UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG
03/2022

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

Aktualisierte Ausgabe 2021

Für Mensch & Umwelt

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Umwelt Bundesamt

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 03/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3719 14 101 0

FB000801

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

Aktualisierte Ausgabe 2021

von

Birgit Gehrke, Kai Ingwersen, Ulrich Schasse
Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS), Hannover

Katrin Ostertag, Frank Marscheider-Weidemann, Oliver Rothengatter, Luisa Sievers, Denis Stijepic
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
/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:
August 2021

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, März 2022

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 und Speichertechnologien weltweit stärker in den Fokus gerückt. Die Patentaktivitäten weisen Deutschland weiterhin als ein Land aus, das (eher) zu den führenden Nationen im Bereich der Umwelttechnologien zählt. Jedoch ist die Zahl der Patentanmeldungen rückläufig, sodass die Dynamik bei Umwelttechnologien weiter hinter der Dynamik der allgemeinen technologischen Entwicklung zurückbleibt. Das Bild ist stark von den Entwicklungen bei Klimaschutztechnologien geprägt.

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 and storage technologies became the focus of attention worldwide. The patent activities show Germany to remain among the leading countries in the area of environmental technologies. However, as the number of patent applications declines the momentum in environmental technologies continues to fall behind the momentum of general technological development. The picture is dominated by the developments in technologies for climate protection

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ... 8

Tabellenverzeichnis ... 9

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen im Anhang ... 10

Abkürzungsverzeichnis ... 11

Zusammenfassung ... 16

Summary ... 28

1 Einleitung ... 39

2 Forschung und Entwicklung für den Umweltschutz ... 41

2.1 Staatliche Aufwendungen zur Förderung von Umweltschutz- und Energieforschung im internationalen Vergleich ... 41

2.1.1 Staatliche FuE-Ausgabenansätze für physische Umweltforschung und Energieforschung (OECD-GBARD) ... 41

2.1.2 Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte im Energiebereich nach Trägern und Technologien (IEA-Statistik) ... 46

2.1.3 Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland (UFORDAT) ... 60

2.2 FuE und Innovationen der Wirtschaft im Umweltschutzbereich: Ausgewählte Ergebnisse im Überblick ... 62

2.2.1 Weltweite öffentliche und private FuE-Investitionen in erneuerbare Energien ... 62

2.2.2 Forschungs- und Innovationsausgaben von Unternehmen in Europa in energiebezogenen Schlüsselaktionsfeldern (SET Plan key actions) ... 64

2.2.3 Interne FuE-Ausgaben der US-amerikanischen Unternehmen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen ... 70

3 Patentanmeldungen im Umweltschutz ... 72

3.1 Methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Patentindikatoren ... 72

3.2 Ergebnisse der Patentindikatorik im Umweltschutz ... 74

3.2.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei potenziellen Umwelttechnologien ... 74

3.2.2 Patentanteile bei potenziellen Umweltschutztechnologien ... 82

3.2.3 Spezialisierungsmuster bei potenziellen Umwelttechnologien ... 85

3.3 Vertiefende Patentanalyse für den Bereich Energieeffizienz ... 88

3.3.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei Energieeffizienztechnologien ... 89

3.3.2 Patentanteile und Spezialisierungsmuster bei Energieeffizienztechnologien ... 92

3.4 Gesamtbild der Patentergebnisse für Deutschland ... 94

4 Quellenverzeichnis ... 96

A Methodischer Anhang ... 100

A.1 Technologielinien und umweltfreundliche Güter („adapted goods“) in der Patentanalyse 100

B Statistischer Anhang 104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2018 in %: Umwelt, Energie und insgesamt 45
Abbildung 2: Struktur staatlicher Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten 2007-2009 und 2017-2019 49
Abbildung 3: Staatliche RD&D Budgets* 2017 bis 2019 in Relation zum BIP (in ‰).....53
Abbildung 4: Staatliche RD&D Budgets nach Energiebereichen in Deutschland 2007 bis 2019 (Anteile in Promille vom BIP) 54
Abbildung 5: Struktur der Energieforschungsbudgets bei erneuerbaren Energien nach Teilsegmenten 2007-2009 und 2017-2019.....56
Abbildung 6: Struktur der Energieforschungsbudgets für Verbesserungen im Bereich Energieeffizienz 2007-2009 und 2017-2019 59
Abbildung 7: Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2005 bis 2007 und 2015 bis 2017 in %...61
Abbildung 8: Weltweite staatliche und private FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien 2009 bis 2019 63
Abbildung 9: FuI-Aufwendungen nach SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern 2008 und 2016: Deutschland und übrige EU-28 insgesamt im Vergleich (Anteile in %) 68
Abbildung 10: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz und Teilbereiche.....75
Abbildung 11: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien Ländervergleiche (Jahr 2000 = 100) 76
Abbildung 12: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien.....78
Abbildung 13: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft 79
Abbildung 14: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter („adapted goods“) 81
Abbildung 15: Patentanteile ausgewählter Länder bei Klimaschutztechnologien (2014-2018).....82
Abbildung 16: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien(1) (2014-2018) 83
Abbildung 17: Patentanteile ausgewählter Länder bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“).....84
Abbildung 18: Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich Umwelttechnologien (RPA-Werte).....86
Abbildung 19: Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte).....87

Abbildung 20: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Energieeffizienztechnologien 91
Abbildung 21: Patentanteile bei Energieeffizienztechnologien in den Jahren 2014 -2018.....92
Abbildung 22: Spezialisierung Deutschlands in Energieeffizienztechnologien (RPA-Werte).....93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umweltforschung und Energieforschung in den staatlichen FuE-Budgets der OECD-Länder 2010 bis 2019.....43
Tabelle 2: FuE-Aufwendungen von Staat und Unternehmen in erneuerbare Energien nach Energieträgern 2019 und Veränderung gegenüber 2018.....64
Tabelle 3: Anteile einzelner Länder an den gesamten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft in den SET Plan Schlüsselaktionsfeldern 2016 .67
Tabelle 4: Forschungs- und Innovationsindikatoren für Deutschland in den SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern der EU 2016.....69
Tabelle 5: Anteil interner FuE-Ausgaben US-amerikanischer Unternehmen für Energie- und Umweltschutzanwendungen an allen internen FuE-Ausgaben 2010 bis 2018.....71

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen im Anhang

Tabelle A. 1: Inhalte der Patentsuchstrategie für die einzelnen Umweltbereiche 100

Tabelle B. 1: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern 104

Tabelle B. 2: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationspro-jekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern 108

Tabelle B. 3: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrations-projekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern 112

Tabelle B. 4: Umweltbereiche in UFORDAT im Überblick 114

Tabelle B. 5: Patentanteile ausgewählter Länder und der EU-28 im Bereich Klimaschutz (2014-2018) 115

Tabelle B. 6: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien in Prozent (2014-2018) 116

Tabelle B. 7: Patentanteile ausgewählter Länder bei den neuen Energieeffizienzbereichen-in Prozent (2014-2018) 116

Abbildung B. 1: Patentanteile innerhalb der EU-28 für Umwelttechnologien und ihre Teilbereiche (2014-2018) 117

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

CPC	Cooperative Patent Classification System
CO_2	Kohlenstoffdioxid
COP 21	UN-Klimakonferenz in Paris 2015
CReMA	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 Rohrstoffagentur
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
EEF	Energieeffizienz / Energy Efficiency
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEI	Energieeffizienz in der Produktion
EFI	Expertenkommission Forschung und Innovation
EFTA	Europäische Freihandelsassoziation (umfasst die Staaten Island, Liechtenstein, Norwegen und Schweiz)
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
FuI	Forschung und Innovation
GBARD	Government Budget Allocations 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
ibid	Abkürzung für ibidem (lateinisch); deutsch: ebenda
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 (Südkorea)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MEX	Mexiko
Mio.	Million
MPI	Metallpreisindex
Mrd.	Milliarde
MSR	Messen, Steuern, Regeln

MW	Megawatt
n.a.	nicht ausgewiesen
NED	Niederlande
NIW	Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
NOR	Norwegen
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 (renewable energy technologies)
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. 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
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

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt hat das Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS) der Leibniz Universität Hannover, das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) 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 (im Wesentlichen 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.

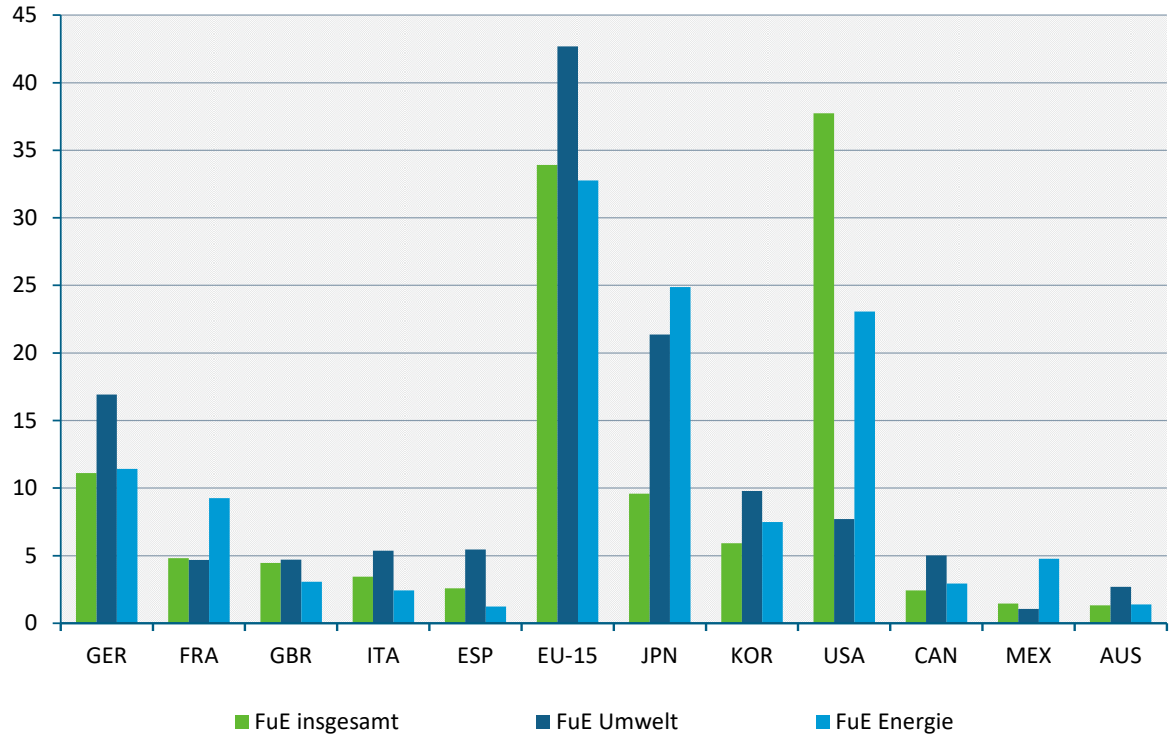
Im Jahr 2018 beliefen sich die staatlichen FuE-Aufwendungen der OECD-Länder für den Umweltschutz auf rund 7 Mrd. US-$ und waren damit noch etwas höher als der bisherige Spitzenwert des Jahres 2017 (6,83 Mrd. US-$). Auch 2019 dürfte sich dieser positive Trend basierend auf den bisher vorliegenden Länderdaten weiter fortgesetzt haben. Der Anteil der umweltschutzspezifischen FuE-Ausgaben an den gesamten FuE-Ausgaben der OECD liegt seit einigen Jahren unverändert bei 2,3 bis 2,4 %.

