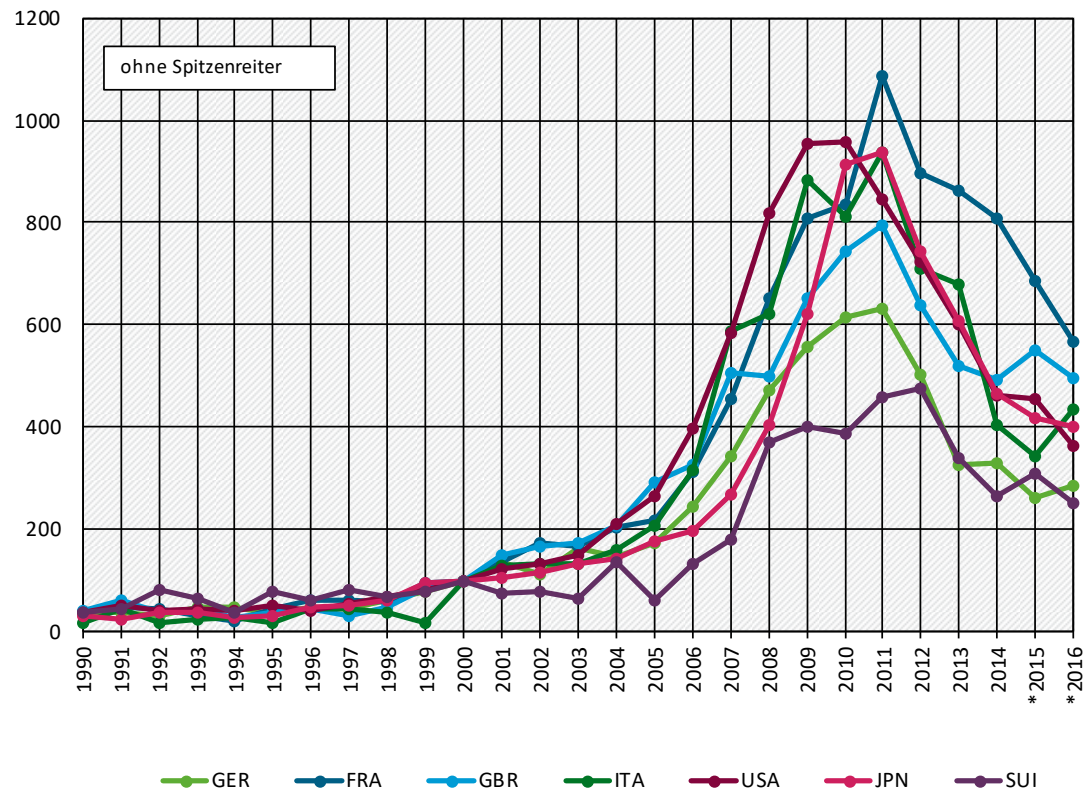
Abbildung 11: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz und Teilbereiche



*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

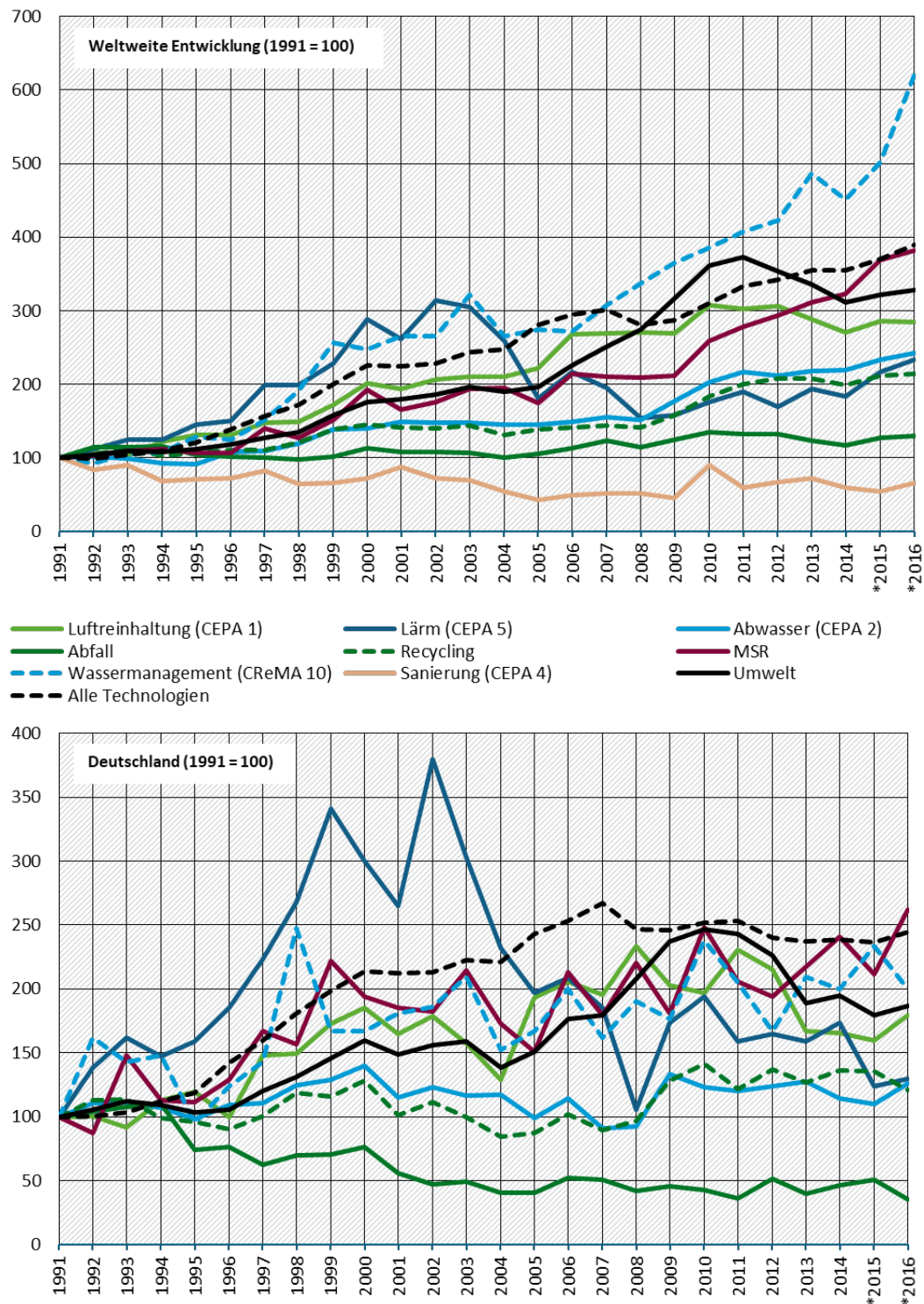
Abbildung 12: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien - Ländervergleich



*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI, *geschätzte Größen.

Abbildung 13: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien



Anm.: Wegen sehr geringer absoluter Zahlen bei Sanierungspatenten (CEPA 4) werden sie auf Ebene einzelner Länder nicht statistisch ausgewertet und sind deshalb in der Graphik für Deutschland nicht enthalten. *geschätzte Werte

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

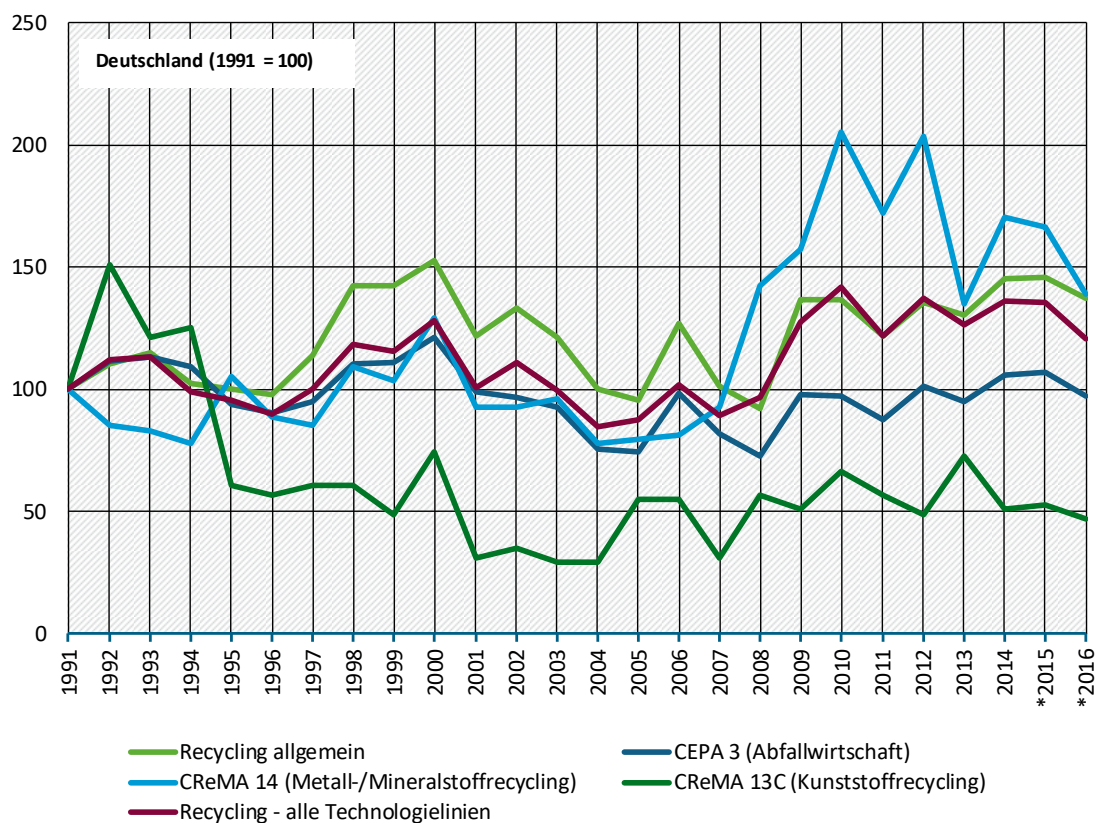
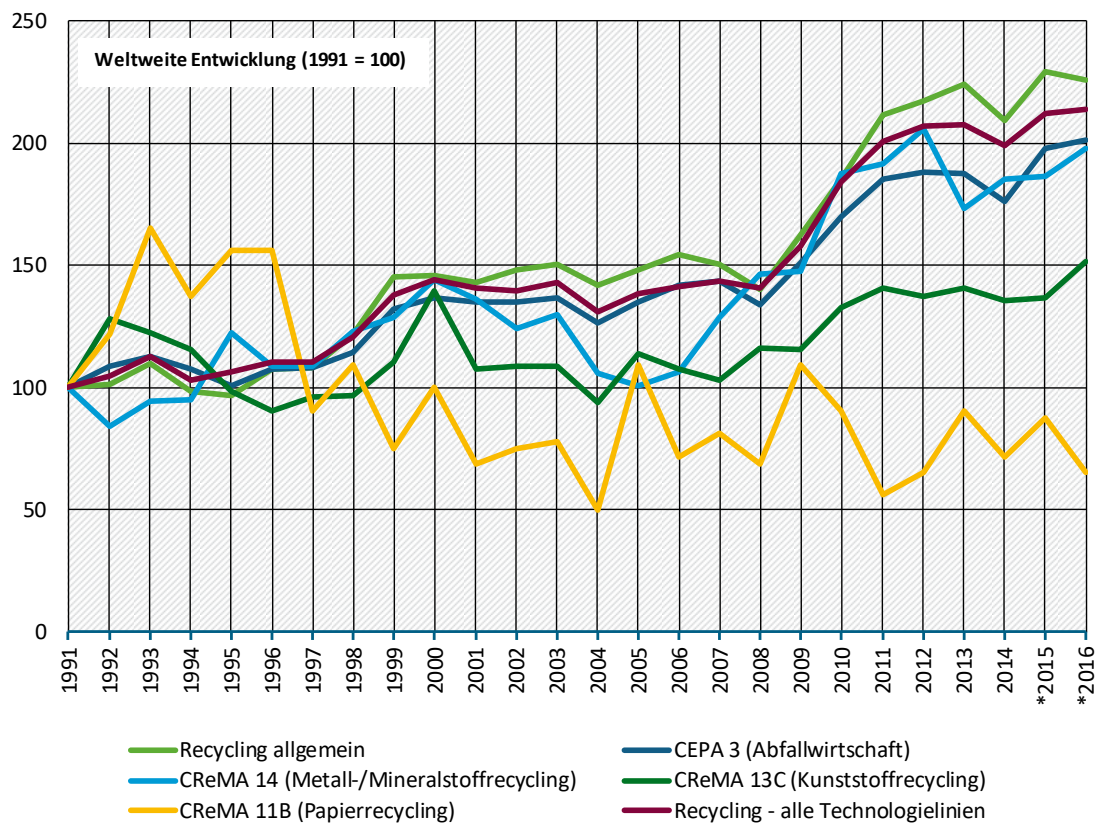
Etwas positiver ist die Entwicklung - weltweit und in Deutschland - beim Recycling, aber auch dieser Bereich gehört noch zu den Schlusslichtern in der Entwicklung, ähnlich wie Abwasser. Da der Bereich Recycling zahlenmäßig nach Klimaschutz zusammen mit Abwasser zu den größten

Umweltbereichen zählt und im Rahmen der politischen Agenden zur Ressourceneffizienz (European Commission 2015; BMUB 2016) eine bedeutsame Rolle spielt, betrachten wir ihn noch etwas detaillierter:

- ▶ Der am engsten abgegrenzte Bereich ist das Papierrecycling (CReMA 11B). Hier sind die Anmeldezahlen global rückläufig (vgl. Abbildung 14). Auf nationaler Ebene bewegen sie sich nur im einstelligen Bereich, so dass die statistische Basis für eine Betrachtung von Indikatoren nicht zuverlässig ist⁴⁹.
- ▶ Der größte und gleichzeitig über die lange Frist (seit 1991) auch der dynamischste Bereich ist das „Recycling allgemein“, also diejenigen Recyclingtechnologien, die keinem bestimmten Stoff- oder Abfallstrom zugeordnet werden können. Dies gilt global und bis 2007 auch für Deutschland.
- ▶ Verkürzt man die Perspektive jedoch auf den jüngsten 5-Jahres-Zeitraum (2012 - 2016), wandelt sich das Bild (vgl. Tabelle B. 8): Weltweit verzeichnet hier das Kunststoffrecycling (CReMA 13C) die höchsten Zuwachsraten - möglicherweise ein Spiegel der anhaltenden Diskussion um die Umweltproblematiken von Kunststoffen, die sich auch in aktuellen politischen Strategien auf EU-Ebene niederschlägt (European Commission 2018a, 2018b). In Deutschland ist die Dynamik hier allerdings negativ und auch der Patentanteil Deutschlands liegt unter dem Schnitt aller Umwelttechnologien (vgl. Abbildung 17). Bereits im vergangenen Bericht (Gehrke et al. 2018) hatten wir auf den möglichen Zusammenhang der technologische Dynamik des Kunststoffrecyclings mit der anhaltenden Dominanz der thermischen Verwertung von Kunststoffen hingewiesen (vgl. Abbildung 15). Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.
- ▶ Schließlich ist noch ein Blick auf das Recycling von Metallen und mineralischen Stoffen (CReMA 14) angezeigt. Unter den stoffspezifischen Teilbereichen (CReMA 11B, CReMA 13C, CReMA 14) verzeichnet dieser global die höchsten Zuwächse über die lange Frist, im jüngsten 5-Jahres-Zeitraum stagniert er aber - nach einem Einbruch in 2012 erholen sich die Zahlen nur langsam. In Deutschland war bis 2007 eine Stagnation festzustellen. Dann sind die jährlichen Anmeldezahlen jedoch deutlich in die Höhe gegangen mit Spitzenwerten in 2010 und 2012. Das Niveau konnte jedoch nicht gehalten werden und die Anmeldezahlen sind im aktuellen 5-Jahres-Zeitraum (2012-2016) rückläufig (vgl. Tabelle B. 8). Dies erstaunt etwas vor dem Hintergrund, dass seit 2009 unter FONA mehrere Bekanntmachungen zum Thema Metallrecycling erfolgt sind und viele Forschungsvorhaben angestoßen wurden (Woidasky 2013; Dürkoop et al. 2016; CUTEC o. J.; Fraunhofer ISI o. J.). Die Forschungsförderung konnte aber vermutlich die geänderte Marktsituation an den Rohstoffmärkten für Metalle nicht auffangen, wo die Preise ab 2011 bis 2016 im Sinken (vgl. DERA und BGR 2019) begriffen sind. Auch hier besteht weiterer Forschungsbedarf zum Innovationsgeschehen im Detail, auch bzgl. der mineralischen Stoffströme.

⁴⁹ In Abbildung 14 und Abbildung 21 wurde die CReMA 11B deshalb für Deutschland nicht abgebildet.