Er unterscheidet sich damit kaum mehr vom Durchschnitt der EU-15 (2018/19: jeweils 2,4 %), wo dem Umweltschutzziel bis Anfang der 2010er Jahre noch eine deutlich höhere Priorität innerhalb des staatlichen Forschungsbudgets eingeräumt worden war. In der EU-15 setzte dann ein rückläufiger Trend bei der Umweltforschung ein, der erst seit 2016 zum Stillstand gekommen ist, weil – gemessen an den gesamten staatlichen FuE-Aufwendungen - überdurchschnittliche Ausgabensteigerungen insbesondere in Deutschland Einschnitte in anderen EU-15-Ländern ausgleichen konnten. Für Deutschland ergibt sich daraus eine leichte Anteilssteigerung von 2,8 % (2016) auf 3,0 % (2019). Umweltforschung genießt demzufolge in Deutschland gegenüber dem EU-15-und OECD-Durchschnitt unverändert klar überdurchschnittliche Priorität. Innerhalb Europas wiesen 2019 lediglich Spanien, Portugal, Griechenland, Ungarn und Polen (2018) höhere Anteile auf als Deutschland. Hingegen spielt der Umweltbereich im staatlichen FuE-Budget der USA eine unverändert geringe Rolle, wohingegen Japan seit einigen Jahren merklich aufgeschlossen hat.

Allerdings bleibt der umweltschutzspezifische Anteil in den EU-15 wie auch in Deutschland bereits seit 2010 hinter den entsprechenden Quoten der 2000er Jahre zurück. Dies hängt vor allem mit der zunehmenden Gewichtungsverschiebung zugunsten von Energieforschung zusammen. Aber auch im letzten Jahrzehnt ist der deutsche Energieforschungsanteil von 2010 (4 %) bis 2019 (5,8 %) nochmal deutlich und stärker ausgeweitet worden als im Durchschnitt der EU-15 (2010: 4,1 %, 2019 5 %).

In Abbildung Z-1, in der die Anteile einzelner Länder an den OECD-weiten Forschungsbudgets für Umweltforschung und Energieforschung sowie ihre jeweiligen Anteile an den gesamten OECD-weiten FuE-Aufkommen dargestellt sind, wird diese unterschiedliche Prioritätensetzung nochmals besonders deutlich. Auf Deutschland entfielen 2018 rund 17 % der staatlichen Ausgaben aller OECD-Länder für den Umweltschutz, deutlich mehr als bei den Ausgaben für alle FuE-Programme (11 %) oder den Ausgaben für Energieforschung (11,4 %). Auch die EU-15 erreicht bei den Umweltschutzausgaben einen überdurchschnittlich hohen Anteil (fast 43 %) und liegt beim Mitteleinsatz für Energieforschung (33 %) sowie für die Gesamtheit aller FuE-Programme (34 %) in umgekehrter Reihenfolge ebenfalls nahezu gleichauf.

Abbildung Z-1: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2018 in %: Umwelt, Energie und insgesamt



2018 oder letztes verfügbares Jahr.
Quelle: OECD, Research and Development Statistics. Datenstand September 2020. – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Umgekehrt wird vor allem in den USA, aber auch in und Japan, Energieforschung innerhalb der staatlichen FuE-Budgets höher gewichtet als physische Umweltforschung. Während in den USA jedoch beide Förderbereiche vergleichsweise geringe Priorität genießen, ist Japan mittlerweile in beiden spezifischen Forschungsbereichen klar überdurchschnittlich vertreten. Vor allem im Energiebereich ist der Beitrag mit 25 % 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 zulasten von Kernenergie und fossilen Energieträgern und zugunsten zukunftsorientierter, sprich nachhaltiger, ressourcenschonender Technologien (zur Abgrenzung vgl. Abbildung Z-2). Nachdem die Mittel zunächst vor allem für Projekte zu erneuerbaren Energien verwendet wurden, sind im Verlauf der letzten 10 Jahre Energieeffizienz, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien sowie Querschnittsthemen (systemische Innovationen und nicht einzelnen Teilbereichen zugeordnete Grundlagenforschung) stärker in den Fokus gerückt.

In Deutschland entfallen im aktuellen Betrachtungszeitraum 2017-2019 durchschnittlich 77 % der Mittel auf zukunftsorientierte Energietechnologien, deutlich mehr als in der Vergleichsperiode 2007-2009 (60 %). Damit ist der deutsche Anteil merklich höher als der Durchschnitt der übrigen EU-15 (2017-2019: 64 %). Allerdings gibt es auch in Europa eine Vielzahl an Ländern, die ihr Energieforschungsbudget fast ausschließlich für die Erforschung zukunftsorientierter Energietechnologien aufwenden. Spitzenwerte in Europa mit Anteilen zwischen 96 bis 99 % erreichen Spanien, Ungarn, Schweden, Österreich, Estland und Dänemark. Sie nehmen damit auch weltweit eine Vorreiterrolle ein. Die Slowakei, die Niederlande, Finnland und die Schweiz wenden mehr als 80 % ihrer Energieforschungsbudgets für zukunftsorientierte Technologien auf. Bemerkenswert ist die Entwicklung in Norwegen, wo sich der Anteil für zukunftsorientierte Technologien zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen von 36 % auf 72 % verdoppelt hat. In den hochentwickelten Ländern außerhalb Europas weist Korea nach klaren Zuwächsen mit 80 % den höchsten Anteil auf. Für die USA ergibt sich nach leichten Rückgängen aktuell – wie für Deutschland – ein Anteil von 77 %. Japan, wo der Kurswechsel erst spät vollzogen wurde, liegt mit 57 % noch deutlich zurück.

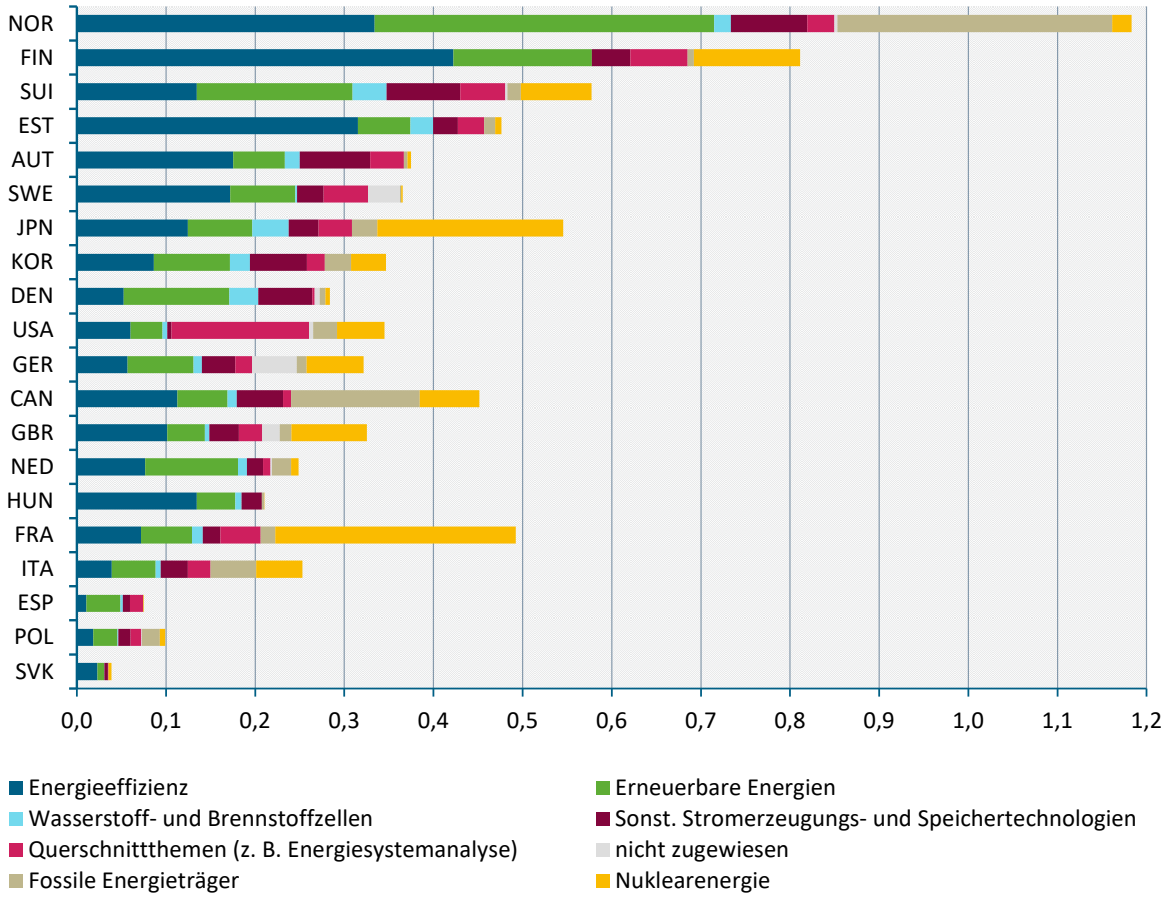
Im Bereich der erneuerbaren Energien bilden Solar-, Wind- und Bioenergie in den meisten Ländern den Schwerpunkt der RD&D-Förderung. In Deutschland dominiert im Betrachtungszeitraum 2017-2019 klar die Solarenergie mit 41 %, gefolgt von Windenergie mit 28 % und Bioenergie mit 14 %. Demgegenüber nimmt in den übrigen EU-15 der Bereich Bioenergie (26,5 %) innerhalb der staatlichen RD&D-Budgets schon seit längerem eine größere Rolle ein und wird in den übrigen EU-15 aktuell ähnlich hoch gewichtet wie die Solarenergie (27 %); der Windbereich liegt bei 21 %. Allerdings ist in vielen Ländern mit vormals starkem Bioenergiefokus im Periodenvergleich eine Verschiebung der öffentlichen Forschungsförderung zugunsten von Solar- und/oder Windenergie zu beobachten. Dies gilt auch für die USA, wo Bioenergie und Solarenergie mit jeweils 32 % mittlerweile gleichauf liegen. In Japan dominiert unverändert der Windbereich (52 %). In einzelnen Ländern, darunter auch in Deutschland, ist zudem – auf geringerem Niveau – eine wachsende Ausrichtung auf geothermische Forschung zu beobachten.

Die RD&D-Budgets zur Verbesserung von Energieeffizienz fließen in Deutschland in der aktuellen Betrachtungsperiode zu 30 % in den Bereich Industrie, weitere 23 % zielen auf Gebäude, 11 % auf den Verkehr und 19 % auf sonstige Energieeffizienzforschung. 17 % der Mittel wurden keinem der genannten Teilbereiche zugewiesen. Damit sind die Mittel in Deutschland vergleichsweise gleichmäßig verteilt. Im Durchschnitt der übrigen EU-15 liegt der Fokus klar und

zunehmend auf dem Verkehrsbereich (48 %), wenngleich einzelne Länder andere Schwerpunkte setzen (Spanien, Niederlande: Industrie; Dänemark: Gebäude). Für die USA spielt der Verkehrsbereich eine noch größere Rolle (58 %), während die Mittel in Japan zunehmend auf Verbesserungen der Energieeffizienz in der Industrie ausgerichtet werden (55 %).

Setzt man die budgetierten Mittel für zukunftsorientierte Energieforschung in Relation zum jeweiligen Bruttoinlandsprodukt (BIP), wird deren gesamtwirtschaftliche Bedeutung sichtbar. Für Deutschland ergibt sich im aktuellen Zeitraum für zukunftsorientierte Energietechnologien ein durchschnittlicher Anteil von 0,25 ‰ am BIP gegenüber 0,12 ‰ in der Vergleichsperiode 2007-2009. Die Zunahme basiert auf einem stetigen Anteilszuwachs in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Dennoch fällt die deutsche Quote im Vergleich zu den meisten anderen Ländern relativ niedrig aus (Abbildung Z-2).

Abbildung Z-2: Staatliche RD&D Budgets* 2017 bis 2019 in Relation zum BIP (in ‰)



*Absteigend sortiert nach dem Anteil zukunftsorientierter Energietechnologien (Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen, nicht zugewiesen). Budgets ausschließlich für die Jahre 2017 und 2018: FRA, GBR, ITA, ESP, DEN, FIN, NED, AUT, KOR.
Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 04/2020. - Berechnungen des CWS.

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 der Schweiz, Estland, Österreich, Japan, Südkorea und den USA liegen die Quoten teils deutlich höher als in Deutschland. Auf Länderebene zeigen sich bezogen auf diesen Indikator zwischen 2007-2009 und 2017-2019 sehr unterschiedliche Entwicklungen. Anteilssteigerungen

zeigen sich neben Deutschland vor allem für Norwegen, die Schweiz, Österreich, aber auch Japan, Großbritannien und Frankreich; das Gegenteil gilt für Finnland, Dänemark, Estland und Ungarn. Für die USA und Südkorea ergeben sich keine Veränderungen.

Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland

Um zusätzliche und detailliertere 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. Damit ist nicht nur eine Unterscheidung zwischen Umweltbereichen, sondern auch zwischen Projekt- und Fördervolumen sowie durchführenden und finanzierenden Institutionen möglich. Die letzte verfügbare Analyse bezieht sich auf die Strukturen und Entwicklungen in den Jahren 2005 bis 2007 sowie 2015 bis 2017 (Gehrke et al. 2019). Ein wesentliches Ergebnis der bisherigen Analysen war, dass sich die zuvor beschriebenen Gewichtsverschiebungen in den globalen öffentlichen Forschungsbudgets in Richtung Klima- und Ressourcenschutz auch anhand der öffentlich geförderten Forschungsvorhaben in Deutschland nachweisen lassen.

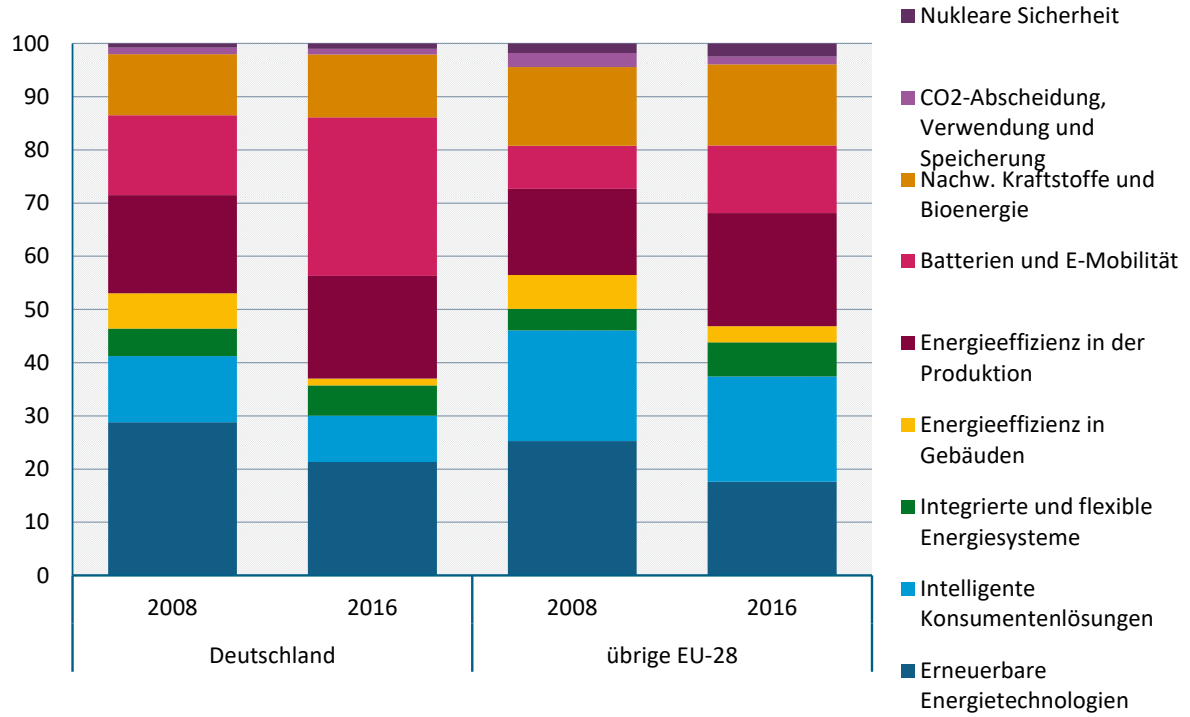
In jüngerer Zeit ist bei UFORDAT eine grundlegende technische und inhaltliche Umstellung (erweiterte Klassifikation) vorgenommen worden, die mit erheblichen Verzögerungen in der Datenerfassung verbunden ist. Für die Jahre 2018 und 2019 war diese Klassifizierung zum Zeitpunkt der Berichterstellung erst in Teilen umgesetzt, so dass an dieser Stelle auf eine Aktualisierung der Daten verzichtet wird. Stattdessen soll öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland mit erweiterter Klassifikation ausführlich im Folgebericht behandelt werden.

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 (FuI) 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 Forschungs- und Innovationsausgaben der Wirtschaft basieren neben veröffentlichten Unternehmensangaben auch auf energiespezifischen Patentanmeldungen. Da deren Klassifikation einen geringeren Aktualitätsgrad aufweist, reichen die Anfang 2020 veröffentlichten Schätzungen lediglich bis zum Jahr 2016.

In diesem Jahr lagen die EU-weiten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft über alle energiebezogenen Aktionsfelder bei rund 15 Mrd. Euro. Gut die Hälfte davon entfiel auf Deutschland (52 %). Erst mit weitem Abstand folgen Frankreich (10,4 %) und Großbritannien (6,4 %). Damit war der deutsche Anteil an diesen spezifischen FuI-Aufwendungen 2016 deutlich höher als der Anteil deutscher Unternehmen an den gesamten FuE-Aufwendungen der EU-Wirtschaft (32 %). Das Gleiche gilt weniger ausgeprägt auch für Dänemark, die Niederlande, Großbritannien und Finnland.

Abbildung Z-3: FuI-Aufwendungen nach SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern 2008 und 2016: Deutschland und übrige EU-28 insgesamt im Vergleich (Anteile in %)



Quelle: Pasimeni et al. 2018, Datenstand März 2021. – Berechnungen des CWS.

Vergleicht man die Struktur der FuI-Aufwendungen der Wirtschaft in Deutschland mit derjenigen in den übrigen EU-28 (Abbildung Z-3), ist das hohe Gewicht von *Batterien und E-Mobilität* in Deutschland (2016: 30 % gegenüber 13 % in den übrigen EU-28) besonders augenfällig. In beiden Vergleichsregionen sind die Forschungs- und Innovationsanstrengungen in diesem Aktionsfeld gegenüber 2008 überproportional ausgeweitet worden. Der relative Bedeutungsgewinn von Batterien und E-Mobilität in Deutschland ging vor allem zulasten von *erneuerbaren Energietechnologien*, *intelligenten Konsumentenlösungen* und *Energieeffizienz in Gebäuden*; bei den übrigen Aktionsfeldern haben sich die Strukturanteile kaum verändert. In den übrigen EU-28 zeigen lediglich *erneuerbare Energietechnologien* und *Energieeffizienz in Gebäuden* merkliche Verluste. Zudem haben dort - neben Batterien und E-Mobilität – auch noch *Energieeffizienz in der Produktion, integrierte Energiesysteme* sowie *nukleare Sicherheit* strukturell an Bedeutung gewonnen.

Für die hohe Bedeutung der Aktionsfelder *Batterien und E-Mobilität*, aber auch *nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie* in den privaten FuI-Aufwendungen in Deutschland ist vor allem das besondere Strukturgewicht und die hohe Innovationsdynamik der hiesigen Automobilindustrie verantwortlich. Hierin spiegeln sich einerseits die an die Branche gesetzten Anforderungen wider, bei konventionellen Antriebstechnologien die Effizienzgrade zu verbessern und die Emissionen zu senken, andererseits aber auch die Erwartungen an deutliche Nachfragesteigerungen bei alternativen Antriebstechnologien, speziell E-Mobilität.

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

In den USA wird seit 2008 in der amtlichen FuE-Erhebung der Wirtschaft erfragt, wie hoch die FuE-Ausgaben für Energiespar- oder Umweltschutzanwendungen sind. Im Jahr 2018, auf das sich die aktuell vorliegenden Daten beziehen, haben US-Unternehmen aus eigenen Mitteln gut

23 Mrd. US-$ für Energiesparanwendungen und annähernd 8 Mrd. US-$ für Umweltschutzzwecke aufgewendet. Hinzu kamen in Summe 3,7 Mrd. US-$ aus externen Finanzierungsquellen, die vor allem im Umweltschutzbereich von hoher Relevanz sind. Allerdings sind in beiden Bereichen die FuE-Aufwendungen seit 2010 weniger stark ausgeweitet worden als die internen FuE-Aufwendungen der Unternehmen insgesamt, mit vergleichsweise höheren Anteilsverlusten im Umweltschutzbereich.