Abbildung 14: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft

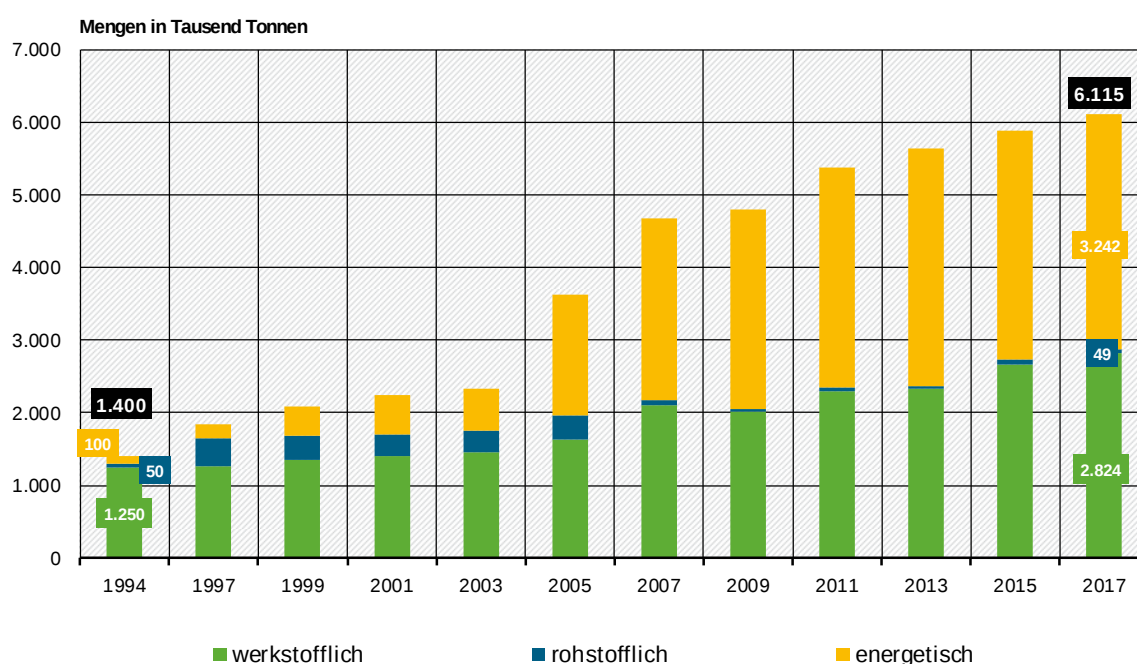


*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Beim Bereich Abwasser (CEPA 2) ist eine vergleichende Betrachtung mit dem Wassermanagement (CReMA 10) interessant, das die Wasserversorgung und Wassernachfrageseite abdeckt. Auch wenn dieser Bereich absolut gesehen von den Patentzahlen her noch wesentlich kleiner ausfällt als der Abwasserbereich⁵⁰, wird deutlich, dass er wesentlich dynamischer wächst. Auf globaler Ebene liegt er sogar deutlich über der allgemeinen technologischen Entwicklung und auch über der Gesamtheit aller Umweltpatente. In Deutschland bleibt dieser Teil der Wasserwirtschaft zwar hinter der allgemeinen technologischen Entwicklung leicht zurück, entwickelt sich jedoch ebenfalls deutlich dynamischer als die Abwasserwirtschaft. Dies spiegelt vermutlich die wachsende Sorge über die Auswirkungen des Klimawandels wider, die den Druck auf die Wasserversorgung erhöhen (Flörke et al. 2018; UN-WWAP 2015; IPCC 2014; Bundesregierung 2008, 2011).

Abbildung 15: Entwicklung der Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland



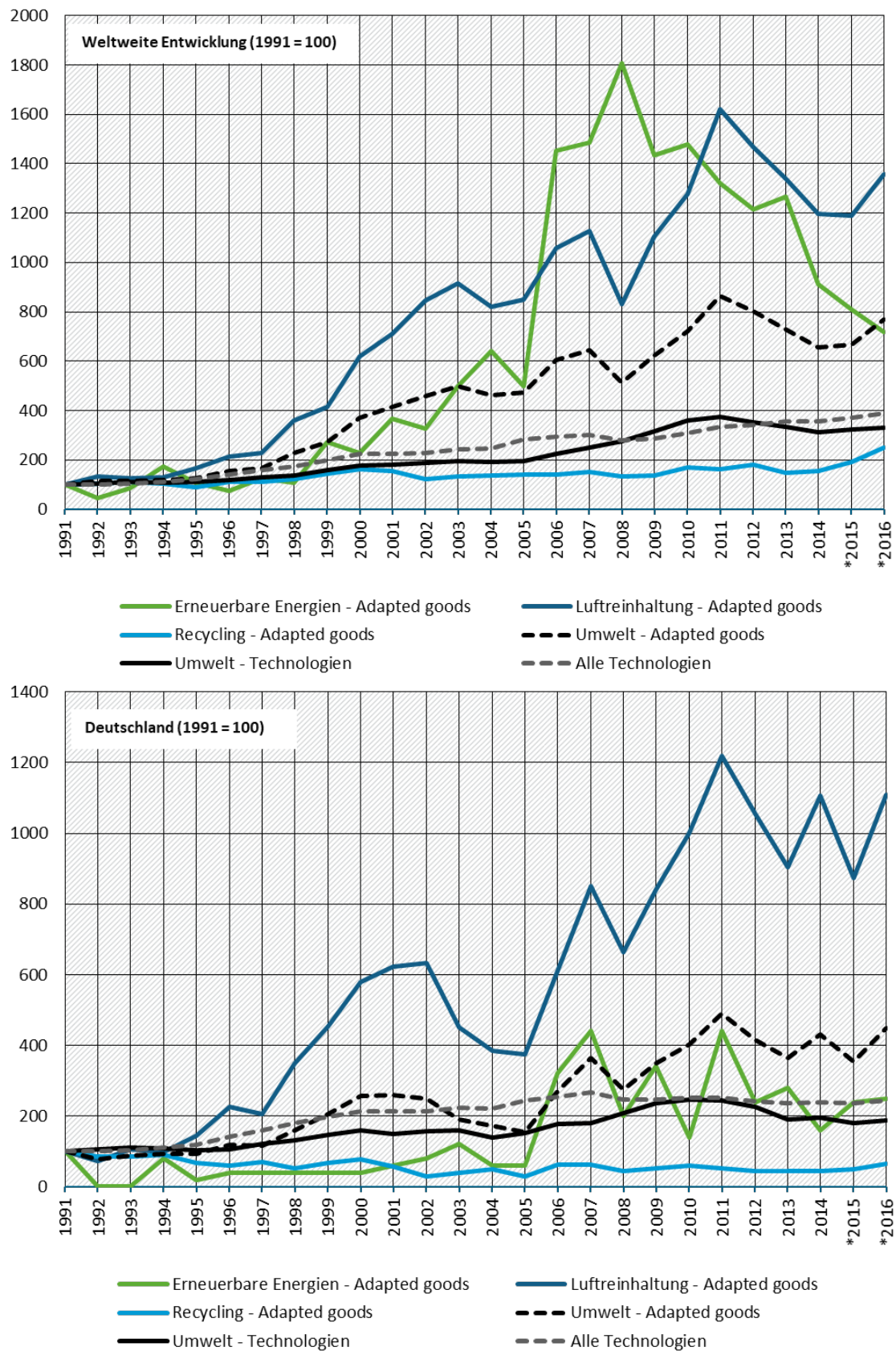
Quelle: UBA 2018.

Bemerkenswert ist die Entwicklung im Bereich der MSR: Hier ist global und auch in Deutschland ein deutlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen. Der Zuwachs liegt über dem Schnitt aller Umwelttechnologien und im aktuellen 5-Jahres-Zeitraum auch deutlich über der Dynamik aller Technologien insgesamt (vgl. Tabelle B. 8). Darin spiegelt sich möglicherweise der Megatrend der Digitalisierung wider.

Für alle Umwelttechnologien zusammen ist die Zahl der jährlichen Patentanmeldungen im letzten 5-Jahres-Zeitraum (2012 - 2016) rückläufig - in Deutschland stärker als auf globaler Ebene. Dies ist wesentlich durch die Entwicklungen bei Klimaschutztechnologien geprägt. Ebenfalls dadurch bedingt ist die Dynamik schwächer als die allgemeine technologische Entwicklung. In Deutschland konnte selbst im Boom der Klimaschutzpatente bis 2011 die allgemeine technologische Entwicklung bzgl. Zuwachsraten an Patenten nicht eingeholt werden.

⁵⁰ Der Bereich der CReMA 10 kommt weltweit betrachtet über den aktuellen 5-Jahreszeitraum (2012 - 2016) nur auf ca. 25 % der Patente des Abwasserbereichs (CEPA2).

Abbildung 16: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter („adapted goods“)



*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abschließend betrachten wir noch die Dynamik bei umweltfreundlichen Gütern (Abbildung 16). Von der Größe her wird dieser Bereich deutlich von den Patenten für umweltfreundliche Güter im Bereich Luftreinhaltung (Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge) dominiert, die global ca. 80 %, in Deutschland sogar ca. 90 % ausmachen. Auf weltweiter Ebene hat die Entwicklung der Zahl ihrer Patentanmeldungen die Entwicklung im Bereich der umweltfreundlichen Güter bei Erneuerbaren Energien im Jahr 2011 überholt. In den Folgejahren war die Zahl der jährlichen Patentanmeldungen rückläufig. Seit 2015 ist aber eine Trendwende mit wieder steigenden Anmeldezahlen erkennbar. In Deutschland sind Batterie- und Elektrofahrzeuge über die lange Sicht kontinuierlich der dynamischste Bereich der umweltfreundlichen Güter mit Wachstumsraten von rund Faktor 12 seit den 90er Jahren. In den letzten 5 Jahren ist die Entwicklung etwas wechselhaft: nach einem Rückgang ab dem Jahr 2011 kam es 2014 und 2016 zu einem erneuten Anstieg der jährlichen Anmeldezahlen, dazwischen aber auch wieder zu Einbrüchen, wobei sich die Schwankungen um ein stabiles Niveau herum zu bewegen scheinen. Die adapted goods bei Erneuerbaren Energien verzeichnen in Deutschland mengenmäßig nur sehr geringe Anmeldezahlen. Deshalb sind die statistischen Ergebnisse sehr volatil und nicht so stark belastbar. Ihre Patentzahlen entwickeln sich aufwärts aber nur sehr langsam. Dagegen haben die Anmeldungen für adapted goods im Recycling in Deutschland über die lange Sicht abgenommen. Global betrachtet stagniert ihre Zahl nahezu. Erst in den letzten drei Jahren ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen. In Deutschland ist dieser Anstieg nur sehr schwach ausgeprägt. Da dieser Bereich Produkte aus Sekundärrohstoffen erfasst, bildet er einen wichtigen Teil der Kreislaufwirtschaft ab. Die mangelnde technologische Dynamik zeigt, dass diese Ansätze bisher noch nicht sehr stark entwickelt werden.

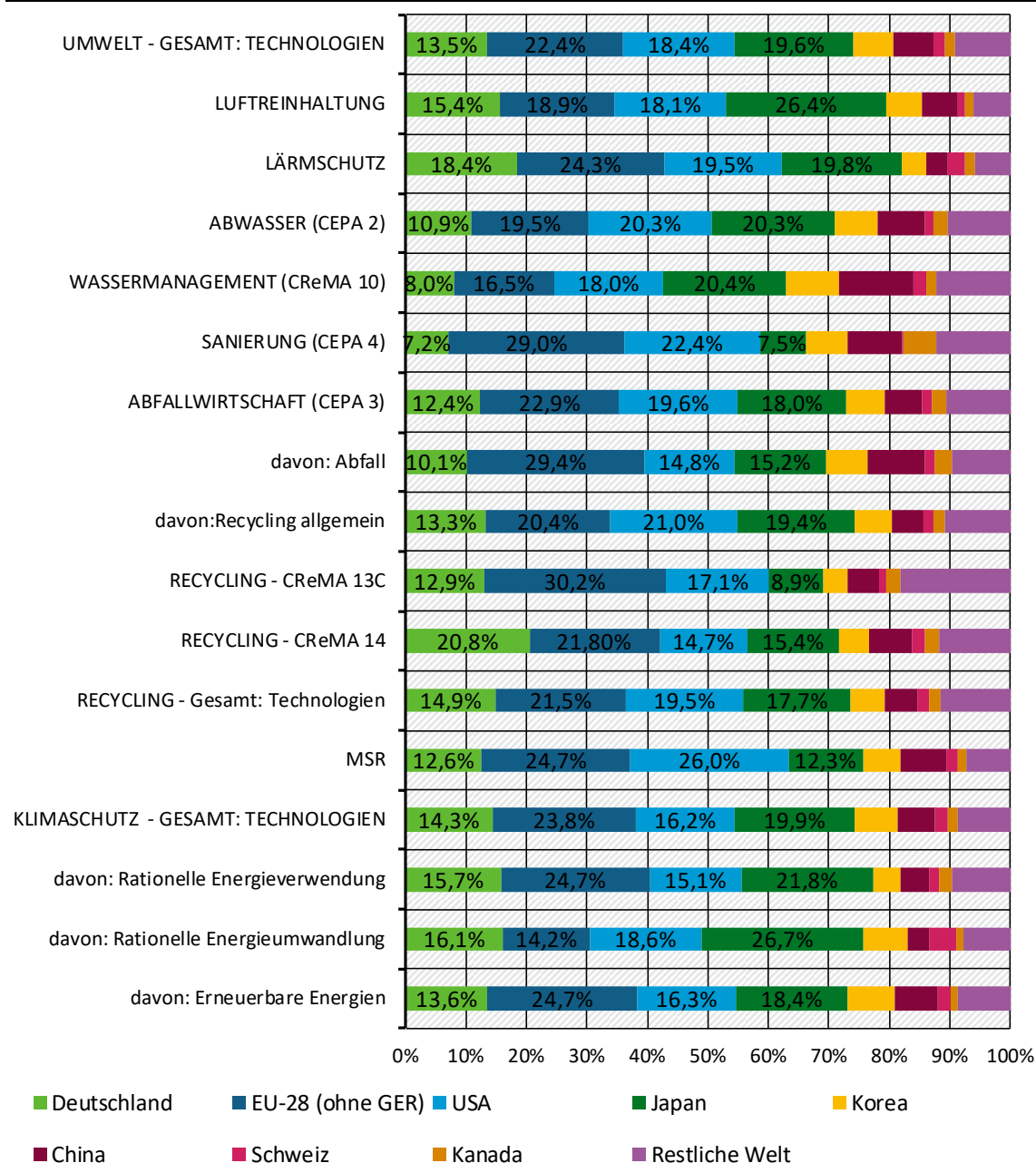
Vergleicht man abschließend die Entwicklung der Patentzahlen umweltfreundlicher Güter mit der Entwicklung bei Umwelttechnologien, sieht man bei ersteren insgesamt einen stärkeren Zuwachs der Patentzahlen weltweit, und auch in Deutschland. Das gilt auch im Verhältnis zur allgemeinen technologischen Entwicklung, wenn auch in Deutschland erst ab 2006. Insgesamt kann dies als ein Zeichen dafür gesehen werden, dass sich das Innovationsgeschehen in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte“ verlagert und somit näher an eine Transformation des ganzen Systems heranrückt (vgl. Abschnitt 3.1.1). Gleichzeitig besteht aber auch noch Forschungsbedarf, wie umweltfreundliche Güter noch besser in der Patentstatistik abgegrenzt werden können.

3.2.2 Patentanteile bei potenziellen Umweltschutztechnologien

Anhand der Patentanteile des letzten 5-Jahres-Zeitraums erkennt man aktuell bedeutende Technologieführer. Deutschland ist hier auf Platz drei hinter Japan und den USA, wenn man die Umwelttechnologien insgesamt betrachtet (vgl. Abbildung 17 und Tabelle B. 9 im Anhang). Zieht man einen Vergleich unter den einzelnen Umweltbereichen, fällt der Blick auf das Recycling von Metallen und Mineralstoffen. Hier weist Deutschland den höchsten Patentanteil auf - im Vergleich zu anderen Technologielinien, aber auch im Vergleich zu anderen Ländern in derselben Technologielinie. Japan und USA folgen auf Platz 2 und 3. Das heißt, obwohl die Dynamik hier im letzten 5-Jahres-Zeitraum verhalten ist (vgl. Abbildung 14), behauptet sich Deutschland in diesem Bereich gut, auch wenn sein Patentanteil gegenüber dem Zeitraum 2007-2011 gesunken ist. Den zweithöchsten Patentanteil weist Deutschland im Lärmschutz auf. Die Zahl der Patentanmeldungen ist hier zwar stark rückläufig (vgl. Abbildung 13), dies spiegelt aber teils einen globalen Trend wider. So ist Deutschlands Patentanteil zwar deutlich abgeschmolzen⁵¹, aber immer noch über dem Durchschnitt aller Umwelttechnologien.

⁵¹ Im Zeitraum 2002 - 2006 lag Deutschlands Patentanteil bei Lärmschutz noch bei über 25 %.