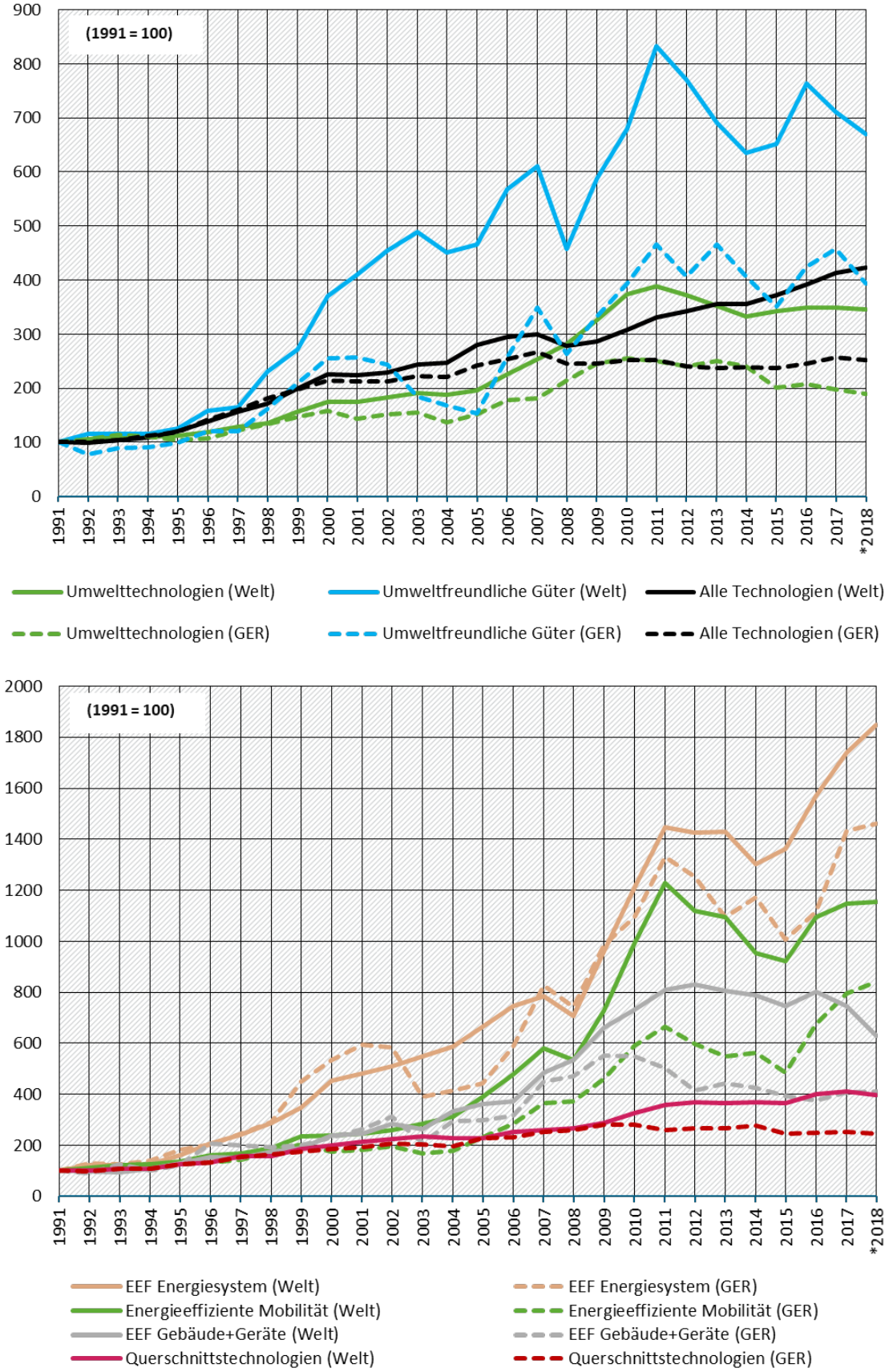
Bemerkenswert ist, dass kleine und mittlere Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten fast durchgängig höhere Anteile ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen für Energiespar- oder Umweltschutzanwendungen verausgaben als größere Unternehmen. Nur im Energiebereich trifft dieses Ergebnis 2018 nicht mehr zu.

Patentindikatoren im Bereich Umweltschutz – Internationale Entwicklungen

Zahlen zu Patentanmeldungen sind, wenn sie fundiert abgegrenzt und erhoben werden, eine wichtige und etablierte Basis zur Ableitung verschiedener Umweltinnovationsindikatoren, insbesondere für frühe Phasen des Innovationsgeschehens. Das Fraunhofer ISI entwickelt seine Methodik hierzu ständig weiter. Das große Feld der Umwelttechnologien wird - wie in der Vorläuferstudie - in verschiedene Teilbereiche untergliedert, die separat analysiert werden (s. Abbildung Z-5). Neu in diesem Bericht ist die ausführlichere Betrachtung zusätzlicher Technologien im Bereich Energieeffizienz. Im Jahr 2018 hat die EU das „energy efficiency first principle“ gesetzlich verankert. Sie erkennt damit die großen und unverzichtbaren Beiträge dieser Technologien zu den klimaschutz- und energiepolitischen Zielen der EU an. Zur Umsetzung ihres Strategic-Energy-Technology-(SET)-Plans hat sie ein Informationssystem SETIS etabliert, das regelmäßig u. a. Patententwicklungen in den Schlüsselaktionsfeldern des SET-Plans berichtet. Die hier vorgelegten Energieeffizienz-Analysen knüpfen daran an und ergänzen diese Informationen. Denn auch in Deutschland hat Energieeffizienz hohe Priorität in der Klima- und Energiepolitik. Neben dem Blick auf Technologien für den Umweltschutz geht die Untersuchung auch auf die Entwicklung bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“) ein. Diese sind u. a. deshalb von Interesse, weil sie Hinweise darauf geben können, ob sich das Innovationssystem in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte“ entwickelt (vgl. Walz et al. 2019). Dieser ist von seiner Komplexität her, aber auch bezüglich seines Beitrags zur Nachhaltigkeit höher einzustufen als Umweltschutz allein durch produktionsintegrierte Technologien.

Abbildung Z-4 (oben) vergleicht die Dynamik von Umwelttechnologien und umweltfreundlichen Gütern mit der Entwicklung bei allen Technologien - sowohl auf globaler Ebene als auch für Deutschland. Weltweit betrachtet stagniert die Zahl der Patentanmeldungen für Umwelttechnologien seit 2014 und bleibt damit hinter der allgemeinen technologischen Dynamik zurück. Ein wesentlicher Faktor hinter dieser Entwicklung bleibt der stagnierende und zuletzt leicht sinkende Trend bei Klimaschutztechnologien, insbesondere bei Erneuerbaren Energien. Die neu ausgewiesenen Energieeffizienzbereiche sind in dieser aggregierten Betrachtung jedoch noch nicht berücksichtigt und in Abbildung Z-4 (unten) deshalb separat ausgewiesen. Sie sind mengenmäßig sehr bedeutsam und insbesondere in den Bereichen Energieeffizienz im Energiesystem und energieeffiziente Mobilität sehr dynamisch. Das gilt für Deutschland, aber mehr noch für die globale Ebene. Umweltfreundliche Güter haben sich über die lange Frist (seit 1991) deutlich dynamischer entwickelt als Umwelttechnologien.

Abbildung Z-4: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Deutschland und der Welt

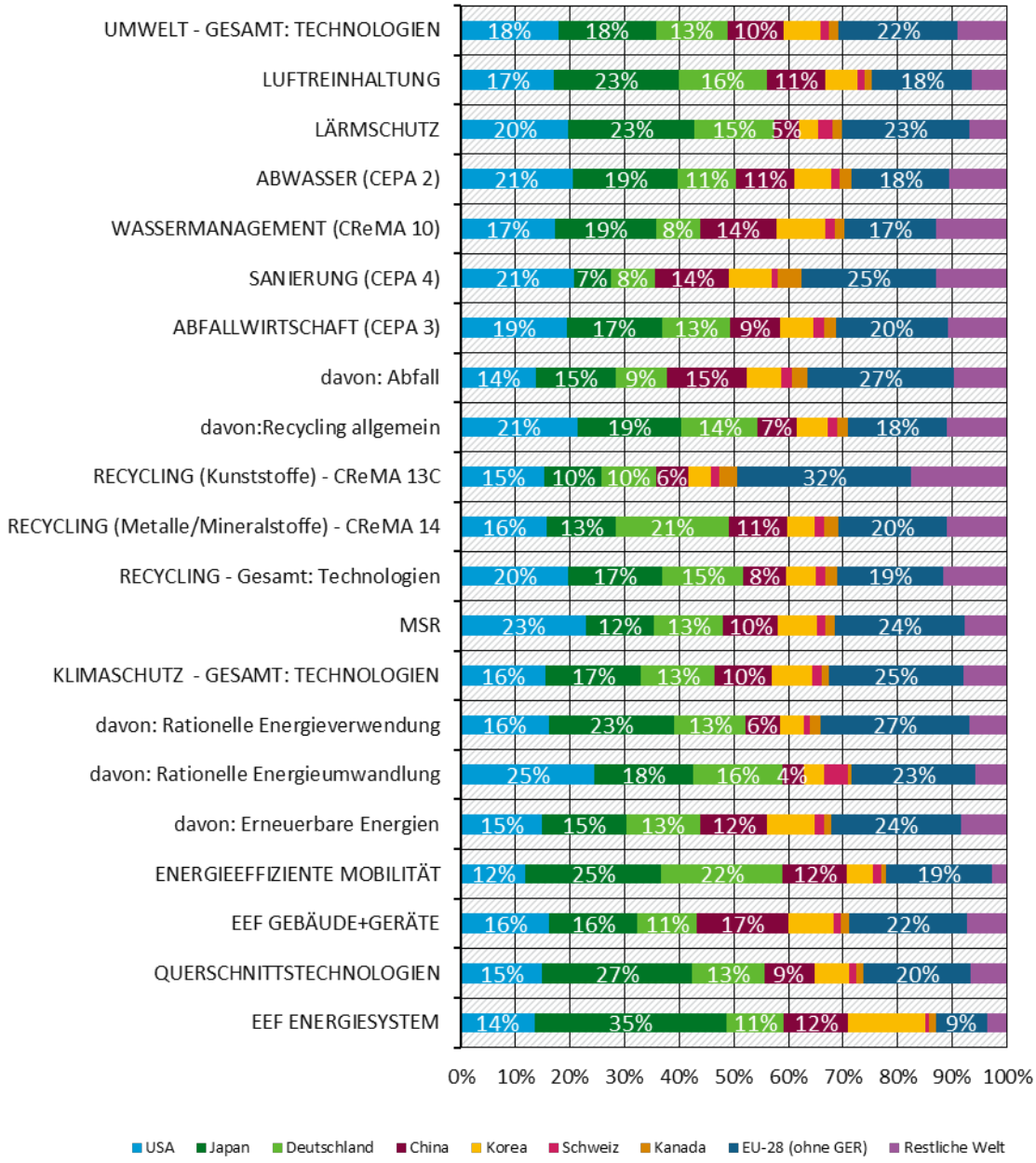


*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die Länderpatentanteile sind ein Indikator für die Beiträge einzelner Länder oder Regionen zu der Innovation in ausgewählten Technologiebereichen und Zeiträumen. Die EU-28 ist hier durchgängig der stärkste Player und regelmäßig mit höheren Patentanteilen vertreten als die USA, obwohl die USA von der Größe der Volkswirtschaft her (gemessen am BIP) die EU-28 bei weitem übersteigen. Die hohe Bedeutung der EU-28 zeigt sich für das Aggregat aller Umwelttechnologien, aber auch in allen Teilbereichen mit lediglich einer Ausnahme: Japan führt deutlich im Bereich „Energieeffizienz im Energiesystem", in dem Stromspeichertechnologien eine wichtige Rolle spielen.