Abbildung 17: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien⁽¹⁾ (2012-2016)

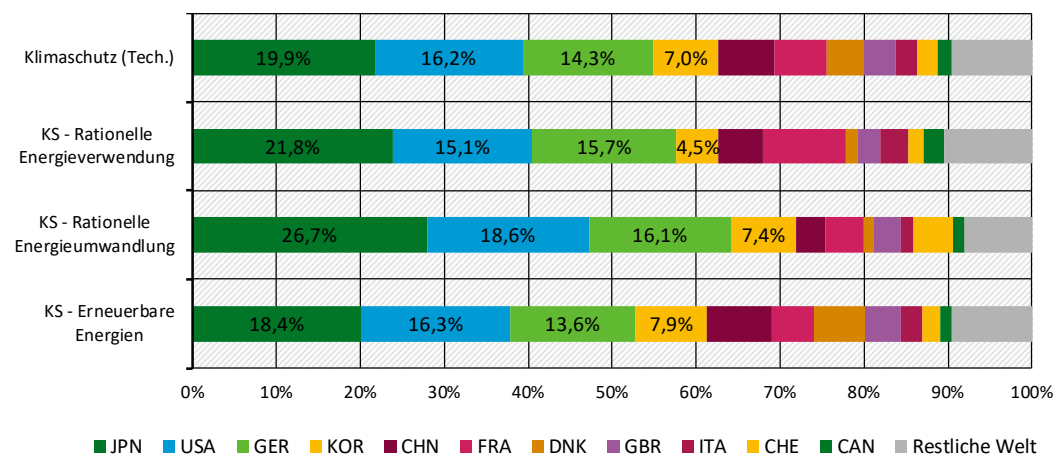


(1) CEPA 3 inkl. „adapted goods“;

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Auch in der Rationellen Energieumwandlung hat Deutschland im Vergleich zum Durchschnitt aller Umwelttechnologien einen höheren Patentanteil. Den weltweit größten Anteil hat hier aber Japan, und auch die USA liegen noch vor Deutschland. Hier betrachten wir die verschiedenen Bereiche des Klimaschutzes etwas detaillierter. Deutschland liegt hier durchgängig auf Platz 3 hinter Japan und den USA (vgl. Abbildung 18) und weist einen durchgängig - wenn auch teilweise nur knapp - höheren Patentanteil auf als bei Umwelttechnologien insgesamt. Deutschland liegt auch in allen Teilbereichen sehr deutlich vor den europäischen Mitbewerbern. Auffällig ist die bedeutende Rolle von Korea und China, die ebenfalls die europäischen Länder bis auf Deutschland überholt haben, sieht man von wenigen Ausnahmen ab - z. B. Frankreich bei der rationellen Energieverwendung (s. auch Abbildung B. 2 im Anhang).

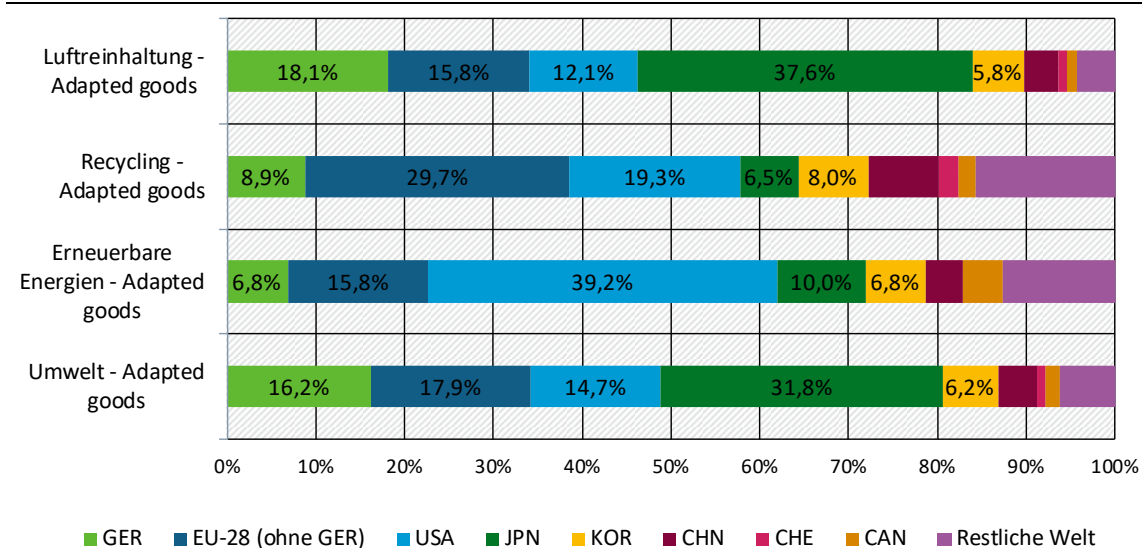
Abbildung 18: Patentanteile ausgewählter Länder bei Klimaschutztechnologien (2012-2016)



Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abschließend werfen wir noch einen Blick auf die Patentanteile bei umweltfreundlichen Gütern (vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Patentanteile ausgewählter Länder bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“)



Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Insgesamt schneidet Deutschland hier mit einem Patentanteil von 16,2 % gegenüber 13,5 % leicht besser ab als bei Umwelttechnologien. Dies ist stark getrieben durch seinen Anteil bei Patenten für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge, die unter „adapted goods“ bei Luftreinhaltung gefasst sind. Mit Abstand führend bei adapted goods für die Luftreinhaltung ist allerdings Japan. Auffällig ist der sehr hohe Anteil der USA bei umweltfreundlichen Gütern im Bereich Erneuerbare Energien, worunter vor allem feste Brennstoffe aus Abfallstoffen und Bioethanol aus Korn gefasst werden (vgl. Abschnitt A.2). Dieser Bereich ist seit jeher stark von den USA dominiert. Die Patentzahlen sind jedoch rückläufig, und zwar in den USA noch mehr als auf globaler Ebene, so dass die USA an Patentanteil eingebüßt haben. Insgesamt handelt es sich aber um einen recht kleinen Technologiebereich. Wollte man die genaueren Treiber der Entwicklungen in diesem Feld betrachten, müsste man seine Verknüpfungen mit anderen Politikressorts und -agenden in die Betrachtung einschließen (Landwirtschaft, Abfallwirtschaft).

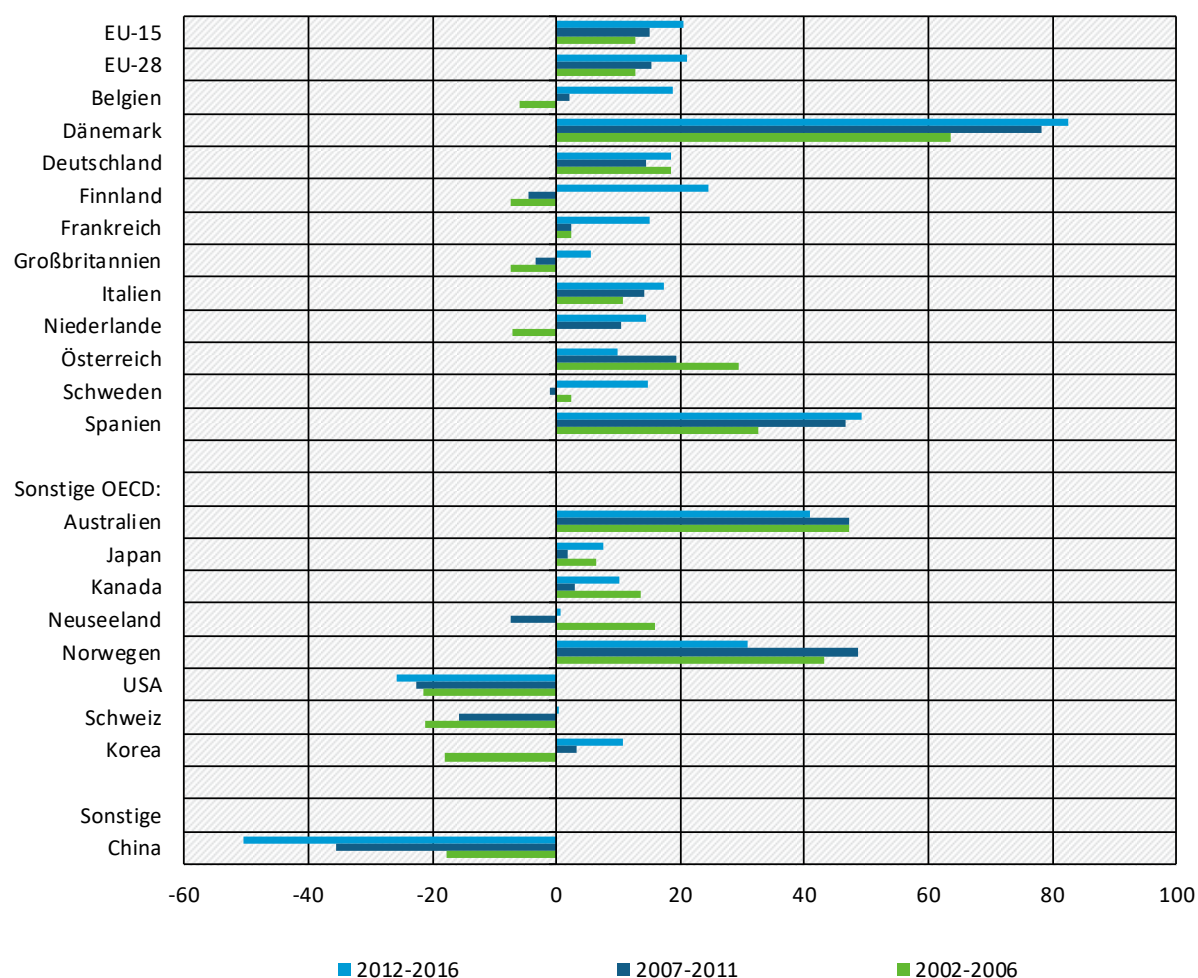
Dies ist im Rahmen dieses Projekts jedoch nicht möglich. Der Anteil der EU-28 (ohne Deutschland) ist bei den adapted goods im Bereich Recycling besonders hoch. Dahinter liegt neben dem Anteil von Deutschland vor allem noch Frankreich mit 6,2 %.

3.2.3 Spezialisierungsmuster bei potenziellen Umweltschutztechnologien

Der Indikator der Patentanteile spiegelt zum Teil auch die Größe einer Volkswirtschaft wider. Um diese Art der Verzerrung im Ländervergleich auszugleichen, wird auf den „Relativen Patentanteil“ (RPA) als Spezialisierungsmaß zurückgegriffen. Er vergleicht den Patentanteil eines Landes in dem jeweils ausgewählten Technologiebereich mit seinem Patentanteil bei allen Technologien zusammen (vgl. mathematische Definition im Anhang, Abschnitt A.1).

Wie Abbildung 20 zeigt, ist das Spezialisierungsmaß für Deutschland für Umwelttechnologien positiv und hat sich gegenüber dem vorherigen 5-Jahres-Zeitraum etwas verbessert. Das heißt, dieses Kompetenzfeld nimmt in dem Profil Deutschlands eine herausgehobene Stellung ein. Mit einem RPA-Wert nahe 20 ist dies auch schon relativ deutlich ausgeprägt. Auch die EU (15 und 28) weisen ähnliche RPA-Werte auf und haben diese im Zeitverlauf gesteigert. Besonders auffällig ist die starke Spezialisierung von Dänemark, die stark von seiner Performance bei Erneuerbaren Energien getrieben ist. Wie schon im letzten Bericht angemerkt, bewegt sich der RPA von Österreich nach unten. Dies ist auch auf Basis der aktualisierten Werte der Fall. Damit stellt Österreich aber eine Ausnahme in der EU dar.

Abbildung 20: Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich Umwelttechnologien (RPA-Werte)

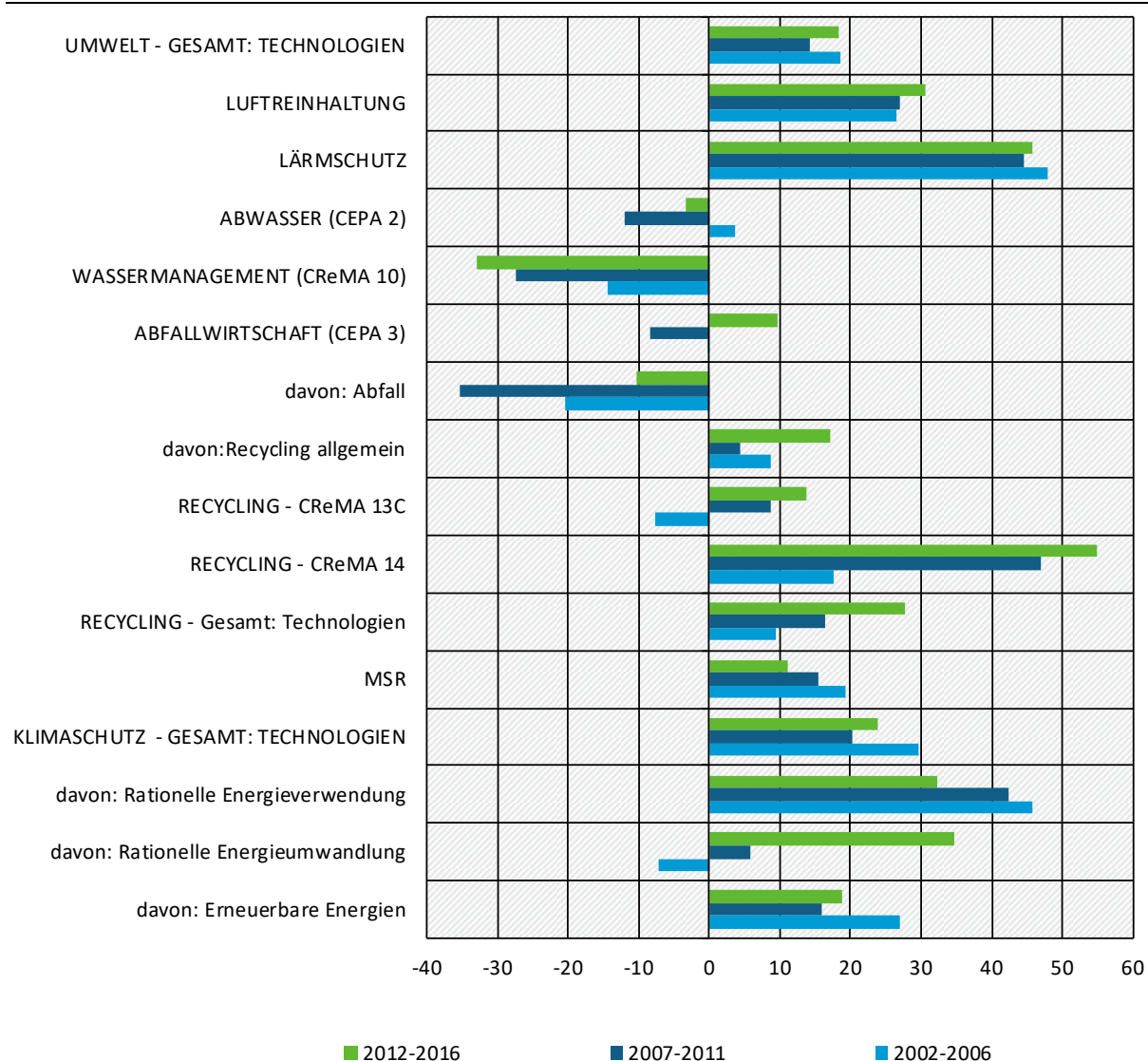


Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Außerhalb der EU betrachten wir zunächst die zwei größten Volkswirtschaften der Welt, USA und China. Beide weisen deutlich negative Spezialisierungswerte auf, die im Zeitverlauf auch noch weiter gesunken sind. Im Fall von China liegen dahinter zwar steigende Patentanteile für Umwelttechnologien, gleichzeitig steigt aber sein Patentanteil bei allen Technologien insgesamt noch deutlicher. Die USA dagegen weisen sowohl bei allen Technologien als auch bei Umwelttechnologien im Zeitverlauf fallende Patentanteile auf, wobei sie aber bei Umwelttechnologien schneller sinken und so zu abnehmenden RPA-Werten führen. Für die weltweite Akkumulation von Wissen bezüglich möglicher Lösungen für drängende Nachhaltigkeitsprobleme ist diese Situation nicht optimal. Sehr hohe positive Ausschläge der RPA-Werte wie zum Beispiel bei Australien, Norwegen und Dänemark, ergeben sich leichter für kleine Länder (i.S.v. Länder mit niedrigen Patentanteilen) und sollten nicht überinterpretiert werden.

Für Deutschland betrachten wir die RPA-Werte auch disaggregiert nach einzelnen Umweltbereichen (vgl. Abbildung 21 unten und Tabelle B. 10 im Anhang).

Abbildung 21: Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte)



Anm.: CEPA 3 inkl. „adapted goods“; CEPA 4 und CReMA 11 wegen geringer absoluter Anzahl von Patenten nicht statistisch ausgewertet

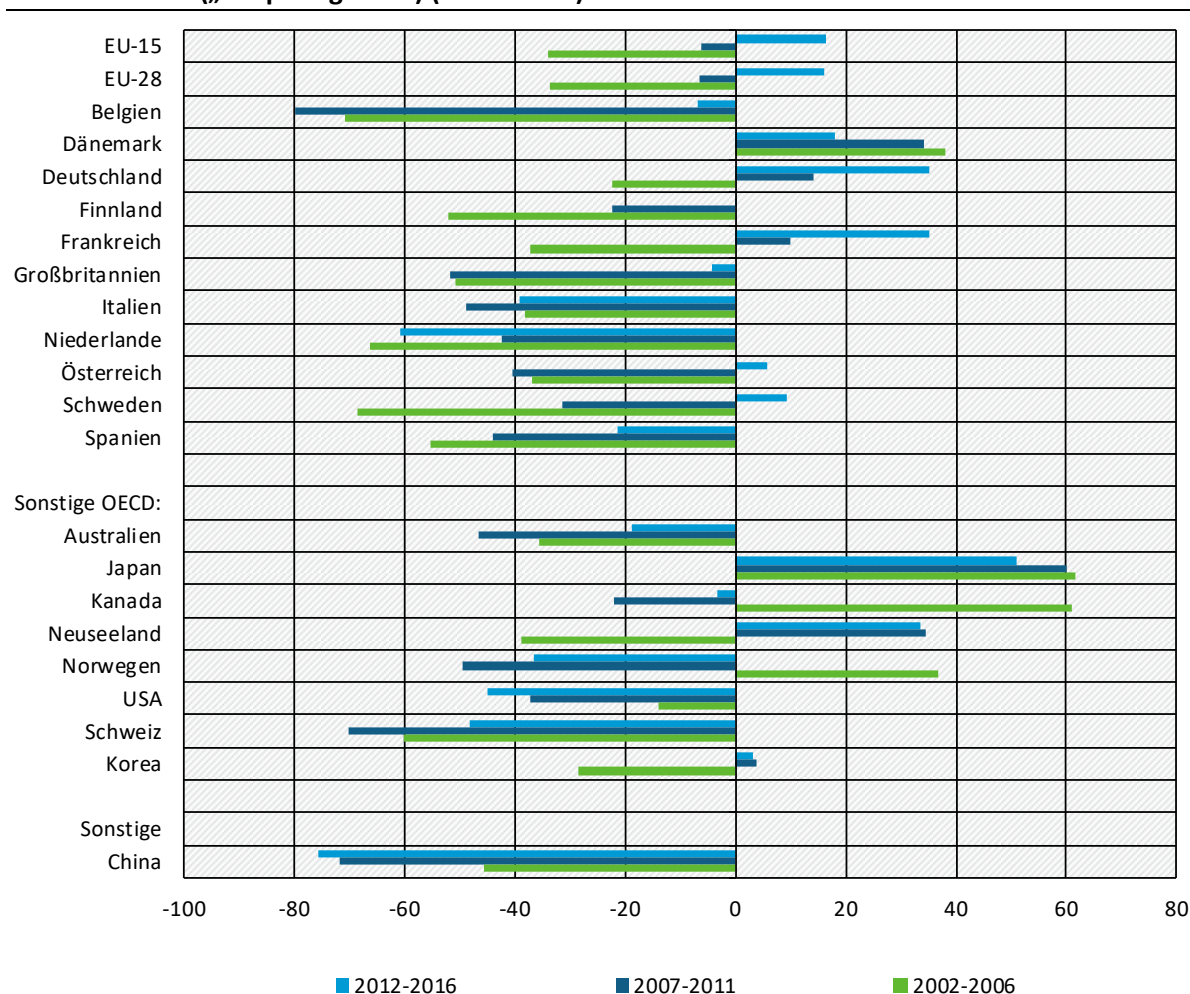
Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Deutlich positiv und stabil ist die Spezialisierung Deutschlands bei Lärmschutz mit RPA-Werten von deutlich über 40. An dieses Niveau kommt derzeit nur das Recycling von Metallen und mineralischen Stoffen noch heran und übertrifft es sogar mit aktuellen Werten über 50. Oben hatten wir für diesen Bereich stagnierende Patentanmeldungen und einen rückläufigen Patentanteil gegenüber der Periode 2007-2011 berichtet. Gleichzeitig ist aber auch Deutschlands Patentanteil in allen Technologien deutlich gesunken, so dass sich insgesamt eine Verstärkung der Spezialisierung zeigt.

Ein weiterer stabil positiver Bereich ist die Luftreinhaltung mit RPA-Werten nahe an bzw. aktuell leicht über 30. In dieser Größenordnung bewegen sich auch die Energieeffizienz-geprägten Teilbereiche von Klimaschutz, die aber in ihrer Performanz mehr schwanken. Die Erneuerbaren Energien, und somit auch Klimaschutz insgesamt, weisen auch noch deutlich positive RPA-Werte auf, aber mit Werten nur um die 20. Nur wenige Umweltbereiche weisen in Deutschland klar negative RPA-Werte auf. Dazu zählt das Wassermanagement, auch mit weiter abnehmender Tendenz - sowie Abfall. Bei Abwasser schwanken die Werte um 0, so dass sich hier keine besonderen Spezialisierungsvor- oder -nachteile ergeben.

Nach den Technologien zeigt Abbildung 22 die Spezialisierungsmuster für umweltfreundliche Güter.

Abbildung 22: Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich umweltfreundlicher Güter („adapted goods“) (RPA-Werte)

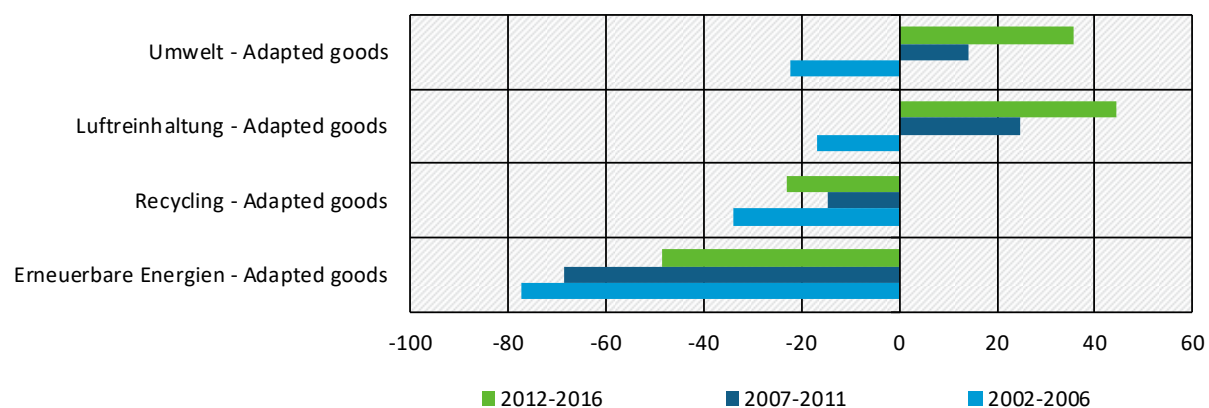


Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Hier ist das Bild deutlich anders und mehr im Wandel, d. h. mit deutlichen Unterschieden zwischen den betrachteten Zeitscheiben. Dabei muss daran erinnert werden, dass das Bild stark von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen dominiert wird. Die EU (15 und 28) hat ihren RPA-Wert in den vergangenen 15 Jahren deutlich gesteigert und aktuell ins Positive gekehrt. Insbesondere Deutschland und Frankreich führen hier mit RPA-Werten deutlich über 30 das Feld an. Von den Ländern außerhalb der EU fällt insbesondere der deutliche positive RPA-Wert Japans auf. Die Ausschläge bei Ländern mit niedrigen Patentanteilen wie Kanada und Neuseeland sind nicht sehr belastbar. Es ist aber vielleicht interessant festzuhalten, dass Neuseeland hier vor allem mit Patenten im Bereich der „adapted goods“ bei Erneuerbaren Energien seine Stärken aufweist.

Für Deutschland zeigt der detailliertere Blick in die einzelnen Bereiche der umweltfreundlichen Güter, dass die guten RPA-Werte bei Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen (unter Luftreinhaltung) die gute Performance insgesamt bewirken (vgl. Abbildung 23).

Abbildung 23: Patentspezialisierung Deutschlands bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“)(RPA-Werte)



Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Über die Zeit haben sich hier hohe positive RPA-Werte entwickelt. Verbesserungstendenzen sind auch in den anderen beiden Bereichen beobachtbar, aber von einem derzeit noch negativen RPA-Niveau ausgehend.

3.3 Gesamtbild der Patentergebnisse für Deutschland

Tabelle 12 fasst wesentliche Ergebnisse aus der Patentanalyse in einem Überblick für den 5-Jahres-Zeitraum 2012-2016 zusammen. Folgende Kernpunkte lassen sich festhalten:

- **Umwelttechnologien:** Deutschland ist hier gemessen an seinem Patentanteil innerhalb Europas und auch weltweit ein wichtiger Player - mit Platz 1 in Europa sowie Platz drei hinter USA und Japan. Zwar hat Deutschland beim Patentanteil einen knappen Prozentpunkt gegenüber der vorangegangenen Auflage dieses Berichts (Gehrke et al. 2018) eingebüßt. Dies ist aber weniger als bei Technologien insgesamt, so dass der Spezialisierungswert leicht gestiegen ist. Das Absinken der jährlichen Patentanmeldungen für Umwelttechnologien hat sich verlangsamt, aber noch nicht - wie bei allen Technologien zusammen - ins Positive verkehrt.

- **Umweltfreundliche Güter:** Bei der Gesamtbetrachtung der umweltfreundlichen Güter zeigt sich - anders als bei den Umwelttechnologien - eine Zunahme der Patentzahlen und auch ein im Vergleich zu Umwelttechnologien höherer Patentanteil, so dass auch die Spezialisierungsvorteile Deutschlands hier noch deutlicher hervortreten. Dieser Befund ist stark von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen dominiert. Er kann deshalb nur begrenzt verallgemeinert werden.

Tabelle 12: Zusammenfassung der Patentindikatorik für Deutschland (2012-2016)

	Wachstumsrate (2012-2016)	Patentanteile (2012 – 2016)	RPA (2012 – 2016)
Alle Technologien	0,4%	11,2%	(nicht definiert)
Umwelt (alle Technologien)	-4,7%	13,5%	18
Luftreinhaltung	-4,4%	15,4%	39
Lärmschutz	-5,9%	18,4%	46
Abwasser (CEPA 2)	0,4%	10,9%	-3
Wassermanagement (CReMA 10)	4,7%	8,0%	-33
Sanierung (CEPA 4)	k.A.	7,2%	-42
Abfallwirtschaft (CEPA 3)	-1,1%	12,4%	10
davon: Abfall	-9,1%	10,1%	-10
davon: Recycling allgemein	0,4%	13,3%	17
CReMA 13C (Kunststoffrecycling)	-1,8%	12,5%	14
CReMA 14 (Metall / Mineralstoffrecycling)	-5,1%	17,0%	55
Recycling (alle Technologien)	-3,1%	14,9%	28
MSR	7,8%	12,6%	11
Klimaschutz (alle Technologien)	-8,6%	14,3%	24
davon: Rationelle Energieverwendung	2,9%	15,7%	32
davon: Rationelle Energieumwandlung	-4,1%	16,1 %	35
davon: Erneuerbare Energien	-13,3%	13,6 %	19
Adapted goods			
Umwelt (a.g.)	1,9%	16,2%	35
davon Luftreinhaltung (a.g.)	1,2%	18,1%	44
davon Recycling (a.g.)	10,0%	8,9%	-23
davon Erneuerbare Energien (a.g.)	k.A.	6,8%	(-46)

Anmerkung: RPA = Relativer Patentanteil (Spezialisierungsmaß); grün = (positiv und) über dem Durchschnitt aller Umwelttechnologien, rot = (negativ und) unter dem Durchschnitt aller Umwelttechnologien; k.A. oder Angaben in Klammern, wenn die jährlichen Anmeldezahlen im Schnitt des 5-Jahres-Zeitraums unter 20 liegen

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

- **Kreislaufwirtschaft:** Bei Recyclingtechnologien fallen die Kennzahlen etwas besser aus als für Umwelttechnologien insgesamt. Die Zahl der jährlichen Patentanmeldungen ist zwar rückläufig, aber weniger stark als beim Durchschnitt aller Umweltpatente. Patentanteil und Spezialisierung sind deutlich höher. Besonders das Recycling von Metallen und

mineralischen Stoffströmen sticht positiv hervor. Trotz zuletzt verhaltener Dynamik (vgl. Abbildung 14) fällt der Patentanteil und das Spezialisierungsmaß im Vergleich zu Recyclingtechnologien insgesamt deutlich positiver aus. Möglicherweise trägt hier die intensivierte Forschungsförderung (vgl. Abschnitt 3.2.1) dazu bei, die dämpfenden Impulse aus dem Preisverfall für Primärmetalle zu kompensieren. Für die ganzheitliche Entwicklung der Kreislaufwirtschaft, die auch die Produktdimension abdeckt und nicht auf Recycling verkürzt, sind die umweltfreundlichen Güter im Bereich Recycling besonders relevant. Hier ist die technologische Dynamik noch sehr verhalten (vgl. Abbildung 16), hat sich aber zuletzt beschleunigt. Deutschlands Patentanteil und auch RPA-Wert liegt deutlich unter dem, den es für Umwelt- und insbesondere für Recyclingtechnologien erreicht. Dies wirft nur ein paar Schlaglichter auf das komplexe Thema Kreislaufwirtschaft. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, diese ganzheitlich unter Berücksichtigung der verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus und der Wertschöpfungsstufen in der Patentanalyse abzudecken.

- **Klimaschutz:** In absoluten Zahlen gemessen ist Klimaschutz der größte Bereich unter den Umweltpatenten. Deutschland ist hier besser aufgestellt als im Schnitt der Umwelttechnologien, mit höherem Patentanteil und RPA-Wert. Die Patente für Erneuerbare Technologien spielen mengenmäßig eine bedeutende Rolle. Sie liegen in Deutschland ungefähr im Schnitt aller Umwelttechnologien. Besonderen Neuigkeitswert hat die Beobachtung, dass die seit 2011 vorherrschende deutliche Abwärtsentwicklung der Zahl der Erneuerbaren-Energien-Patente global und in Deutschland in den letzten zwei bis drei Jahren fast gestoppt scheint und sich in Deutschland vereinzelt sogar positive Zuwachsraten zeigen, getrieben vor allem durch die Entwicklungen bei Windenergie. Besonders positiv sind die Entwicklungen bei der rationellen Energieverwendung mit positiven Zuwachsraten sowie im Vergleich zu anderen Umwelttechnologien überdurchschnittlichem Patentanteil und RPA-Wert.
- **„Klassische“ Umweltschutzbereiche:** Luftreinhaltung und Lärmschutz gehören zu den Stammgebieten des Umweltschutzes. Die Performanz Deutschlands ist hier nach wie vor gut bis sehr gut mit insbesondere hohen Spezialisierungsvorteilen, wenn auch die Zahl der Patentanmeldungen rückläufig ist. Ein weiterer klassischer Bereich ist Abfall, der aber als nachsorgender Umweltschutzansatz in Deutschland keine prominente Rolle spielt, was sich auch in den Indikatoren ausdrückt.

Insgesamt ergibt sich somit im internationalen Vergleich und im Vergleich mit der allgemeinen technologischen Entwicklung ein positives Bild. Hinter einem Land, das seine Wissensbasis stringent an den Herausforderungen der Nachhaltigkeit und der Erfüllung der Sustainable Development Goals ausrichtet, bleiben diese Kennzahlen jedoch zurück. Hierfür würde man stärkere Zuwächse in den Patentzahlen der einzelnen Umweltbereiche, höhere Patentanteile und auch eine klarere Spezialisierung (höhere RPA-Werte) erwarten. Deutschland hat also noch Potenzial, seine Wissensbasis stärker für Nachhaltigkeit einzusetzen.

4 Quellenverzeichnis

Benrath, B., Bartsch, B., Giesel, J., Helfert, B., Infographics Group (2018): Made in China 2025. Asien in Zahlen - Teil III. Online verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/infografik-made-in-china-2025-15936600.html>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Hrsg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.) (2018): Innovationen für die Energiewende. 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin.

Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf, zuletzt geprüft am 20.05.2019.

Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf, zuletzt geprüft am 20.05.2019.

COP 21 (2015): Übereinkommen von Paris. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2019.

Corsatea, T.D., A. Fiorini, A. Georgakaki, B.N. Lepsa (2015): Capacity Mapping: R&D investment in SET-Plan technologies. Joint Research Centre (JRC). Luxembourg.

CUTEC (o. J.): r4. Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe. (Web-Seite). Online verfügbar unter <http://www.r4-innovation.de/>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.

Deutsche Rohstoffagentur (DERA); Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2019): BGR Preisindex April 2019. Berlin.

Dürkoop, A.; Brandstetter, P.; Gräbe, G.; Rentsch, L. (Hg.) (2016): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz // Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Strategische Metalle und Mineralien. Strategische Metalle und Mineralien // Ergebnisse der r³-Fördermaßnahme. Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie; Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie; Universität Stuttgart. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

European Commission (2018a): A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. COM(2018) 28 final. Brussels. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy.pdf>.

European Commission (2018b): Proposal for a Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. COM(2018) 340 final. Brussels. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/single-use_plastics_proposal.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2019.

European Commission (2016): Transforming the European Energy System through Innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union 2016. ISBN 978-92-79-63468-0, doi:10.2833/45248.

European Commission (2015): Closing the loop - An EU action plan for the Circular economy. Com(2015)614 final. Brussels: European Commission.

European Commission (2011): Flash Eurobarometer 315. Attitudes of European entrepreneurs towards eco-innovation. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_315_en.pdf, zuletzt geprüft am 21.03.2019.

European Commission; United Nations; Food and Agriculture Organization of the United Nations; International Monetary Fund; Organisation for Economic Co-operation and Development; World Bank (2014): System of environmental-economic accounting 2012. Central Framework. UNO. New York, Luxembourg. Online verfügbar unter https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaRev/SEEA_CF_Final_en.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2019.

European Environment Agency EEA (2014): Energy support measures and their impact on innovation in the renewable energy sector in Europe. EEA Technical Report No. 21/2014.