Abbildung Z-5: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien* (2014-2018)



*CEPA 3 inkl. „adapted goods"

Quelle: Patstat 18s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

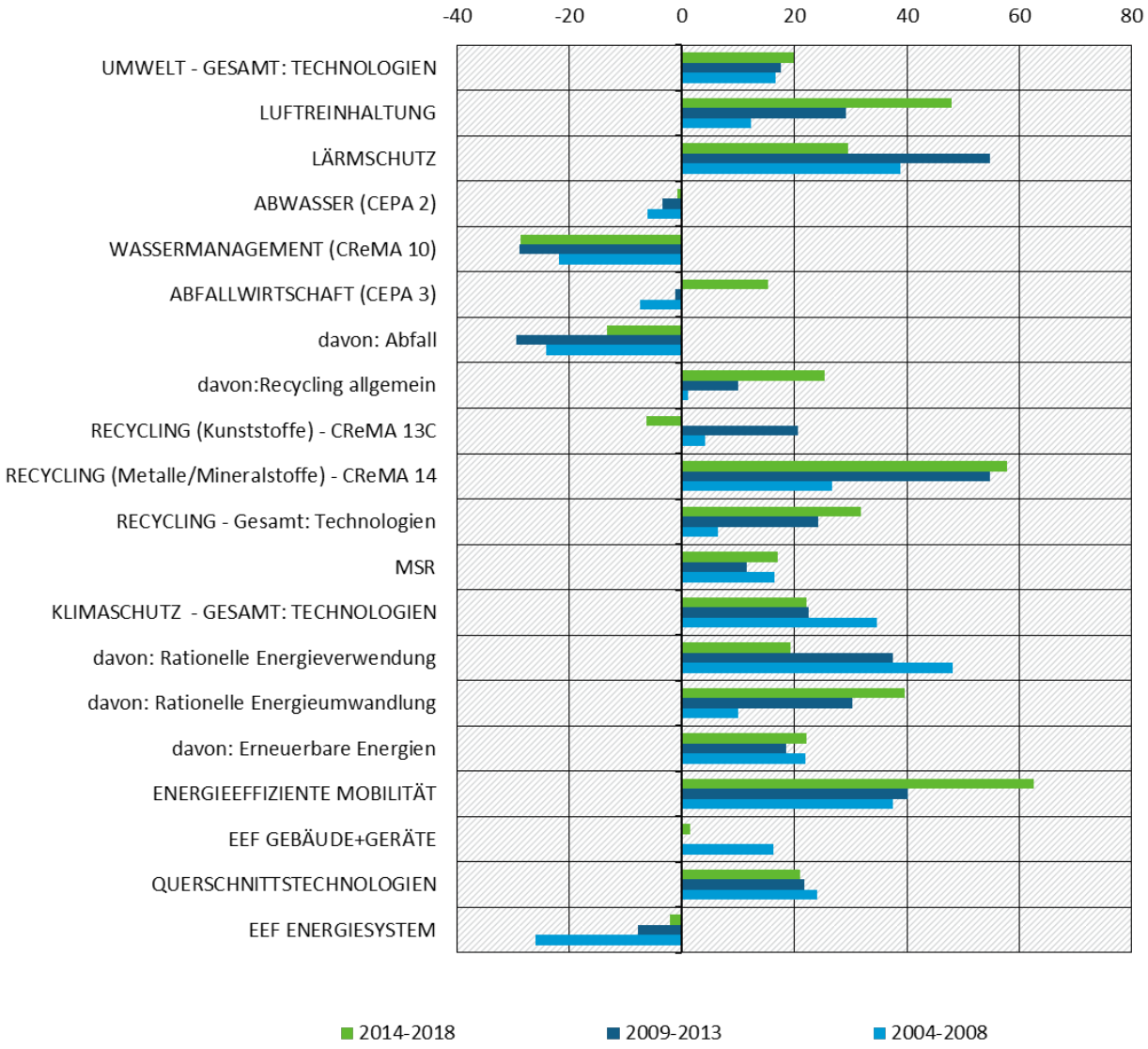
Deutschland hat innerhalb der EU-28 den größten Anteil an den Umweltpatenten - auch das ein Phänomen, das sich durch alle Teilbereiche durchzieht. Am größten ist sein Patentanteil bei

energieeffizienter Mobilität und beim Recycling von Metallen und Mineralstoffen mit jeweils etwas über 20 % der weltweiten Patentanmeldungen.

China als mittlerweile zweitgrößte Volkswirtschaft der Welt kommt inzwischen ebenfalls auf einen zweistelligen Patentanteil bei Umwelttechnologien und auch bei den meisten der neu aufgenommenen Energieeffizienz-Teilbereiche. Daneben hat sich (Süd-) Korea zu einem weiteren wichtigen Player aus dem asiatischen Raum entwickelt.

Bemerkenswert ist, dass die USA und Japan zwar hohe Patentanteile bei Umwelttechnologien aufweisen. Dieser liegt jedoch im Vergleich zu ihrem Patentanteil bei allen Technologien deutlich niedriger (USA) bzw. nur geringfügig höher (Japan). Das heißt, die Wissensbasis dieser Länder ist nicht auf Umwelttechnologien spezialisiert. Das gleiche gilt für China.

Abbildung Z-6: 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 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Dieser Blick auf Spezialisierungsvorteile - gemessen am Relativen Patentanteil (RPA), der das Innovationsgeschehen eines Landes in einem bestimmten Technologiebereich in Relation zum allgemeinen Innovationsgeschehen des Landes (und der Welt) setzt -, soll für Deutschland noch etwas vertieft werden (vgl. Abbildung Z-6). Deutschland gehört in der Periode 2014-2018 zu den Ländern, die eine Stärke im Bereich der Umwelttechnologien aufweisen, dank der Steigerung des deutschen Spezialisierungsgrads in diesem Bereich über die Periode 2004-2018. Hier zeichnet sich ein positiver Trend ab. Deutschland gehört jedoch nicht zu den am stärksten auf Umwelttechnologien spezialisierten Ländern. Dies sind viel eher Dänemark, Spanien, Australien und Norwegen.

Für einzelne Teilbereiche lässt sich für Deutschland Folgendes festhalten:

- Am meisten sticht - wie schon der hohe Patentanteil vermuten lässt - der Bereich der energieeffizienten Mobilität hervor. Hier verdeutlichen die RPA-Werte das Bild, das sich bereits bei Betrachtung der Dynamik und der Patentanteile abgezeichnet hat: Deutschland hat eine ausgesprochene Stärke im Bereich energieeffizienter Mobilitätstechnologien.

- Die signifikant positive Spezialisierung Deutschlands auf Klimaschutztechnologien ist stabil. Während die schon bisher betrachteten Klimaschutzbereiche insgesamt eine signifikant positive Spezialisierung Deutschlands zeigen (RPA > 20), ist das Bild bei den neu betrachteten Energieeffizienzbereichen jenseits von energieeffizienter Mobilität gemischt. Die Querschnittstechnologien sind ein weiterer Stützpfeiler der positiven Spezialisierung Deutschlands. Die Schwäche bei energieeffizienten Technologien für das Energiesystem konnte Deutschland in den letzten 10 Jahren ausgleichen und kommt hier jetzt auf ein durchschnittliches Niveau (RPA nahe null). Bei Gebäuden und Geräten ist die Performanz ebenfalls neutral.

- Im Recycling von Metallen und Mineralstoffen ist die signifikant positive Spezialisierung Deutschlands weiterhin prominent und konnte sogar noch ausgebaut werden. Das gleiche gilt für die Luftreinhaltung. Das Spezialisierungsmaß bei Lärmschutz ist ebenfalls weiterhin deutlich positiv, aber gegenüber der Vorperiode etwas zurückgegangen.

- Im Bereich Abwasser und Wassermanagement bleiben die Spezialisierungswerte leicht bzw. deutlich negativ.

Patentindikatoren im Bereich Umweltschutz – ein Gesamtbild für Deutschland

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Deutschland gemessen an den Patentanmeldezahlen und den daraus ableitbaren Indikatoren auch weiterhin (eher) zu den führenden Nationen im Bereich der Umwelttechnologien zählt. Deutschland ist innerhalb der EU gemessen an seiner Zahl von Umweltpatenten mit Abstand der wichtigste Player und kommt weltweit auf Rang 3, übertrumpft nur von der weitaus größeren Volkswirtschaft der USA und von Japan. Der Abwärtstrend der Zahl der jährlichen Patentanmeldungen konnte allerdings noch nicht gestoppt werden, und so bleibt die Dynamik bei Umwelttechnologien weiter hinter der Dynamik der allgemeinen technologischen Entwicklung zurück.

Bei den Herausforderungen der Bekämpfung des Klimawandels kann Deutschland auf seine ausgeprägten Spezialisierungsvorteile bei **Klimaschutztechnologien** bauen. Dabei sind die Innovationsaktivitäten bei Erneuerbaren Energien (insbesondere Windenergie) besonders ausgeprägt.

Allerdings bleiben hier die Zuwachsraten der Patentanmeldungen in Deutschland im internationalen Vergleich zurück. Deutschland wird hier nicht nur von den Spitzenreitern China, Korea und Dänemark, sondern auch von einigen weiteren großen Playern - unter anderem Frankreich, USA und Großbritannien - übertrumpft.

Die erweiterte Betrachtung der **Energieeffizienz** zeigt, dass sich das Technologiefeld sehr heterogen, aber insgesamt über den Betrachtungszeitraum dynamischer entwickelt und eine stärkere Zunahme der Patentanmeldungen aufweist, als dies für Technologien insgesamt der Fall ist. Angeführt wird diese Entwicklung weltweit und auch in Deutschland vom Bereich „Energieeffizienz im Energiesystem". Dieser Bereich wird stark von den Entwicklungen bei Energiespeichern geprägt. Bei der energieeffizienten Mobilität hat Deutschland ausgeprägte Stärken, die sich ein seinem hohen Patentanteil (Rang 2 weltweit) und einem hohen positiven Wert des Spezialisierungsindikators zeigen. Deutschlands Position beim Klimaschutz stellt sich also insgesamt positiv dar. Dagegen zeigen sich deutliche Schwächen in Technologiebereichen, die zur Klimaanpassung beitragen können und vom Klimawandel bereits heute deutlich betroffen sind: Bei Abwasser und Wassermanagement sind die Spezialisierungsindikatoren von Deutschland leicht bzw. deutlich negativ.