European Patent Office (2016): Finding sustainable technologies in patents. München. Online verfügbar unter [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/6E41C0DF0D85C0ACC125773B005144DE/\\$File/finding_sustainable_technologies_in_patents_2016_en.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/6E41C0DF0D85C0ACC125773B005144DE/$File/finding_sustainable_technologies_in_patents_2016_en.pdf), zuletzt geprüft am 24.05.2017.

Eurostat (2018): Innovationsstatistik. Statistics Explained. 09/07/2018. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Innovation_statistics/de, zuletzt geprüft am 20.11.2018.

Eurostat (2016): Environmental goods and services sector accounts - Handbook 2016 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-16-008>, zuletzt geprüft am 10.08.2017.

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2019): Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2019, Berlin: EFI.

Fiorini, A., Georgakaki, A., Jimenez Navarro, J., Marmier, A., Pasimeni, F. and Tzimas, E. (2017a): Energy R & I financing and patenting trends in the EU: Country dashboards 2017 edition, EUR 29003 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-77295-5, doi:10.2760/519466, 10.2760/605647, JRC109654.

Fiorini, A.; Georgakaki, A.; Pasimeni, F.; Tzimas, E. (2017b): Monitoring R&I in Low-Carbon Energy Technologies, EUR 28446 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-65591-3, doi: 10.2760/434051.

Flörke, M.; Schneider, C.; McDonald, R. I. (2018): Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. In: *Nature Sustainability* 1 (1), S. 51–58. DOI: 10.1038/s41893-017-0006-8.

Frankfurt School-UNEP Centre / BNEF (2018): Global Trends in Renewable Energy Investment 2016. Frankfurt School of Finance & Management gGmbH.

Frankfurt School-UNEP Centre / BNEF (2017): Global Trends in Renewable Energy Investment 2016. Frankfurt School of Finance & Management gGmbH.

Frankfurt School-UNEP Centre / BNEF (2016): Global Trends in Renewable Energy Investment 2016. Frankfurt School of Finance & Management gGmbH.

Fraunhofer ISI (o. J.): r+Impuls. Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Impulse für industrielle Ressourceneffizienz. (Web-Seite). Online verfügbar unter <http://www.r4-innovation.de/>, zuletzt geprüft am 17.05.2019.

Gatzen, C., Pietsch, S., Steinfort, T., Grafenhofer, D. (2019): Technologische Innovationen und neue Geschäftsmodelle für die Energiewende – Die Rolle der deutschen F&I Politik. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 11-2019. Berlin: EFI.

- Gehrke, B.; John, K.; Schasse, U.; Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F.; Rothengatter, O. (2018): Innovationsmotor Umweltschutz. Indikatoren zu Forschung und Patenten in Deutschland und im internationalen Vergleich. Hr. vom Umweltbundesamt und BMUB. Dessau-Roßlau (Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 1/2018).
- Gehrke, B.; U. Schasse (2019): Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Produktion, Umsatz und Außenhandel. Aktualisierte Ausgabe 2019. Hr. vom Umweltbundesamt und BMU. Dessau-Roßlau (Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 05/2019).
- Gehrke, B.; U. Schasse (2017): Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Produktion, Umsatz und Außenhandel. Hr. vom Umweltbundesamt und BMUB. Dessau-Roßlau (Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 3/2017).
- Gehrke, B.; Schasse, U.; Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F. (2015): Innovationsmotor Umweltschutz. Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, BMUB (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 05/2015).
- Gehrke, B., U. Schasse, K. Ostertag (2014): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Produktion-Außenhandel-Forschung-Patente: Die Leistungen der Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt und BMUB (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 01/2014).
- Gnamus, A. (2011): Capacities Map 2011. Update on the R&D Investment in Three Selected Priority Technologies within the European Strategic Energy Technology Plan: Wind, PV and CSP. Joint Research Centre (JRC), Luxembourg.
- Griliches, Z. (1980): Returns to Research and Development Expenditures in the Private Sector. In: Kendrick, J.W., B.N. Vaccara (Hrsg.): New Developments in Productivity Measurement, NBER, 419-462.
- Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels. Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik., Springer-Lehrbuch, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Henzelmann, T., Büchele, R., Andrae, P., Wiedemann, A. (2018): GreenTech made in Germany 2018. Umwelttechnik-Atlas für Deutschland. Bearbeitet von der Roland Berger GmbH, hrsg. vom BMU, Berlin
- Horbach, J., Rammer, C., Rennings, K. (2012): Determinants of eco-innovation by type of environmental impact – The role of regulatory push/pul, technology push and market pull. In: Ecological Economics 78 (2012), 112-122.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014): Summary for Policy Makers. In: C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir et al. (Hg.): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, S. 1–32. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5_wgII_spm_en.pdf, zuletzt geprüft am 20.05.2019.
- International Energy Agency (2019): Technology Innovation to Accelerate Energy Transitions.
- International Energy Agency (2018a): World Energy Outlook 2018. OECD / IEA.
- International Energy Agency (2018b): World Energy Investment 2018. OECD / IEA.
- International Energy Agency (2018c): Energy Technology RD&D Budgets 2018 Edition. Database Documentation. IEA, Paris.
- International Energy Agency (2018d): Energy Technology RD&D Budgets Overview 2018. IEA, Paris.
- International Energy Agency (IEA) (2011): IEA Guide to Reporting Energy RD&D Budget/Expenditure Statistics. June 2011 edition. OECD/IEA, Paris.

- Joint Research Centre of the European Commission (JRC) (2014): 2013 Technology Map of the European Strategic Energy Technology (SET) Plan. JRC Science and Policy Report. Edited by European Commission.
- Johnstone, N.; Hascic, I.; Ostertag, K. (2008): Environmental policy, technological innovation and patent activity. In: OECD (Hrsg.): Environmental policy, technological innovation and patents. Paris: OECD, S. 17-51.
- Khanna, M.; Deltas, G.; Harrington, D.R. (2009): Adoption of pollution prevention techniques: the role of management systems and regulatory pressures, *Environmental and Resource Economics* 44, 85-106.
- Legler, H., O. Krawczyk (2009): FuE-Aktivitäten von Wirtschaft und Staat im internationalen Vergleich. In: EFI (Hrsg.): Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 1-2009, Berlin.
- Legler, H., R. Walz u. a. (2006): Wirtschaftsfaktor Umwelt. Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich, Studie des NIW und des ISI im Auftrag des Umweltbundesamtes, Hannover, Karlsruhe. Veröffentlicht als Texte 16-06 des Umweltbundesamtes.
- National Science Foundation (NSF) (o.J.): Business R&D and Innovation Survey (BRDIS). About the Survey. Online verfügbar unter <http://www.nsf.gov/statistics/srvyindustry/#qs&tabs-1>.
- Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F. (2014): Nutzung von Patentinformationen für die Weiterentwicklung der umweltökonomischen Statistiken. Abschlussbericht an das Statistische Bundesamt im Rahmen des Projekts "Patentabfrage zur Bestimmung künftiger Umweltschutztechnologien". Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Pasimeni, F.; Fiorini, A.; Georgakaki, A.; Marmier, A.; Jimenez Navarro, J. P.; Asensio Bermejo, J. M. (2018): SETIS Research & Innovation country dashboards. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/89h/jrc-10115-10001>, zuletzt geprüft am 13.02.2017.
- Rammer, C.; Schubert, T.; Hünermund, P.; Köhler, M.; Iferd, Y.; Peter, B. (2016): Dokumentation zur Innovationserhebung 2015. Online verfügbar unter <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/docus/dokumentation1601.pdf>, zuletzt geprüft am 13.02.2019.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21) (2018): Renewables 2018. Global Status Report.
- Schasse, U., Gehrke, B., Stenke, G. (2018): Forschung und Entwicklung in Staat und Wirtschaft - Deutschland im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 2-2018. Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation.
- Schasse, U., B. Gehrke, K. Ostertag (2012): Ausgewählte Indikatoren zur Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich - Produktion, Außenhandel, Umweltforschung und Patente. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt und BMU (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 02/12).
- Triguero, A., Moreno-Mondéjar, L., Davia, M.A. (2013): Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. In: *Ecological Economics* 92 (2013), 25-33.
- Umweltbundesamt (UBA) (2018): Entwicklung der Verwertung der Kunststoffabfälle. Zusammenstellung mit Daten der CONVERSIO Market & Strategy GmbH - Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017 (Stand 09/2018). Berlin. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_verwertung-kunststoffabfaelle_2018-12-20.pdf, zuletzt geprüft am 17.05.2019.
- Umweltbundesamt (UBA) (2014): Umweltforschung im Überblick. Die Umweltforschungsdatenbank UFORDAT. Februar 2014. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/faltblatt-umweltforschung-im-ueberblick>, zuletzt geprüft am 13.02.2017.
- United Nations World Water Assessment Programme (WWAP) (2015): The United Nations World Water Development Report 2015. Water for a sustainable world. Paris: UNESCO (The United Nations world water

development report, 6.2015). Online verfügbar unter <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>, zuletzt geprüft am 20.05.2019.

Walz, R.; Ostertag, K.; Eckartz, K.; Gandenberger, C.; Bodenheimer, M.; Peuckert, J. et al. (2019): Ökologische Innovationspolitik in Deutschland. Fachliche Grundlagen für einen deutschen Öko-Innovationsplan. Umwelt, Innovation, Beschäftigung 01/2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Wiesenthal, T., Leduc, G., Schwarz, H.-G., Haegeman, K. (2009): R&D Investment in the Priority Technologies of the European Strategic Energy Technology Plan. Joint Research Centre (JRC), Luxembourg.

Woidasky, J. (Hrsg.) (2013): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Fördermaßnahme "r2-innovative Technologien für Ressourceneffizienz - rohstoffintensive Produktionsprozesse" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.

A Methodischer Anhang

A.1 Zur Methodik: Spezialisierung der Wissensbasis

Zur Identifikation nationaler Stärken eines Landes im internationalen Technologiewettbewerb wird der „Relative Patentanteil (RPA)“ herangezogen. Als Spezialisierungsmaß für die nationale Wissensbasis setzt er den Patentanteil des betrachteten Landes beim jeweiligen Kompetenzfeld in Relation zu den Patentanteilen des Landes über alle Technologien hinweg. Diese Relation wird anschließend so transformiert, dass der RPA Werte zwischen -100 und +100 annimmt:

$$RPA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln[(p_{ij} / \sum_i p_{ij}) / (\sum_j p_{ij} / \sum_{ij} p_{ij})]$$

p_{ij} : Zahl der Patentanmeldungen des Landes i im Technologie-/ Kompetenzfeld j

Ist der Patentanteil eines Landes für das Kompetenzfeld überdurchschnittlich hoch, dann nimmt der RPA einen positiven Wert an. Dies bedeutet, dass innerhalb des betreffenden Landes überproportional viel im Kompetenzfeld patentiert wird und daher – verglichen mit der nationalen Wissensbasis insgesamt – überdurchschnittliche nationale Kenntnisse bestehen. Das jeweilige Kompetenzfeld nimmt also in dem Profil des Landes eine herausgehobene Stellung ein – und zwar gemessen an den weltweiten Aktivitäten. Von einer Stärke im Sinne einer positiven Spezialisierung (bzw. einer Schwäche) spricht man im Allgemeinen, wenn der RPA den Wert +20 übersteigt (bzw. den Wert -20 unterschreitet).

A.2 Technologielinien und umweltfreundliche Güter („adapted goods“) in der Patentanalyse

In der Patentanalyse werden wie in den Vorläuferpublikationen (Gehrke et al. 2018; Gehrke et al. 2015; Gehrke et al. 2014) die folgenden sechs Umweltbereiche unterschieden:

1. Luftreinhaltung
2. Lärmschutz
3. Abwasser
4. Abfall und Recycling
5. Mess-, Steuer- und Regeltechnik für den Umweltschutz
6. Klimaschutz, darunter
Erneuerbare Energien, rationelle Energieumwandlung und rationelle Energieverwendung.

Jeder Umweltbereich ist mit einer Reihe von Technologielinien und – soweit relevant – umweltfreundlichen Gütern hinterlegt, die konkreter darlegen, was unter dem jeweiligen Umweltbereich gefasst ist. Die folgende Tabelle A. 1 stellt dies für die einzelnen Umweltbereiche zusammen. Einige der Umweltbereiche haben enge Entsprechungen mit der CEPA-/CReMA-Klassifikation und werden zusammen angegeben. Andere CEPA-/CReMA-Bereiche wurden neu ergänzt oder sind nicht 1:1 mit bestehenden Umwelt(teil)bereichen gleichzusetzen, wie sie im Projekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ verwendet werden. Für diese CEPA-/CReMA-Bereiche wurden eigene tabellarische Darstellungen der Inhalte der Patentsuchstrategien erstellt. Methodisch gesehen wäre eine Erweiterung der betrachteten Umweltbereiche - z. B. um Themen wie nachhaltige Mobilität oder eine ganzheitlichere Abbildung der Kreislaufwirtschaft einschließlich der Strategien zur Lebensdauerverlängerung und Materialeinsparung - möglich und auch inhaltlich passend. Im Rahmen dieses Projektes war eine solch umfassende Darstellung jedoch nicht möglich.

Tabelle A. 1: Inhalte der Patentsuchstrategie für die einzelnen Umweltbereiche

Luftreinhaltung	(CEPA 1)
Technologielinien	Reinigung von Abgasen, inkl. Motorabgasen Staubabscheidung Integrierte Luftreinhaltung
„Adapted goods“	Batteriefahrzeuge Brennstoffzellenfahrzeuge
Lärmschutz	(CEPA 5)
Technologielinien	schalldämmende Isoliermaterialien lärmschützende Bauelemente Schalldämpfung an Fahr-/ Flugzeugen Lärmreduktion in industriellen Prozessen (z. B. bei Gasturbinen).
„Adapted goods“	keine
Abwasser	(CEPA 2)
Technologielinien	Abwasserableitung (Bau, Betrieb, Überwachung und Instandhaltung von Kanalisationsnetzen) Abwasserbehandlung (z. B. durch Sedimentation, Filtration, chemische und biologische Verfahren) Schlammbehandlung Semi-dezentrale Abwasserbehandlung Semi-permeable Membranen Wasseranalytik Abtrennung von Mikroschadstoffen im Abwasser
„Adapted goods“	keine
Wassermanagement	(CReMA 10)
Technologielinien	Bewässerung Meerwasserentsalzung Regenwassergewinnung Wassernutzungseffizienz
„Adapted goods“	keine
Abfall	(angelehnt an Abgrenzung in Außenhandels- / Produktionsstatistik)
Technologielinien	Sammlung und Transport Sondermüll- und Abfallbehandlung Abfallverbrennung Deponierung
„Adapted goods“	keine
Recycling	(Allgemeine und stoffspezifische Verfahren aggregiert)
Technologielinien	Recycling allgemein: Zerkleinerung Stofftrennung und –aufbereitung Rückgewinnung ausgewählter Stoffe – anderweitig nicht genannt Demontage und Wiederverwendung (ansatzweise) Papierrecycling

Recycling	(Allgemeine und stoffspezifische Verfahren aggregiert)
„Adapted goods“	Kunststoff- / Gummirecycling Metallrecycling Mineralstoffrecycling (Straßenbaustoffe) Futtermittel aus Sekundärrohstoffen Produkte aus Sekundärrohstoffen, die fossile Primärrohstoffe substituieren (z.B. Schmiermittel) Phosphat aus sekundären Quellen (Phosphatrecycling aus Abwasser und aus Feststoffen, z. B. Schlacken) Produkte aus / mit Sekundärrohstoffen, die mineralische Primärrohstoffe (andere als Phosphat) substituieren (z. B. Düngemittel, Tonwaren, Baustoffe)
Abfallwirtschaft	(CEPA 3)
Technologielinien	Abfall (s. oben): Sammlung und Transport Sondermüll- und Abfallbehandlung Abfallverbrennung Deponierung Recycling allgemein (s. oben): Zerkleinerung Stofftrennung und –aufbereitung Rückgewinnung ausgewählter Stoffe – anderweitig nicht genannt Demontage und Wiederverwendung (ansatzweise)
„Adapted goods“	Futtermittel aus Sekundärrohstoffen
Papierrecycling	CRoMA 11B: Minimierung der Aufnahme von Waldressourcen
Technologielinien	Papierrecycling
„Adapted goods“	keine
Kunststoff- / Gummirecycling	CRoMA 13C: Minimierung der Aufnahme von fossilen Ressourcen als Rohstoff
Technologielinien	Kunststoff- / Gummirecycling
„Adapted goods“	Produkte aus Sekundärrohstoffen, die fossile Primärrohstoffe substituieren (z. B. Schmiermittel) Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe
Recycling von Metallen und mineralischen Abfällen	CRoMA 14: Management mineralischer Rohstoffe
Technologielinien	Metallrecycling Mineralstoffrecycling (Straßenbaustoffe)
„Adapted goods“	Phosphat aus sekundären Quellen (Phosphatrecycling aus Abwasser und aus Feststoffen, z.B. Schlacken) Produkte aus / mit Sekundärrohstoffen, die mineralische Primärrohstoffe (andere als Phosphat) substituieren (z. B. Düngemittel, Tonwaren, Baustoffe)

MSR	(angelehnt an Abgrenzung in Außenhandels- / Produktionsstatistik)
Technologielinien	Verfahren zur Bestimmung der Stoffeigenschaften von Immissionen in verschiedenen Medien (Luft, Wasser, Boden) Verfahren zur Lärmmessung Messgeräte zur Überwachung des Energieverbrauchs Steuern und Regeln von Geräten und Anlagen
„Adapted goods“	keine

Klimaschutz ⁵²	CReMA 13A: Erneuerbare Energien
Technologielinien	Windkraft* Wasserkraft (inkl. Wellen- und Gezeitenkraft)* Solarthermie* Photovoltaik* Biomasse/Biogas Wärmepumpen Geothermie*
„Adapted goods“	Feste Brennstoffe aus Abfallstoffen Bioethanol aus Korn*

Klimaschutz	Rationelle Energieumwandlung
Technologielinien	Blockheizkraftwerke / Kraft-Wärme-Kopplung* Gaskraftwerkstechnik* Brennstoffzellen (mit Fokus auf stationären Brennstoffzellen)*
„Adapted goods“	keine

Klimaschutz	Rationelle Energieverwendung
Technologielinien	Erzeugnisse zum Wärmetausch Gebäudeisolation*
„Adapted goods“	(keine, aber Teile von Gebäudeisolation könnte man auch hierunter fassen)

CEPA 4	Schutz und Sanierung von Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser
Technologielinien	Materialien zur Behandlung flüssiger Verunreinigungen Reinigen der Oberfläche offener Gewässer und Sanierung von Grundwasserkörpern Bodensanierung und Schutzeinrichtungen für Boden / Grundwasser
„Adapted goods“	keine

CEPA 6	Arten- und Landschaftsschutz
Technologielinien	Nisthilfen Querungshilfen
„Adapted goods“	keine

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI.