Für den Ausbau der **Circular Economy** sind die Entwicklungen im Recycling von besonderem Interesse. Deutschland hat mit gut 20 % aller Patente den weltweit höchsten Anteil an Patenten für das Recycling von Metallen und Mineralstoffen. Daraus ergibt sich ein hoher Spezialisierungsvorteil. Auch bei stoffstrom-unspezifischen Recyclingtechnologien ist Deutschland mit hohen Patentanteilen und signifikant positiver Spezialisierung sehr gut aufgestellt. Das betrifft zum Beispiel Technologien zur Zerkleinerung und Stofferkennung. Insgesamt scheint das Niveau der Recycling-Patentanmeldungen in Deutschland allerdings seit Ende der 2000er Jahre zu stagnieren.

Schließlich ist noch auf die überlegene Dynamik der **umweltfreundlichen Güter** gegenüber Umwelttechnologien hinzuweisen. Dies könnte mittelfristig zu einem Wandel im Öko-Innovationssystem beitragen, der in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte" weist (vgl. Walz u. a. 2019). Im Vergleich zu Umweltschutz allein durch produktionsintegrierte Technologien könnte daraus ein noch höherer Beitrag zur Nachhaltigkeit entstehen. Allerdings ist diese Entwicklung bisher eng auf einen bestimmten Bereich begrenzt.

Mit Blick auf die kommenden Herausforderungen der Transformation zur Nachhaltigkeit gilt die Einschätzung aus Gehrke u. a. (2019, S. 104) jedoch weiterhin: „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."

Summary

The Federal Environment Agency has commissioned the Center for Economic Policy Studies (CWS) at Leibniz University Hannover, the German Institute for Economic Research (DIW), 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 economy. This concerns both the innovative capacity (research and patents) and the economic significance of the environmental industry in Germany and – as far as possible - in international comparison (production, sales, employment, foreign trade). 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 (mainly 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 and services are, with a few exceptions, neither available on the national nor the international level. Concerning this matter, there are very few meaningful and comparable results, which are also – in many cases – based on estimation and often only shed light on individual aspects of R&D and innovation (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 weights that these technological policy goals have within the total application of funds in individual countries.

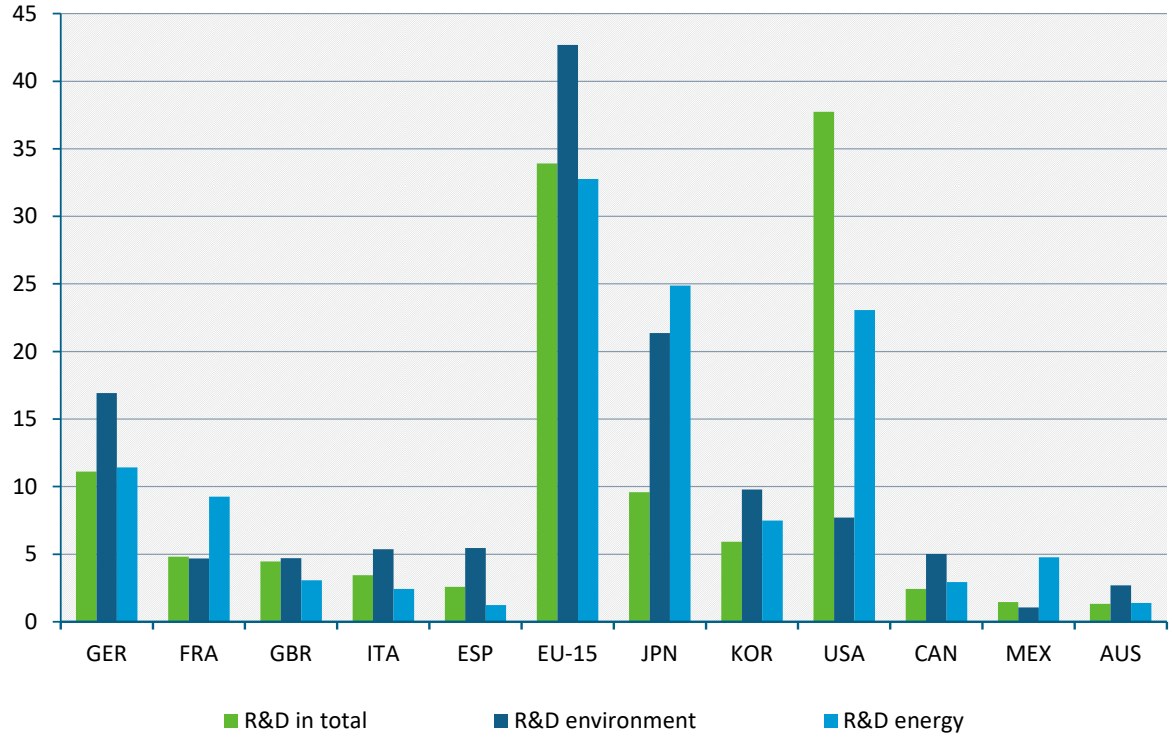
In 2018, the OECD countries' government R&D expenditures for environmental protection reached around 7 billion US-$, even slightly higher than the previous peak in 2017 (6.83 billion US-$). This positive trend is expected to continue in 2019 based on country data available to date. The share of environmental protection R&D spending in total OECD R&D spending has remained unchanged at 2.3 % to 2.4 % for several years.

It thus hardly differs any more from the average of the EU-15 (2018/19: 2.4 % in each case), where the environmental protection goal had still been given significantly higher priority within the government research budget until the early 2010s. Within the EU-15 a downward trend in environmental research followed, that has only since 2016 come to a halt, as (measured in terms of total public R&D spending) above-average expenditure increases, particularly in Germany, have offset cuts in other EU-15 countries. For Germany, this results in a slight increase in share from 2.8 % (2016) to 3.0 % (2019). Environmental research thus continues to enjoy a clearly above-average priority in Germany compared with the EU-15 and OECD averages. Within Europe, only Spain, Portugal, Greece, Hungary and Poland (2018) had higher shares than Germany in 2019. By contrast, the environmental sector continues to play a minor role in government R&D budgets in the USA, whereas Japan has been catching up noticeably for a few years.

However, since 2010, the environmental-specific share in the EU-15 as well as in Germany has been lagging behind the corresponding ratios of the 2000s. This is mainly attributable to the increasing weighting shift in favor of energy research. But already in the last decade, the German energy research share has again expanded significantly and more strongly from 2010 (4 %) to 2019 (5.8 %) than the EU-15 average (2010: 4.1 %, 2019 5 %).

Figure Z-1 displays the shares of selected countries in the OECD-wide research budgets for environmental research and energy research as well as their respective shares in OECD-wide total government R&D expenditure, pointing out the different priorities once again. Germany accounted for around 17 % of all OECD countries' government spending on environmental protection in 2018, significantly more than its expenditures for all R&D programs (11 %) or the expenditures for research on energy (11.4 %). The EU-15 also achieves an above-average share in environmental protection spending (almost 43 %), and is nearly on par in terms of funding for energy research (33 %) and for all R&D programs (34 %), in reverse order.

Figure Z-1: Shares of selected countries in total public R&D budgets of all OECD countries in 2018 in %: environment, energy and total



2018 or last available year.
Source: OECD, Research and Development Statistics, Status September 2020. - Calculations and estimations by CWS.

Conversely, especially in the US, but also in Japan, energy research ranks higher within public R&D budgets than research in the field of physical environment. However, while in the USA both funding areas enjoy comparatively low priority, Japan is now clearly above average in both specific research areas. In the energy sector in particular, Japan's contribution is outstandingly high at 25 %. This is mainly due to the still high level of funding for nuclear research, although more government research funding has been spent on renewable energies and energy efficiency for some years now.

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 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 significantly shifted away from nuclear energy and fossil fuels in favor of future-oriented – i.e. sustainable, resource-conserving – technologies (for delimitation, see Figure Z-2). Initially, the funds

were used primarily for projects on renewable energies. However, over the past 10 years, energy efficiency, other power generation and storage technologies, and cross-cutting issues (systemic innovations and basic research not assigned to individual subsectors) have become increasingly prominent.

In Germany, an average of 77 % of funding is allocated to future-oriented energy technologies in the current 2017-2019 period considered, significantly more than 2007-2009 (60 %). This means that the German share is noticeably higher than in the rest of EU-15 (2017-2019: 64 %). However, there are also a large number of countries in Europe that spend their energy research budgets almost exclusively on research into future-oriented energy technologies. Spain, Hungary, Sweden, Austria, Estonia and Denmark are among the European leaders with shares between 96 % and 99 %. They thus also play a pioneering role worldwide. Slovakia, the Netherlands, Finland and Switzerland spend more than 80 % of their energy research budgets on future-oriented technologies. Remarkable is the development in Norway, where the share for future-oriented technologies doubled from 36 % to 72 % between the two periods under consideration. In the highly developed countries outside Europe, South Korea has the highest share at 80 % following significant increases. After slight declines, the USA currently has a share of 77%, as does Germany. Japan, where the change of course was implemented late, is still lagging clearly behind at 57 %.

In the field of renewable energies, most countries are setting clear priorities for solar, wind and bio energy through government RD&D funding. In Germany, solar energy clearly dominates with 41 % in the 2017-2019 period, followed by wind energy with 28 % and bioenergy with 14 %. In the remaining EU-15, in contrast, bioenergy (26.5%) has been playing a larger role within government RD&D budgets for quite some time and is currently weighted similarly to solar energy (27 %); wind is at 21%. However, in many countries with a previously strong bioenergy focus, a shift in public research funding in favor of solar and/or wind energy can be observed in a period comparison. This also applies to the USA, where bio energy and solar energy are now on a par with 32 % each. In Japan, wind continues to dominate (52 %). In individual countries, including Germany, there is also a growing focus on geothermal research at a lower level.

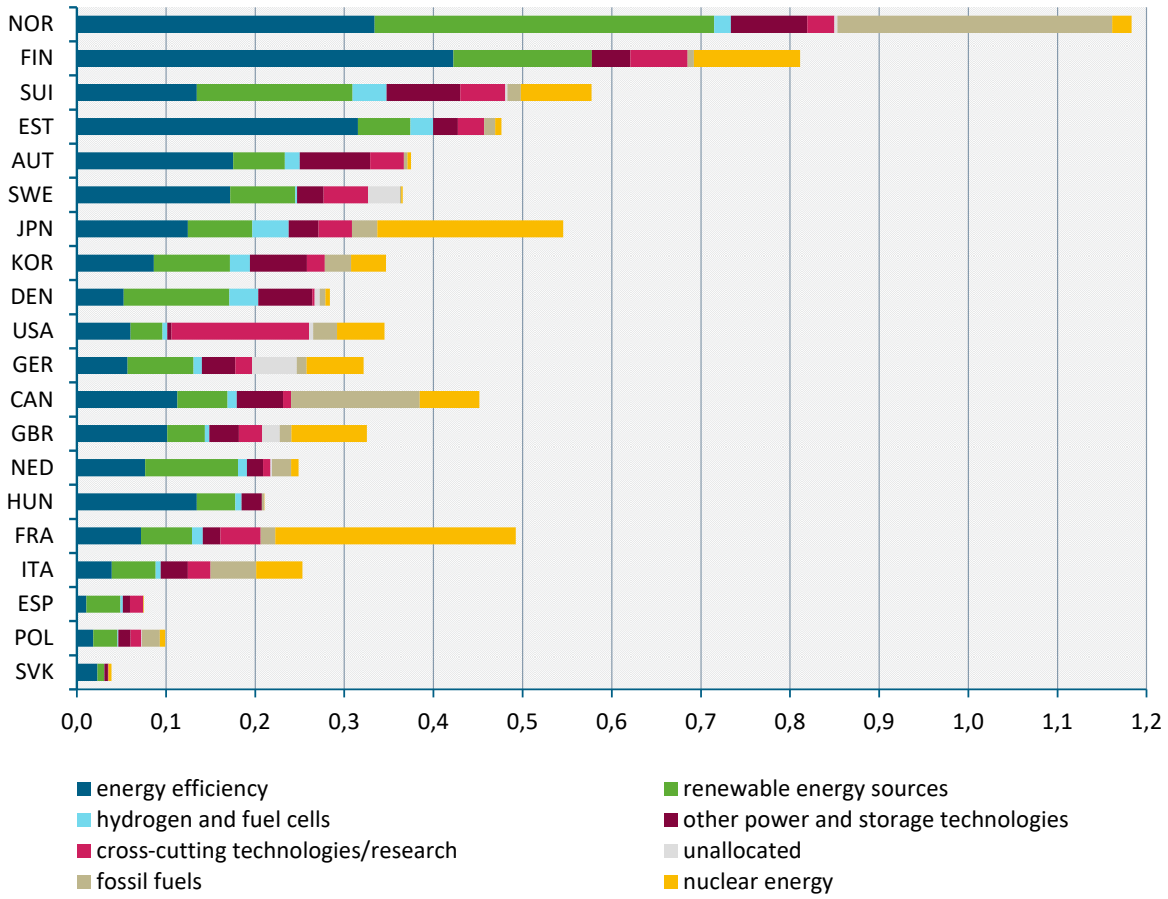
In Germany, 30 % of RD&D budgets for improving energy efficiency in the current period under review go to industry, further 23% aim for buildings, 11% for transport and 19% for other energy efficiency research. 17 % of the funds were not allocated to any of these subsectors. In this manner, the funds in Germany are distributed comparatively evenly. In the rest of the EU-15, on average, the focus is clearly and increasingly on the transport sector (48 %), although individual countries set other priorities (Spain, Netherlands: industry; Denmark: buildings). For the USA, the transport sector plays an even greater role (58 %), while in Japan the funds are increasingly directed toward energy efficiency improvements in industry (55 %).

If the budgeted funds for future-oriented energy research are put into relation to the respective gross domestic product (GDP), their overall economic significance becomes apparent. For Germany, the average share of future-oriented energy technologies in the current period is 0.25 ‰ of GDP, compared with 0.12 ‰ in the comparative period 2007-2009. The increase is based on a steady growth in the share of energy efficiency and renewable energies. Nevertheless, the German ratio is relatively low, compared to most other countries (Figure Z-2).

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 Switzerland, Estonia, Austria, South Korea, Japan, and the USA, the quotas are in some cases significantly higher than in Germany. At the country level, very different developments can be noticed between 2007-2009 and 2017-2019. In addition to Germany, Norway, Switzerland, Austria, but also Japan, Great Britain

and France show increases in share; the opposite applies to Finland, Denmark, Estonia and Hungary. There are no changes for the USA and South Korea.

Figure Z-2: Public RD&D budgets* 2017 to 2019 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, unallocated). Budgets for 2017 and 2018 only: FRA, GBR, ITA, ESP, DEN, FIN, NED, AUT, KOR.
Source: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D budget (Status: 4/2020). - Calculations by CWS.

Publicly funded environmental research in Germany

In order to obtain additional and more detailed information on the thematic focus of environmental protection research and research funding in Germany, the German Environment Agency's Environmental Research Database (UFORDAT) was evaluated at regular intervals for the previous reports. This makes it possible to distinguish not only between overarching environmental areas, but also between project and funding volumes as well as implementing and funding institutions. The latest available analysis refers to structures in and developments between the years 2005 to 2007 and 2015 to 2017 (Gehrke et al. 2019). This has shown 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.

More recently, UFORDAT has undergone a fundamental technical and content-related change (extended classification), which is associated with considerable delays in data collection. For the years 2018 and 2019, this classification had only been partially implemented at the time this report was completed, so that an update of the data will not be provided here. Instead, publicly

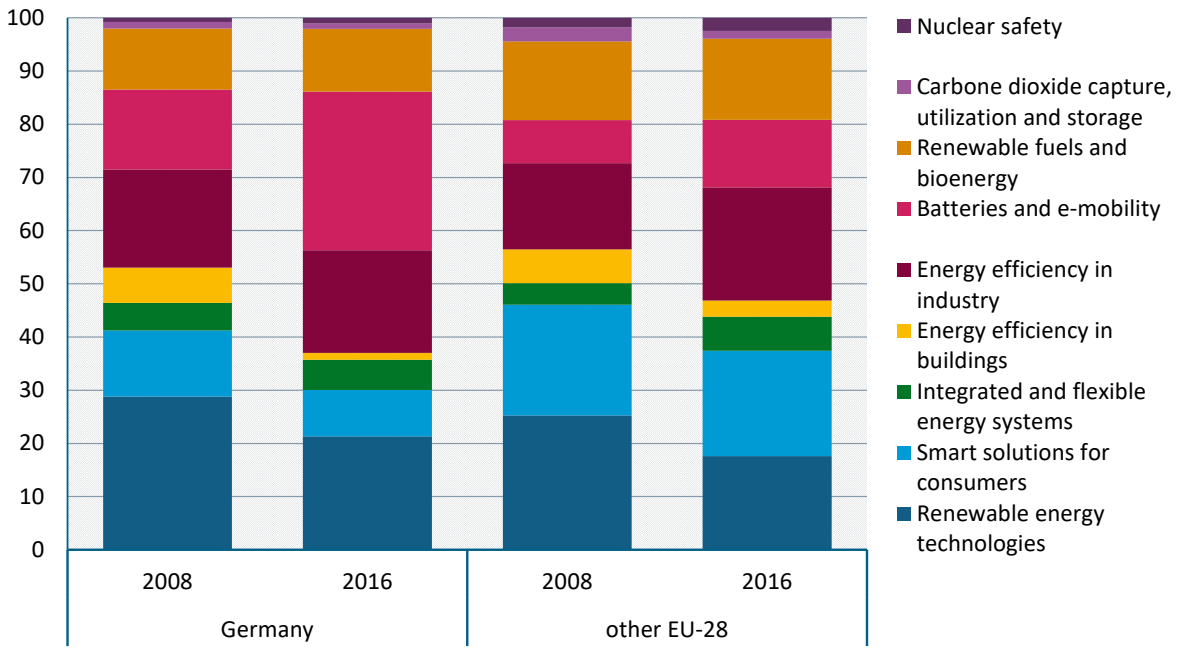
funded environmental research in Germany with expanded classification will be addressed in detail in the follow-up report.

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 are 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. The industry's expenditures on research and innovation (R&I) are based not only on published company data but also on energy-specific patent applications. Since their classification has a lower degree of topicality, the estimates published at the beginning of 2020 only extend to 2016.

In 2016, the EU-wide R&I expenditure of the economy across all energy-related fields of action amounted to around 15 billion euros. Germany alone accounted for more than half of this (52 %), followed by France (10.4 %) and Great Britain (6.4 %). Thus, the German share of these specific R&I expenditures in 2016 was significantly higher than the share of German companies in the total R&D expenditures of the EU economy (2016: 32 %). The same applies to a lesser extent to Denmark, the Netherlands, Great Britain and Finland.

Figure Z-3: Private R&I investment per SET Plan action 2008 and 2016: Germany and other EU-28 in comparison (structural shares in %)



Source: Pasimeni et al. 2018, data status March 2021. – Calculations by CWS.

Comparing the structure of business R&I expenditure in Germany with those in the remaining EU-28 (Figure Z-3), the high weight of *batteries and e-mobility* in Germany (2016: 30 % versus 13 % in the rest of the EU-28) is particularly striking. In both comparison regions, research and innovation efforts in this field of action have expanded disproportionately compared to 2008.

The relative increase in importance of *batteries and e-mobility* in Germany was mainly at the expense of *renewable energy technologies, smart solutions for consumers* and *energy efficiency in buildings*; in the other fields of action, the structural shares hardly changed. In the rest of the EU-28, only *renewable energy technologies* and *energy efficiency in buildings* show noticeable losses. In addition to batteries and e-mobility, *energy efficiency in production*, *integrated energy systems* and *nuclear safety* have also gained in structural importance there.

The high importance of *batteries and e-mobility*, but also of *renewable fuels/bioenergy* in private R&D expenditures in Germany is primarily due to the special structural weight and the high innovation dynamics of the local automotive industry. On the one hand, this reflects the demands placed on the industry to improve the efficiency levels of conventional drive technologies and reduce emissions; on the other hand, it also reflects expectations of significant increases in demand for alternative drive technologies, especially e-mobility.