⁵² * = Suchstrategie auf Basis der Y02-Klassifikation des EPA / USPTO

B Statistischer Anhang

Tabelle B. 1: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in %		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Deutschland						
Energieeffizienz	3,4	20,7	22,0	0,00	0,05	0,07
Erneuerbare Energien	27,2	30,7	29,0	0,03	0,07	0,09
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	4,1	2,2	..	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	7,8	4,4	13,4	0,01	0,01	0,04
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	4,1	3,0	7,8	0,01	0,01	0,02
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	42,5	63,0	74,4	0,05	0,15	0,23
Fossile Energieträger	3,4	4,3	4,5	0,00	0,01	0,01
Nuklearenergie	54,1	32,8	21,0	0,07	0,08	0,07
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,13	0,24	0,31
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Frankreich						
Energieeffizienz	2,0	17,9	16,1	0,01	0,09	0,07
Erneuerbare Energien	2,2	11,6	16,6	0,01	0,06	0,07
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	4,7	3,0	..	0,02	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	0,1	2,2	3,5	0,00	0,01	0,01
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	1,3	6,4	11,0	0,01	0,03	0,05
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	5,7	42,8	50,2	0,02	0,21	0,21
Fossile Energieträger	5,2	14,7	6,7	0,02	0,07	0,03
Nuklearenergie	89,1	42,5	43,1	0,35	0,21	0,18
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,40	0,49	0,42
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Vereinigtes Königreich						
Energieeffizienz	3,0	33,9	21,6	0,00	0,11	0,06
Erneuerbare Energien	9,2	32,8	9,6	0,00	0,11	0,03
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	3,9	1,2	..	0,01	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,5	2,5	6,1	0,00	0,01	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	39,5	2,5	14,1	0,02	0,01	0,04
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	55,2	75,5	52,6	0,02	0,24	0,14
Fossile Energieträger	9,3	10,7	2,3	0,00	0,03	0,01
Nuklearenergie	35,6	13,7	16,2	0,02	0,04	0,04
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	71,1	0,04	0,32	0,19
nicht zugewiesen	0,0	0,0	28,9	0,00	0,00	0,08
Italien						
Energieeffizienz	8,8	10,7	13,9	0,02	0,03	0,04
Erneuerbare Energien	8,5	21,0	16,2	0,02	0,06	0,05
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	5,3	3,9	..	0,02	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	29,8	12,0	20,0	0,06	0,03	0,06
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	12,2	13,4	13,1	0,03	0,04	0,04
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	59,3	62,4	67,0	0,13	0,18	0,19
Fossile Energieträger	0,0	20,3	16,8	0,00	0,06	0,05
Nuklearenergie	40,7	17,3	16,2	0,09	0,05	0,05
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,21	0,29	0,28
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Spanien						
Energieeffizienz	8,2	17,6	11,4	0,01	0,02	0,01
Erneuerbare Energien	32,5	57,3	48,5	0,02	0,08	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	7,5	2,7	..	0,01	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,1	9,6	22,0	0,00	0,01	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	1,1	8,0	2,3	0,00	0,01	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	45,0	100,0	86,9	0,03	0,13	0,07
Fossile Energieträger	6,3	0,0	1,4	0,00	0,00	0,00
Nuklearenergie	48,7	0,0	11,0	0,04	0,00	0,01
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	99,3	0,08	0,13	0,08
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,7	0,00	0,00	0,00

2016 statt 2017: Frankreich, Spanien

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 1: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgew. Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Dänemark						
Energieeffizienz	29,3	14,4	22,6	0,07	0,10	0,07
Erneuerbare Energien	36,9	46,4	33,6	0,09	0,34	0,10
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	18,0	11,5	..	0,13	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	7,9	11,3	21,3	0,02	0,08	0,06
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	11,5	5,8	0,1	0,03	0,04	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	85,7	95,9	89,2	0,21	0,70	0,26
Fossile Energieträger	4,2	2,4	3,6	0,01	0,02	0,01
Nuklearenergie	10,1	1,6	3,4	0,02	0,01	0,01
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	96,1	0,25	0,73	0,28
nicht zugewiesen	0,0	0,0	3,9	0,00	0,00	0,01
Schweden						
Energieeffizienz	36,1	33,1	44,6	0,10	0,14	0,16
Erneuerbare Energien	33,6	45,2	16,0	0,09	0,19	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	1,4	..	..	0,01	..
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	10,4	6,4	8,7	0,03	0,03	0,03
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	12,6	9,5	11,8	0,03	0,04	0,04
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	92,7	95,7	81,1	0,25	0,41	0,30
Fossile Energieträger	0,2	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Nuklearenergie	7,0	4,3	0,0	0,02	0,02	0,00
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	81,1	0,27	0,43	0,30
nicht zugewiesen	0,0	0,0	18,9	0,00	0,00	0,07
Norwegen						
Energieeffizienz	3,5	5,3	35,8	0,01	0,07	0,37
Erneuerbare Energien	11,7	20,0	17,2	0,03	0,28	0,18
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	2,8	1,5	..	0,04	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	12,2	3,3	5,5	0,03	0,05	0,06
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	2,1	4,0	2,5	0,01	0,06	0,03
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	29,5	35,3	62,5	0,07	0,49	0,64
Fossile Energieträger	54,1	62,5	34,0	0,13	0,88	0,35
Nuklearenergie	16,5	2,2	3,1	0,04	0,03	0,03
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	99,6	0,25	1,40	1,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,4	0,00	0,00	0,00
Finnland						
Energieeffizienz	41,7	59,6	45,4	0,20	0,86	0,35
Erneuerbare Energien	13,3	15,5	23,3	0,06	0,22	0,18
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	..	..	..	..	..
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	19,4	5,6	8,9	0,09	0,08	0,07
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	8,3	11,2	8,8	0,04	0,16	0,07
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	82,6	92,0	86,5	0,40	1,32	0,66
Fossile Energieträger	5,9	2,2	4,6	0,03	0,03	0,04
Nuklearenergie	11,4	5,8	9,0	0,05	0,08	0,07
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,48	1,44	0,77
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Niederlande						
Energieeffizienz	30,6	41,3	33,1	0,09	0,23	0,07
Erneuerbare Energien	24,1	39,5	40,5	0,07	0,22	0,08
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	1,3	2,2	..	0,01	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	7,3	1,1	9,6	0,02	0,01	0,02
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	13,3	2,8	2,7	0,04	0,02	0,01
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	75,4	85,9	88,0	0,21	0,48	0,18
Fossile Energieträger	6,8	8,9	7,4	0,02	0,05	0,02
Nuklearenergie	17,8	5,1	4,2	0,05	0,03	0,01
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	99,6	0,28	0,55	0,20
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,4	0,00	0,00	0,00

2016 statt 2017: Finnland

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 1: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgew. Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Österreich						
Energieeffizienz	30,7	46,0	47,2	0,03	0,19	0,18
Erneuerbare Energien	28,0	27,8	15,3	0,03	0,11	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	2,9	3,3	..	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	13,8	14,5	26,7	0,02	0,06	0,10
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	14,0	5,4	4,9	0,02	0,02	0,02
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	86,5	96,7	97,4	0,09	0,40	0,37
Fossile Energieträger	1,9	0,8	1,7	0,00	0,00	0,01
Nuklearenergie	11,6	2,5	0,9	0,01	0,01	0,00
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,11	0,41	0,38
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Schweiz						
Energieeffizienz	14,9	19,4	25,6	0,05	0,06	0,15
Erneuerbare Energien	23,7	25,7	28,5	0,09	0,08	0,17
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	8,3	7,4	..	0,03	0,04
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	16,0	7,3	14,2	0,06	0,02	0,08
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	7,3	8,0	8,8	0,03	0,03	0,05
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	62,0	68,7	84,6	0,23	0,22	0,50
Fossile Energieträger	6,4	5,5	2,5	0,02	0,02	0,01
Nuklearenergie	31,6	25,8	12,9	0,11	0,08	0,08
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,36	0,32	0,59
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
USA						
Energieeffizienz	23,8	29,2	24,0	0,05	0,09	0,09
Erneuerbare Energien	9,3	27,5	15,7	0,02	0,09	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	7,0	1,2	..	0,02	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	5,5	5,8	5,0	0,01	0,02	0,02
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	40,3	2,3	37,7	0,09	0,01	0,14
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	78,8	71,7	83,6	0,17	0,23	0,31
Fossile Energieträger	9,2	9,6	5,8	0,02	0,03	0,02
Nuklearenergie	12,0	18,6	10,6	0,03	0,06	0,04
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,22	0,32	0,38
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Japan						
Energieeffizienz	15,7	7,7	18,8	0,13	0,05	0,09
Erneuerbare Energien	4,1	5,9	13,5	0,03	0,04	0,07
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	3,5	5,5	..	0,02	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	4,5	4,1	7,1	0,04	0,03	0,03
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	2,0	0,1	7,2	0,02	0,00	0,04
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	26,4	21,3	52,2	0,22	0,15	0,25
Fossile Energieträger	2,9	8,8	4,5	0,02	0,06	0,02
Nuklearenergie	70,7	69,9	43,3	0,59	0,49	0,21
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,83	0,71	0,49
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Rep. Korea						
Energieeffizienz	18,8	17,0	19,7	0,03	0,08	0,08
Erneuerbare Energien	11,0	28,1	26,3	0,02	0,14	0,10
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	8,8	6,4	..	0,04	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	17,6	13,1	19,5	0,03	0,06	0,08
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	12,1	4,6	5,3	0,02	0,02	0,02
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	59,6	71,6	77,3	0,09	0,35	0,30
Fossile Energieträger	12,7	13,8	9,9	0,02	0,07	0,04
Nuklearenergie	27,8	14,6	12,8	0,04	0,07	0,05
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,14	0,49	0,39
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00

2016 statt 2017 und 2002 statt 2000: Rep. Korea

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 1: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgew. Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Ungarn						
Energieeffizienz	33,5	93,7	14,6	0,01	0,84	0,03
Erneuerbare Energien	15,8	5,2	12,5	0,01	0,05	0,03
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	0,0	0,0	..	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	0,0	0,0	6,3	0,00	0,00	0,01
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,0	0,0	63,6	0,00	0,00	0,15
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	49,3	98,9	97,1	0,02	0,89	0,23
Fossile Energieträger	17,3	0,7	0,1	0,01	0,01	0,00
Nuklearenergie	33,4	0,4	2,8	0,01	0,00	0,01
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,04	0,90	0,24
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Tschechische Rep.						
Energieeffizienz	0,0	14,3	2,2	0,00	0,03	0,00
Erneuerbare Energien	9,8	19,4	20,9	0,01	0,04	0,02
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	0,4	2,4	..	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	0,0	11,5	21,3	0,00	0,02	0,02
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,0	11,4	9,7	0,00	0,02	0,01
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	9,8	57,0	56,4	0,01	0,12	0,06
Fossile Energieträger	44,6	3,9	11,0	0,03	0,01	0,01
Nuklearenergie	45,6	39,0	32,5	0,03	0,08	0,04
<i>insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,06	0,20	0,11
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Slowakische Rep.						
Energieeffizienz	..	7,1	5,0	..	0,02	0,01
Erneuerbare Energien	..	26,7	53,9	..	0,08	0,12
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	7,1	0,3	..	0,02	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	..	1,4	5,0	..	0,00	0,01
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	..	19,8	30,7	..	0,06	0,07
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	..	62,1	94,9	..	0,18	0,22
Fossile Energieträger	..	8,6	0,0	..	0,02	0,00
Nuklearenergie	..	29,3	5,1	..	0,08	0,01
<i>insgesamt</i>	..	100,0	100,0	..	0,29	0,23
nicht zugewiesen	..	0,0	0,0	..	0,00	0,00
Polen						
Energieeffizienz	..	38,8	12,7	..	0,14	0,03
Erneuerbare Energien	..	17,5	25,2	..	0,06	0,05
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	1,4	0,7	..	0,01	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	..	13,6	12,3	..	0,05	0,02
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	..	0,7	6,6	..	0,00	0,01
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	..	72,1	57,3	..	0,26	0,12
Fossile Energieträger	..	24,3	14,3	..	0,09	0,03
Nuklearenergie	..	3,6	28,3	..	0,01	0,06
<i>insgesamt</i>	..	100,0	100,0	..	0,36	0,20
nicht zugewiesen	..	0,0	0,0	..	0,00	0,00
Estland						
Energieeffizienz	..	0,0	83,0	..	0,00	0,79
Erneuerbare Energien	..	55,2	12,9	..	0,27	0,12
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	..	12,1	2,7	..	0,06	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	..	7,0	0,5	..	0,03	0,00
Querschnittthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	..	0,4	0,0	..	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	..	74,8	99,1	..	0,37	0,94
Fossile Energieträger	..	25,2	0,3	..	0,12	0,00
Nuklearenergie	..	0,0	0,6	..	0,00	0,01
<i>insgesamt</i>	..	100,0	100,0	..	0,49	0,95
nicht zugewiesen	..	0,0	0,0	..	0,00	0,00

2016 statt 2017: Ungarn, Tschechien, Slowakei; 2003 statt 2000: Tschechien; 2011 statt 2010: Estland

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Tabelle B. 2: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Deutschland						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	27,2	30,7	29,0	0,03	0,07	0,09
Solarenergie	18,3	10,4	9,8	0,02	0,02	0,03
Windenergie	5,6	5,9	7,4	0,01	0,01	0,02
Meeresenergie	0,0	..	..	0,00	..	..
Bioenergie	2,5	4,6	3,2	0,00	0,01	0,01
Geothermische Energie	0,9	1,6	1,6	0,00	0,00	0,01
Hydroelektrizität	0,0	0,1	0,2	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	1,3	1,0	0,00	0,00	0,00
Frankreich						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	2,2	11,6	16,6	0,01	0,06	0,07
Solarenergie	1,3	4,7	6,6	0,01	0,02	0,03
Windenergie	0,3	0,5	0,7	0,00	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	0,3	0,5	0,00	0,00	0,00
Bioenergie	0,5	5,3	7,8	0,00	0,03	0,03
Geothermische Energie	0,1	0,4	0,5	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,1	0,2	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,2	0,2	0,00	0,00	0,00
Vereinigtes Königreich						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	9,2	32,8	9,6	0,00	0,11	0,03
Solarenergie	2,7	5,2	1,3	0,00	0,02	0,00
Windenergie	1,9	11,3	5,7	0,00	0,04	0,01
Meeresenergie	0,8	4,4	0,3	0,00	0,01	0,00
Bioenergie	3,5	5,5	1,1	0,00	0,02	0,00
Geothermische Energie	0,0	0,2	0,0	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,2	..	0,0	0,00	..	0,00
nicht zugewiesen	0,0	..	0,4	0,00	..	0,00
Italien						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	8,5	17,7	16,2	0,02	0,04	0,05
Solarenergie	7,5	9,7	7,9	0,02	0,02	0,02
Windenergie	0,2	1,4	0,5	0,00	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Bioenergie	0,8	4,9	3,5	0,00	0,01	0,01
Geothermische Energie	0,0	0,6	1,3	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,9	0,0	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,3	3,0	0,00	0,00	0,01
Spanien						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	32,5	57,3	48,5	0,02	0,08	0,04
Solarenergie	19,8	14,7	16,1	0,02	0,02	0,01
Windenergie	5,3	9,2	22,9	0,00	0,01	0,02
Meeresenergie	0,0	3,9	0,8	0,00	0,01	0,00
Bioenergie	7,5	17,6	5,0	0,01	0,02	0,00
Geothermische Energie	0,0	..	1,3	0,00	..	0,00
Hydroelektrizität	0,0	..	..	0,00	..	..
nicht zugewiesen	0,0	..	..	0,00	..	..

2016 statt 2017: Frankreich, Spanien; 2009 statt 2010: Italien

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 2: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Dänemark						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	36,9	46,4	33,6	0,09	0,34	0,10
Solarenergie	8,2	5,8	6,0	0,02	0,04	0,02
Windenergie	14,6	20,6	21,2	0,04	0,15	0,06
Meeresenergie	4,6	1,0	0,3	0,01	0,01	0,00
Bioenergie	9,6	14,6	4,2	0,02	0,11	0,01
Geothermische Energie	0,0	0,0	1,6	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	4,2	0,0	0,00	0,03	0,00
Schweden						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	33,6	45,2	16,0	0,09	0,19	0,06
Solarenergie	2,3	4,5	3,1	0,01	0,02	0,01
Windenergie	6,2	2,7	1,0	0,02	0,01	0,00
Meeresenergie	..	5,5	1,4	..	0,02	0,01
Bioenergie	23,1	31,5	7,9	0,06	0,13	0,03
Geothermische Energie	0,5	0,0	..	0,00	0,00	..
Hydroelektrizität	1,6	0,7	0,4	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	..	0,4	..	..	0,00	..
Norwegen						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	11,7	20,0	17,2	0,03	0,28	0,18
Solarenergie	2,8	4,3	4,8	0,01	0,06	0,05
Windenergie	2,0	8,4	3,5	0,00	0,12	0,04
Meeresenergie	0,8	1,9	1,0	0,00	0,03	0,01
Bioenergie	2,0	2,3	4,7	0,00	0,03	0,05
Geothermische Energie	0,0	..	0,4	0,00	..	0,00
Hydroelektrizität	4,1	2,4	2,8	0,01	0,03	0,03
nicht zugewiesen	0,0	..	..	0,00	..	..
Finnland						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	13,3	15,5	23,3	0,06	0,22	0,18
Solarenergie	0,3	1,0	3,9	0,00	0,01	0,03
Windenergie	0,5	1,9	1,2	0,00	0,03	0,01
Meeresenergie	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
Bioenergie	11,9	11,8	7,9	0,06	0,17	0,06
Geothermische Energie	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
Hydroelektrizität	0,5	0,4	9,8	0,00	0,01	0,08
nicht zugewiesen	0,0	0,4	..	0,00	0,01	..
Niederlande						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	24,1	39,5	40,5	0,07	0,22	0,08
Solarenergie	9,4	8,4	11,8	0,03	0,05	0,02
Windenergie	6,2	8,9	10,5	0,02	0,05	0,02
Meeresenergie	0,1	0,3	0,5	0,00	0,00	0,00
Bioenergie	8,4	18,7	15,0	0,02	0,10	0,03
Geothermische Energie	0,0	0,3	2,6	0,00	0,00	0,01
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	2,9	0,2	0,00	0,02	0,00

2016 statt 2017: Finnland

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 2: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Österreich						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	28,0	27,8	15,3	0,03	0,11	0,06
Solarenergie	10,3	11,7	6,1	0,01	0,05	0,02
Windenergie	1,8	1,7	0,2	0,00	0,01	0,00
Meeresenergie	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
Bioenergie	15,1	12,0	6,5	0,02	0,05	0,02
Geothermische Energie	0,1	0,5	0,6	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,7	1,4	1,2	0,00	0,01	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,5	0,2	0,00	0,00	0,00
Schweiz						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	23,7	25,7	28,5	0,09	0,08	0,17
Solarenergie	16,3	16,3	13,5	0,06	0,05	0,08
Windenergie	0,8	1,0	0,7	0,00	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	..	..	0,00	..	..
Bioenergie	4,1	3,2	5,2	0,01	0,01	0,03
Geothermische Energie	1,5	3,3	5,2	0,01	0,01	0,03
Hydroelektrizität	1,1	0,9	3,9	0,00	0,00	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,7	..	0,00	0,00	..
USA						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	9,3	27,5	15,7	0,02	0,09	0,06
Solarenergie	3,6	7,2	1,6	0,01	0,02	0,01
Windenergie	1,4	1,8	1,7	0,00	0,01	0,01
Meeresenergie	0,0	0,7	0,8	0,00	0,00	0,00
Bioenergie	3,1	16,5	9,3	0,01	0,05	0,04
Geothermische Energie	1,0	1,0	1,3	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,2	0,3	0,3	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
Japan						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	4,1	5,9	13,5	0,03	0,04	0,07
Solarenergie	3,3	2,7	2,3	0,03	0,02	0,01
Windenergie	0,1	0,7	7,3	0,00	0,01	0,04
Meeresenergie	0,1	0,0	0,2	0,00	0,00	0,00
Bioenergie	0,0	1,9	1,9	0,00	0,01	0,01
Geothermische Energie	0,6	0,0	0,8	0,01	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
nicht zugewiesen	0,0	0,6	0,7	0,00	0,00	0,00
Rep. Korea						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	11,0	28,1	26,3	0,02	0,14	0,10
Solarenergie	4,1	12,3	10,0	0,01	0,06	0,04
Windenergie	2,4	6,6	5,3	0,00	0,03	0,02
Meeresenergie	0,0	1,3	1,1	0,00	0,01	0,00
Bioenergie	1,9	2,1	3,4	0,00	0,01	0,01
Geothermische Energie	0,0	1,3	0,9	0,00	0,01	0,00
Hydroelektrizität	2,5	0,2	1,6	0,00	0,00	0,01
nicht zugewiesen	0,0	1,3	4,0	0,00	0,01	0,02

2016 statt 2017 und 2002 statt 2000: Rep. Korea

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 2: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Ungarn						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	15,8	5,2	12,5	0,01	0,05	0,03
Solarenergie	3,3	0,0	..	0,00	0,00	..
Windenergie	0,0	0,1	..	0,00	0,00	..
Meeresenergie	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
Bioenergie	12,4	5,1	..	0,01	0,05	..
Geothermische Energie	0,2	0,0	..	0,00	0,00	..
Hydroelektrizität	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
nicht zugewiesen	0,0	0,0	..	0,00	0,00	..
Tschechische Rep.						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	9,8	19,4	20,9	0,01	0,04	0,02
Solarenergie	4,2	0,9	1,8	0,00	0,00	0,00
Windenergie	5,6	0,0	0,5	0,00	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Bioenergie	0,0	17,9	10,1	0,00	0,04	0,01
Geothermische Energie	0,0	0,0	1,9	0,00	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,6	1,2	0,00	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	5,3	0,00	0,00	0,01
Slowakische Rep.						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	..	26,7	16,3	..	0,08	0,00
Solarenergie	..	11,2	8,9	..	0,03	0,00
Windenergie	..	7,4	..	..	0,02	..
Meeresenergie	..	0,0	..	..	0,00	..
Bioenergie	..	5,2	4,1	..	0,01	0,00
Geothermische Energie	..	2,6	0,1	..	0,01	0,00
Hydroelektrizität	..	0,3	1,3	..	0,00	0,00
nicht zugewiesen	..	0,0	0,1	..	0,00	0,00
Polen						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	..	17,5	25,2	..	0,06	0,05
Solarenergie	..	3,5	6,0	..	0,01	0,01
Windenergie	..	0,8	3,6	..	0,00	0,01
Meeresenergie	..	..	..	..	..	..
Bioenergie	..	6,1	12,5	..	0,02	0,03
Geothermische Energie	..	0,1	0,3	..	0,00	0,00
Hydroelektrizität	..	6,0	0,1	..	0,02	0,00
nicht zugewiesen	..	..	0,8	..	..	0,00
Estland						
<i>Erneuerbare Energien insg.</i>	..	55,2	5,6	..	0,27	0,15
Solarenergie	..	10,3	1,1	..	0,05	0,03
Windenergie	..	31,6	..	..	0,16	..
Meeresenergie	..	0,0	..	..	0,00	..
Bioenergie	..	13,4	0,6	..	0,07	0,02
Geothermische Energie	..	0,0	..	..	0,00	..
Hydroelektrizität	..	0,0	..	..	0,00	..
nicht zugewiesen	..	0,0	..	..	0,00	..

2016 statt 2017: Ungarn, Tschechien, Slowakei; 2003 statt 2000: Tschechien; 2011 statt 2010: Estland

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Tabelle B. 3: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Deutschland						
Energieeffizienz insg.	3,4	20,7	22,0	0,00	0,05	0,07
Industrie	1,2	2,9	4,6	0,00	0,01	0,01
Gebäude	1,4	3,2	2,8	0,00	0,01	0,01
Verkehr	0,0	2,9	1,4	0,00	0,01	0,00
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,7	11,8	13,2	0,00	0,03	0,04
Frankreich						
Energieeffizienz insg.	2,0	17,9	16,1	0,01	0,09	0,07
Industrie	0,4	1,6	1,5	0,00	0,01	0,01
Gebäude	0,4	4,0	3,5	0,00	0,02	0,01
Verkehr	0,5	10,4	9,3	0,00	0,05	0,04
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,8	1,9	1,8	0,00	0,01	0,01
Vereinigtes Königreich						
Energieeffizienz insg.	3,0	33,9	21,6	0,00	0,11	0,06
Industrie	1,2	0,9	0,5	0,00	0,00	0,00
Gebäude	0,7	5,8	4,3	0,00	0,02	0,01
Verkehr	1,0	23,6	16,5	0,00	0,08	0,04
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	3,6	0,3	0,00	0,01	0,00
Italien						
Energieeffizienz insg.	8,8	40,0	13,9	0,02	0,09	0,04
Industrie	2,7	4,3	2,1	0,01	0,01	0,01
Gebäude	6,1	21,4	4,3	0,01	0,05	0,01
Verkehr	0,0	7,1	2,7	0,00	0,02	0,01
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	7,1	4,8	0,00	0,02	0,01
Spanien						
Energieeffizienz insg.	8,2	11,9	11,4	0,01	0,02	0,01
Industrie	7,8	0,0	2,3	0,01	0,00	0,00
Gebäude	0,0	5,3	..	0,00	0,01	..
Verkehr	0,4	0,3	..	0,00	0,00	..
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	6,3	9,1	0,00	0,01	0,01
Dänemark						
Energieeffizienz insg.	29,3	14,4	22,6	0,07	0,10	0,07
Industrie	17,4	3,9	3,9	0,04	0,03	0,01
Gebäude	9,0	7,0	13,9	0,02	0,05	0,04
Verkehr	2,8	2,9	1,1	0,01	0,02	0,00
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	0,7	3,7	0,00	0,00	0,01
Schweden						
Energieeffizienz insg.	36,1	33,1	44,6	0,10	0,14	0,16
Industrie	8,6	4,1	13,9	0,02	0,02	0,05
Gebäude	4,8	3,3	9,1	0,01	0,01	0,03
Verkehr	19,3	24,7	21,7	0,05	0,11	0,08
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	3,4	1,1	0,0	0,01	0,00	0,00
Norwegen						
Energieeffizienz insg.	3,5	5,3	35,8	0,01	0,07	0,37
Industrie	0,5	1,2	10,4	0,00	0,02	0,11
Gebäude	3,0	1,2	8,1	0,01	0,02	0,08
Verkehr	0,0	2,7	16,1	0,00	0,04	0,16
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	0,1	1,2	0,00	0,00	0,01
Finnland						
Energieeffizienz insg.	41,7	59,6	45,4	0,20	0,86	0,35
Industrie	16,8	26,3	10,8	0,08	0,38	0,08
Gebäude	8,9	15,1	10,8	0,04	0,22	0,08
Verkehr	10,8	6,0	13,6	0,05	0,09	0,10
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	5,0	12,2	10,2	0,02	0,18	0,08
Niederlande						
Energieeffizienz insg.	30,6	41,3	33,1	0,09	0,23	0,07
Industrie	14,0	11,9	18,1	0,04	0,07	0,04
Gebäude	7,0	9,8	7,2	0,02	0,05	0,01
Verkehr	7,6	6,6	0,9	0,02	0,04	0,00
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	2,0	12,9	6,9	0,01	0,07	0,01

2016 statt 2017: Frankreich, Spanien, Finnland; 2009 statt 2010: Italien

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

noch Tabelle B. 3: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern 2000, 2010 und 2017

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2000	2010	2017	2000	2010	2017
Österreich						
Energieeffizienz insg.	30,7	46,0	47,2	0,03	0,19	0,18
Industrie	13,8	5,0	4,4	0,02	0,02	0,02
Gebäude	9,0	16,6	12,2	0,01	0,07	0,05
Verkehr	5,1	21,4	19,4	0,01	0,09	0,07
sonstige Energieeffizienz/sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	2,8	3,0	11,1	0,00	0,01	0,04
Schweiz						
Energieeffizienz insg.	14,9	19,4	25,6	0,05	0,06	0,15
Industrie	1,2	2,7	3,1	0,00	0,01	0,02
Gebäude	4,6	8,4	8,5	0,02	0,03	0,05
Verkehr	5,5	6,2	10,1	0,02	0,02	0,06
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	3,5	2,1	3,9	0,01	0,01	0,02
USA						
Energieeffizienz insg.	23,8	29,2	24,0	0,05	0,09	0,09
Industrie	6,1	2,0	3,8	0,01	0,01	0,01
Gebäude	5,4	2,8	2,7	0,01	0,01	0,01
Verkehr	10,1	18,2	17,5	0,02	0,06	0,07
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	2,2	6,3	0,0	0,00	0,02	0,00
Japan						
Energieeffizienz insg.	15,7	7,7	18,8	0,13	0,05	0,09
Industrie	13,7	1,8	11,2	0,11	0,01	0,05
Gebäude	0,7	2,5	..	0,01	0,02	..
Verkehr	0,9	1,1	1,7	0,01	0,01	0,01
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,4	2,3	5,9	0,00	0,02	0,03
Rep. Korea						
Energieeffizienz insg.	18,8	17,0	19,7	0,03	0,08	0,08
Industrie	10,0	10,3	9,4	0,01	0,05	0,04
Gebäude	6,6	3,7	3,8	0,01	0,02	0,01
Verkehr	0,2	3,0	3,2	0,00	0,01	0,01
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	2,0	0,0	3,3	0,00	0,00	0,01
Ungarn						
Energieeffizienz insg.	33,5	93,7	14,6	0,01	0,84	0,03
Industrie	33,2	45,8	..	0,01	0,41	..
Gebäude	0,3	17,2	..	0,00	0,15	..
Verkehr	0,0	26,2	..	0,00	0,24	..
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	4,5	14,6	0,00	0,04	0,03
Tschechische Rep.						
Energieeffizienz insg.	0,0	14,3	2,2	0,00	0,03	0,00
Industrie	0,0	3,4	0,2	0,00	0,01	0,00
Gebäude	0,0	1,3	1,1	0,00	0,00	0,00
Verkehr	0,0	9,6	0,0	0,00	0,02	0,00
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	0,0	0,1	0,9	0,00	0,00	0,00
Slowakische Rep.						
Energieeffizienz insg.	..	7,1	52,0	..	0,02	0,01
Industrie	..	1,6	19,5	..	0,00	0,00
Gebäude	..	4,0	18,8	..	0,01	0,00
Verkehr	..	0,5	4,3	..	0,00	0,00
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	..	1,1	9,5	0,00	0,00	0,00
Polen						
Energieeffizienz insg.	..	38,8	12,7	..	0,14	0,03
Industrie	..	14,3	1,6	..	0,05	0,00
Gebäude	..	3,1	3,3	..	0,01	0,01
Verkehr	..	20,3	5,2	..	0,07	0,01
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	..	1,0	2,6	0,00	0,00	0,01
Estland						
Energieeffizienz insg.	..	0,0	27,8	..	0,00	0,75
Industrie	..	0,0	4,8	..	0,00	0,13
Gebäude	..	0,0	18,5	..	0,00	0,50
Verkehr	..	0,0	0,6	..	0,00	0,02
sonstige Energieeffizienz/nicht zugewiesen	..	0,0	3,9	0,00	0,00	0,11

2016 statt 2017: Rep. Korea, Ungarn, Tschechien, Slowakei; 2002 statt 2000: Rep. Korea; 2003 statt 2000: Tschechien; 2011 statt 2010: Estland

Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Tabelle B. 4: Umweltbereiche in UFORDAT im Überblick

Kennung	Originalbezeichnung in UFORDAT	Verwendete Bezeichnung in den Tabellen und Abbildungen in Kapitel 2.1.3
AB	Abfall	Abfall
BO	Boden	Boden
CH	Chemikalien/ Schadstoffe	Schadstoffe
EN	Energie- und Rohstoffressourcen – Nutzung und Erhaltung	Energie/Rohstoffe
GT	Umweltaspekte gentechnisch veränderter Organismen und Viren	Gentechnik
LE	Lärm/ Erschütterung	Lärm
LF	Umweltaspekte in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Nahrungsmittel	Landwirtschaft
LU	Luft	Luft
NL	Natur und Landschaft/ räumliche Aspekte von Landschaftsnutzung, Siedlungs- und Verkehrswesen, urbane Umwelt	Naturschutz
SR	Strahlung	Strahlung
UA	Allgemeine und übergreifende Umweltfragen (z. B. Umweltpolitik, Umweltbildung, Umwelt und Gesundheit u.ä.)	Allgemeine Fragen
UR	Umweltrecht	Recht/ Ökonomie
UW	Umweltökonomie	Recht/ Ökonomie
WA	Wasser und Gewässer	Wasser

Zusammenstellung des CWS nach Umweltbundesamt.

<http://doku.uba.de/aDISWeb/app.jsessionid=D1D24731637028A124FC2344E7CD9748> (04.02.2019).

Tabelle B. 5: Durchschnittliches Projekt- und Fördervolumen nach Umweltbereichen 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017

	Durchschnittliches Projektvolumen			Durchschnittliches Fördervolumen		
	Tsd. €	Tsd. €	Verändg.	Tsd. €	Tsd. €	Verändg.
	2005-2007	2015-2017	in %	2005-2007	2015-2017	in %
Energie	788	821	4,3	517	548	6,0
Luft	600	697	16,2	467	599	28,1
Strahlung	910	617	-32,2	895	571	-36,2
Alle Projekte	565	601	6,4	422	444	5,1
Lärm	593	515	-13,1	367	358	-2,6
Schadstoffe	454	507	11,5	317	398	25,7
Recht / Ökonomie	362	439	21,2	327	363	10,9
Abfall	473	410	-13,3	414	311	-24,7
Wasser	546	409	-25,1	440	350	-20,5
Naturschutz	383	389	1,6	356	330	-7,2
Boden	403	381	-5,5	346	352	1,6
Gentechnik	576	375	-34,9	416	343	-17,6
Allgemeine Fragen	379	362	-4,7	315	332	5,4
Landwirtschaft	324	276	-14,9	282	236	-16,1

Anmerkung: absteigend sortiert nach dem durchschnittlichen Projektvolumen in der Teilperiode 2015 bis 2017

Quelle: Umweltbundesamt, UFORDAT (Recherche Oktober 2018). – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Tabelle B. 6: Anteile einzelner Technologielinien an allen Erneuerbaren-Energien-Patenten Deutschlands

	2013	2014	2015	2016
Wind	37%	42%	45%	57%
PV	37%	28%	29%	26%
Wärmepumpen	6%	4%	3%	8%
Solarthermie	14%	19%	17%	5%
Übrige (Wasser, Biomasse, Geothermie)	6%	6%	6%	3%

Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle B. 7: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen einzelner Technologielinien im Bereich Erneuerbarer Energien in Deutschland

	2013	2014	2015	2016
Wind	100	99	93	128
PV	100	67	60	60
Wärmepumpen	100	63	42	125
Solarthermie	100	115	95	32
Übrige (Wasser, Biomasse, Geothermie)	100	89	70	44

Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle B. 8: Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten von Patentanmeldungen weltweit und in Deutschland (Angaben in %)

	Welt (2012- 2016)	GER (2012- 2016)	Abwei- chung ¹	Welt (2007- 2011)	GER (2007- 2011)	Abwei- chung ¹	Welt (2002- 2006)	GER (2002- 2006)	Abwei- chung ¹
Luftreinhaltung (Technologien)	-1,8	-4,4	-2,6	3,0	4,2	1,2	6,6	3,6	-3,0
Luftreinhaltung (a.g.)	-1,9	1,2	3,1	9,5	9,4	-0,1	5,8	-1,0	-6,7
Lärmschutz	-1,9	-5,9	-4,0	-0,7	-3,8	-3,1	-8,9	-13,9	-5,0
Abwasser (CEPA 2)	3,4	0,4	-3,0	8,7	7,4	-1,4	0,2	-1,7	-2,0
Wasser- management (CReMA 10)	10,0	4,7	-5,4	7,3	6,0	-1,2	0,6	1,9	1,2
Sanierung (CEPA 4)	-0,2	k.A.		3,2	k.A.		-9,1	k.A.	
Abfall	-0,6	-9,1	-8,6	1,7	-8,3	-10,0	1,0	2,8	1,8
Recycling (alle Tech.)	0,8	-3,1	-3,9	8,7	8,0	-0,8	0,3	-2,1	-2,4
Recycling allg.	0,9	0,4	-0,6	9,0	4,8	-4,2	1,0	-1,2	-2,2
CEPA 3	1,7	-1,1	-2,7	6,5	1,7	-4,8	1,3	0,4	-0,9
CReMA 11B	0,0	k.A.		-8,8	k.A.		-1,1	k.A.	
CReMA 13C	2,5	-1,0	-3,5	8,2	16,0	7,9	-0,3	11,7	12,6
CReMA 14	-1,0	-9,1	-8,1	10,4	16,8	6,4	-3,7	-3,1	0,6
Recycling (alle a.g.)	8,7	10,0	1,4	1,8	-5,0	-6,8	3,3	20,4	17,1
MSR	6,8	7,8	1,0	7,3	3,4	-3,8	5,0	3,9	-1,1
Klimaschutz (Tech)	-7,6	-8,6	-1,0	15,7	11,2	-4,5	12,5	10,2	-2,3
Rationelle Energiever- wendung	3,8	2,9	-0,9	7,4	-0,7	-8,0	-0,1	3,0	3,1
Rationelle Energieum- wandlung	-9,0	-4,1	4,9	1,8	-1,3	-3,1	7,3	-5,8	-13,1
Erneuerbare Energien (Tech.)	-11,1	-13,3	-2,2	19,6	16,3	-3,3	23,4	21,7	-1,7
Erneuerbare Energien (a.g.)	-12,3	k.A.		-2,9	k.A.		45,2	k.A.	
Umwelt (Tech.)	-1,9	-4,7	-2,8	10,4	7,9	-2,5	4,9	3,1	-1,8
Umwelt (a.g.)	-1,0	1,9	2,9	7,6	7,7	0,1	7,3	2,0	-5,3
Alle Technologien	3,2	0,4	-2,8	2,5	-1,4	-3,9	6,6	4,4	-2,2

1) Abweichung GER von Welt in %-Punkten; k.A. wenn die jährlichen Anmeldezahlen im Schnitt des 5-Jahres-Zeitraums unter 20 liegen; Tech. = Technologien, a.g. = adapted goods

Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle B. 9: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien in Prozent (2012-2016)

	Deutsch-land	EU-28	USA	Japan	Korea	China	Schweiz	Kanada	Restl. Welt
Umwelt (alle Technologien)	13,5	36,0	18,4	19,6	6,7	6,7	1,8	1,7	9,1
Luftreinhaltung	15,4	35,2	18,1	26,4	5,8	5,9	1,1	1,3	6,1
Lärmschutz	18,4	42,7	19,5	19,8	4,1	3,5	2,9	1,7	5,8
Abwasser (CEPA 2)	10,9	30,3	20,3	20,3	7,3	7,6	1,5	2,3	10,5
Wassermanagement (CReMA 10)	8,0	24,5	18,0	20,4	8,7	12,2	2,1	1,8	12,1
Sanierung (CEPA 4)	7,2	36,2	22,4	7,5	7,0	8,9	0,4	5,4	12,2
Abfallwirtschaft (CEPA 3)	12,4	35,3	19,6	18,0	6,2	6,2	1,7	2,3	10,7
davon: Abfall	10,1	36,4	14,8	15,2	6,8	9,6	1,7	2,9	9,5
davon: Recycling allgemein	13,3	33,8	21,0	19,4	6,2	5,1	1,7	2,0	10,8
CReMA 13C	12,9	43,7	17,1	8,9	4,1	5,1	1,3	2,2	18,2
CReMA 14	20,8	40,9	14,7	15,4	5,1	7,1	2,1	2,4	10,6
Recycling (alle Technologien)	14,9	36,4	19,5	17,7	5,7	5,5	1,8	2,0	11,4
MSR	12,6	37,2	26,0	12,3	6,4	7,5	1,8	1,4	7,3
Klimaschutz (alle Technologien)	14,3	38,1	16,2	19,9	7,0	6,2	2,2	1,5	8,8
davon: Rationelle Energieverwendung	15,7	40,4	15,1	21,8	4,5	4,8	1,6	2,2	9,6
davon: Rationelle Energieumwandlung	16,1	30,4	18,6	26,7	7,4	3,4	4,5	1,3	7,7
davon: Erneuerbare Energien	13,6	38,3	16,3	18,4	7,9	7,0	2,1	1,3	8,7

Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

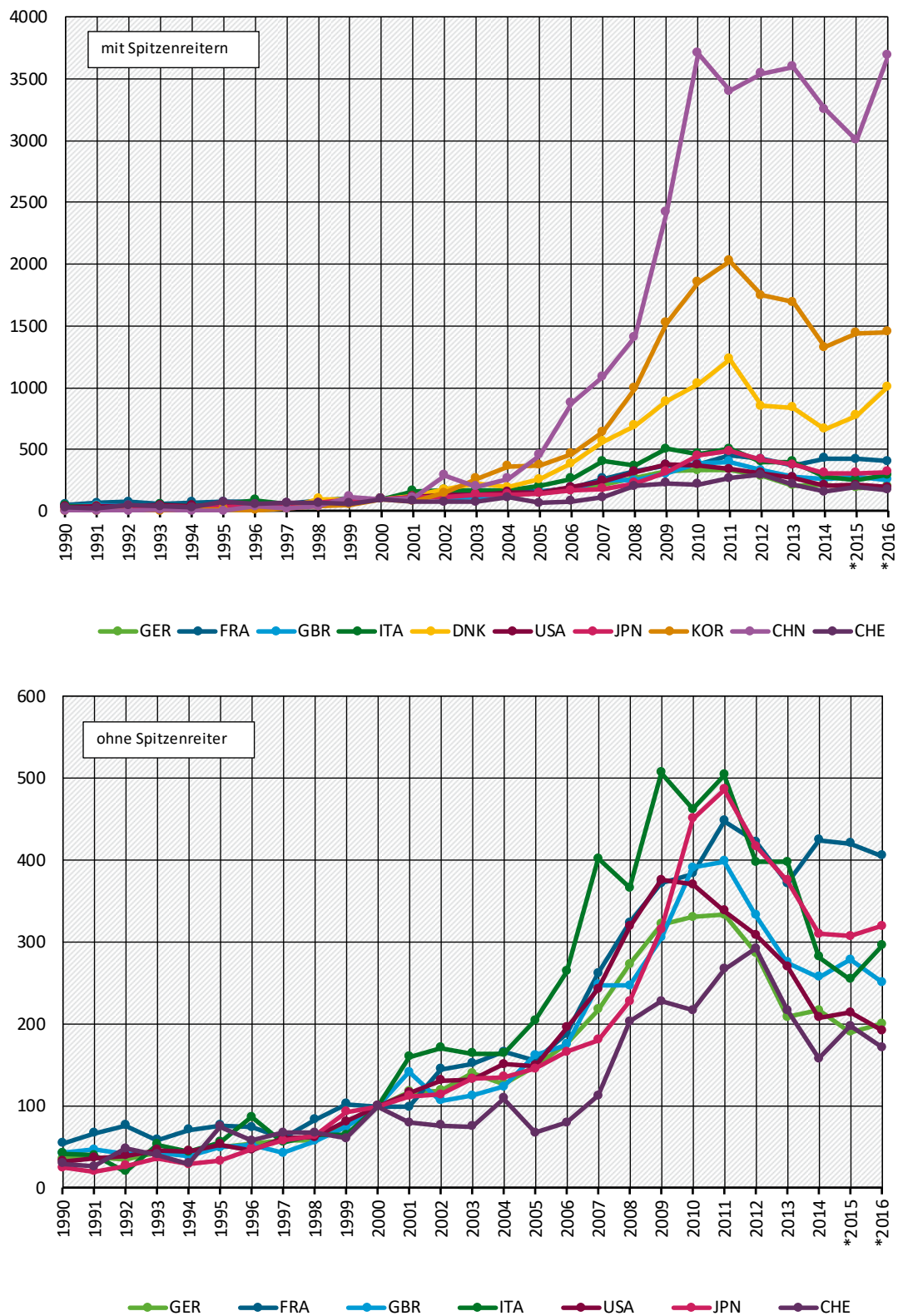
Tabelle B. 10: Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Umwelt (alle Technologien)	10	16	17	14	16	21	14	23	15	18
Luftreinhaltung	17	31	23	23	34	35	29	47	36	46
Lärmschutz	41	9	57	59	43	61	54	58	25	22
Abwasser (CEPA 2)	-23	-17	6	-11	-15	-1	5	-8	-13	-1
Wassermanagement (CReMA 10)	-34	-30	-39	-12	-23	-43	-27	-29	-17	-47
Sanierung (CEPA 4)	-71	-82	-54	-84	-9	-95	-13	0	-69	-33
Abfallwirtschaft (CEPA 3)	-12	-16	4	-3	-15	4	5	19	13	5
davon: Abfall	-24	-34	-34	-40	-47	-9	-19	-2	5	-30
davon: Recycling allgemein	-4	-6	21	14	-5	11	10	25	20	19
CReMA 13C	-28	16	7	29	8	2	40	16	7	-3
CReMA 14	13	45	53	58	51	60	46	59	59	44
Recycling (alle Technologien)	-1	10	28	29	11	27	24	34	30	22
MSR	7	27	9	25	7	4	14	19	0	17
Klimaschutz (alle Technologien)	22	18	12	15	19	8	30	17	25	57
davon: Rationelle Energieverwendung	44	44	52	40	32	32	27	41	35	27
davon: Rationelle Energieumwandlung	5	16	7	-2	3	30	27	41	36	40
davon: Erneuerbare Energien	18	18	13	14	21	24	5	23	12	24
Adapted goods:										
Umwelt (a.g.)	9	6	12	16	25	24	25	48	32	43
davon Luftreinhaltung (a.g.)	17	25	22	29	32	33	32	57	43	53
davon Recycling (a.g.)	-6	-23	-10	-17	-18	-35	-5	-18	-29	-23
davon Erneuerbare Energien (a.g.)	-48	-91	-62	-92	-29	-60	-47	-66	-32	-18

Anmerkung: CEPA 3 inkl. „adapted goods“

Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

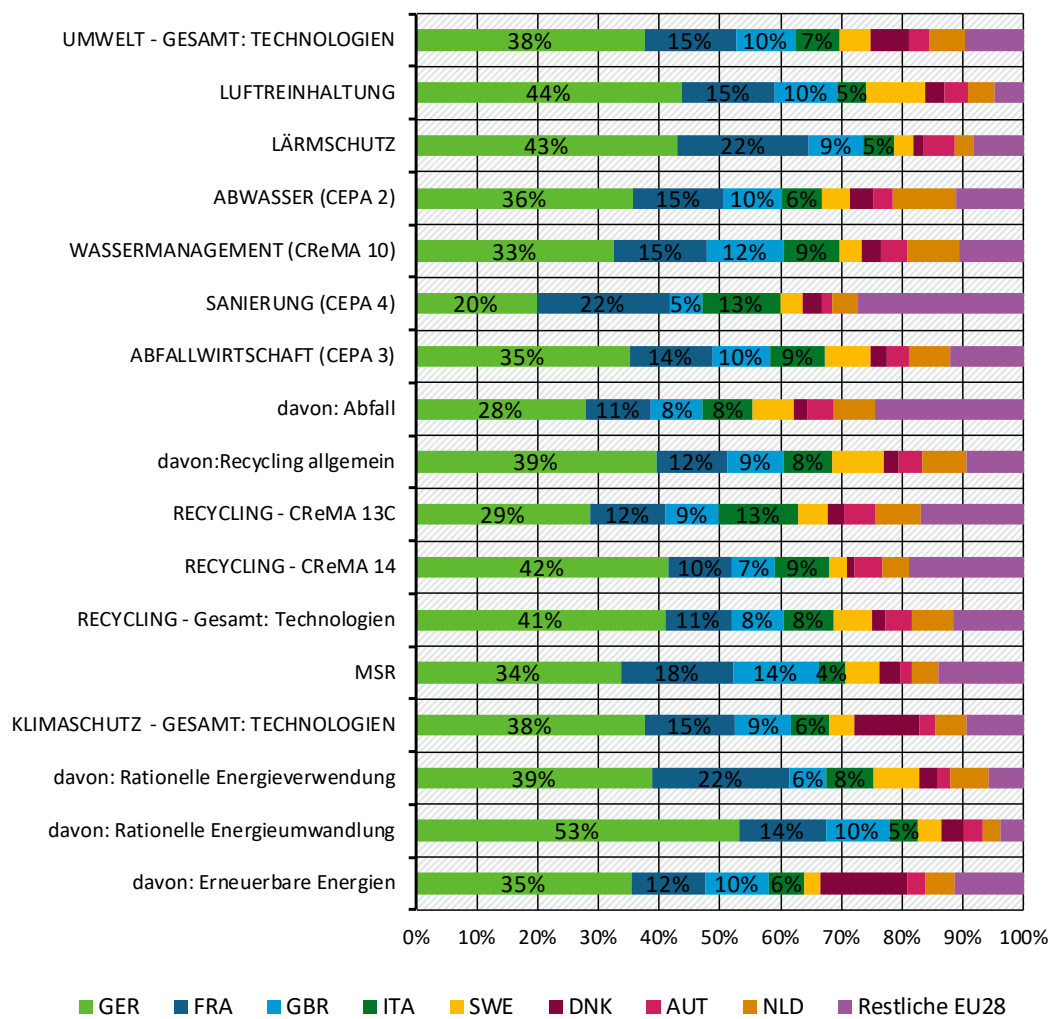
Abbildung B. 1: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz - Ländervergleich



* geschätzte Größen

Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung B. 2: Patentanteile innerhalb der EU-28 für Umwelttechnologien und ihre Teilbereiche (2012-2016)



Quelle: Patstat, Berechnungen des Fraunhofer ISI.