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

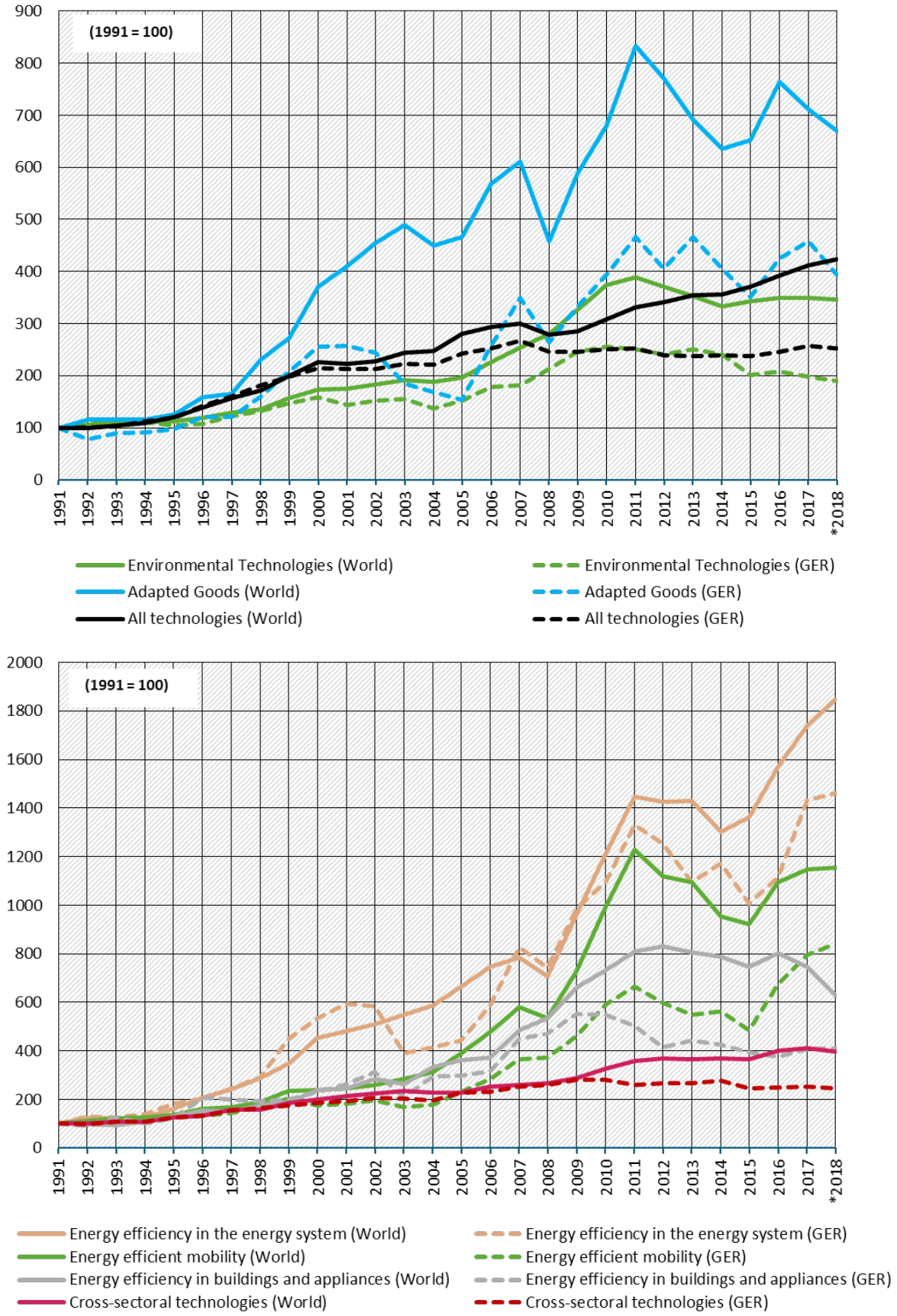
Since 2008, the official R&D survey of the US economy has also been asking how high the R&D expenditures for energy-saving or environmental protection applications areas are. In 2008, according to the currently available data, U.S. companies spent just over US-$23 billion of their own funds on energy-saving applications and close to US-$8 billion on environmental protection purposes. In addition, a total of $3.7 billion came from external funding sources, which are particularly relevant in the area of environmental protection. However, in both areas, R&D expenditures have expanded less than the internal R&D expenditures of companies in total since 2010, with comparatively higher share losses in the environmental protection area.

It is noteworthy that small and medium-sized enterprises with less than 250 employees (SMEs) almost universally spend higher shares of their total internal R&D expenditure on energy-saving or environmental protection applications than larger enterprises. Only in the energy sector does this result no longer apply in 2018.

Patent indicators in environmental protection – international developments

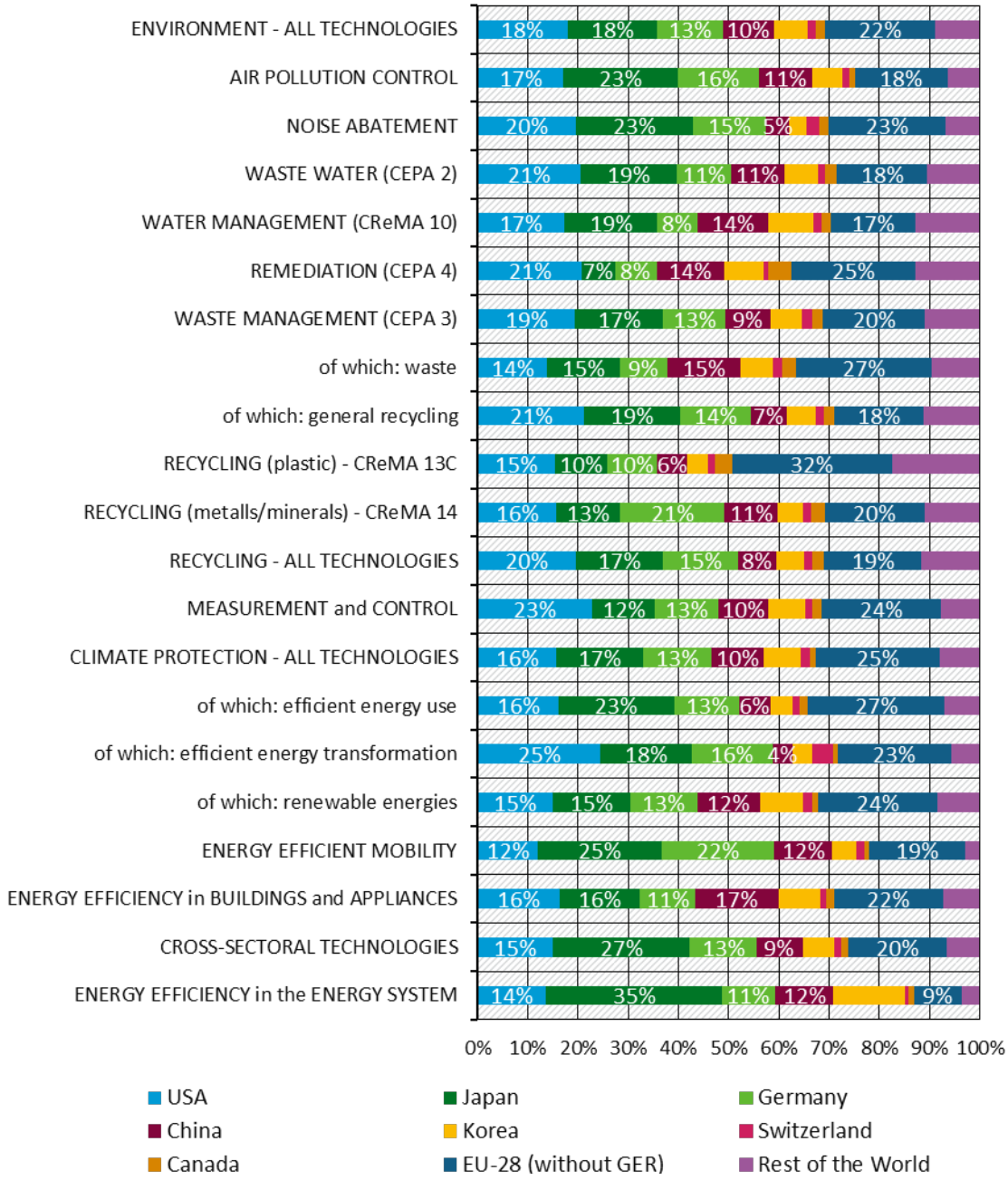
Figures on patent applications, if based on well suited definitions and retrieved carefully, are an important and established basis for deriving various environmental innovation indicators, especially for early phases of the innovation process. Fraunhofer ISI is constantly developing its methodology for this purpose. Following the approach in the previous study, the large domain of environmental technologies is divided into various fields that are analysed separately (see Figure Z-5). As a new addition, this report offers a more comprehensive account of technologies in the field of energy efficiency. In 2018, the EU implemented the "energy efficiency first principle" in the legislation. This acknowledges the major and indispensable contributions of these technologies to the EU's climate protection and energy policy goals. To implement its Strategic Energy Technology (SET) Plan, the EU has established an information system SETIS that regularly reports, among other things, patent developments in the key action areas of the SET Plan. The energy efficiency analyses in the present report “Innovationsmotor” (edition 2021) follow on from this and supplement this information. This is because energy efficiency is also a high priority in Germany's climate and energy policy. In addition to looking at technologies for environmental protection, the study also looks at the development of environmentally friendly goods ("adapted goods"). These are of interest, among other things, because they can provide indications of whether the innovation system is developing in the direction of the eco-innovation type "sustainable products and value creation concepts" (cf. Walz et al. 2019). In terms of its complexity, but also in terms of its contribution to sustainability, this eco-innovation type outranks environmental protection through production-integrated technologies alone.

Figure Z-4: Trend in patent applications in Germany and globally



Source: Patstat 20s, Fraunhofer ISI calculations (* = estimates).

Figure Z-5: Patent shares of selected countries in environmental technologies* (2014-2018)



*CEPA 3 incl. "adapted goods"
Source: Patstat 20s, calculations by Fraunhofer ISI.

Figure Z 4 (upper graph) compares the dynamics of environmental technologies and adapted (i.e. environmentally friendly) goods with the development for all technologies - both at the global level and for Germany. Globally, the number of patent applications for environmental technologies has stagnated since 2014 and thus lags behind the general technological dynamics. A major factor behind this development remains the stagnating and recently slightly declining trend in climate protection technologies, especially renewable energies. However, the newly identified energy efficiency sectors are not yet included in this aggregated view and are therefore shown separately in Figure Z-4 (below). They are very significant in terms of volume and very dynamic, especially in the areas of energy efficiency in the energy system and energy-efficient mobility. This is true for Germany, but even more so at the global level. Adapted goods

have developed much more dynamically over the long term (since 1991) than environmental technologies.

Country patent shares are an indicator of the contributions of individual countries or regions to innovation in selected technology fields and time periods. The EU-28 is consistently the strongest player here and is regularly represented with higher patent shares than the USA, although the USA far exceeds the EU-28 in terms of the size of the national economy (measured by GDP). The high importance of the EU-28 is evident for the aggregate of all environmental technologies, but also in all sub-fields with only one exception: Japan leads clearly in the area of "energy efficiency in the energy system", in which electricity storage technologies play an important role.

Germany has the largest share of environmental patents within the EU-28 - another phenomenon that appears in all environmental technology fields. Its patent share is highest in energy-efficient mobility and in the recycling of metals and minerals, at just over 20 % of patent applications worldwide.

China, which is today the world's second-largest economy, now also has a double-digit patent share in environmental technologies and also in most of the newly included energy efficiency fields. In addition, (South) Korea has become another important player from the Asian region.

It is noteworthy that the USA and Japan have high patent shares for environmental technologies indeed. However, compared to their patent share for all technologies, their shares in environmental patents are significantly lower (USA) or only slightly higher (Japan). This means, the knowledge base of these countries is not specialized in environmental technologies. The same applies to China.

This view of specialization advantages - measured by the relative patent share (RPA), which puts a country's innovation performance in a specific technology field in relation to the country's (and the world's) general innovation performance - will be explored in greater depth for Germany (see Figure Z-6). Germany is among the countries showing a significant positive specialisation in environmental technologies in the 2014-2018 period as a result of the increase in Germany's degree of specialization over the 2004-2018 period. A positive trend is emerging here. However, Germany is not one of the countries most specialized in environmental technologies. These are rather Denmark, Spain, Australia and Norway.

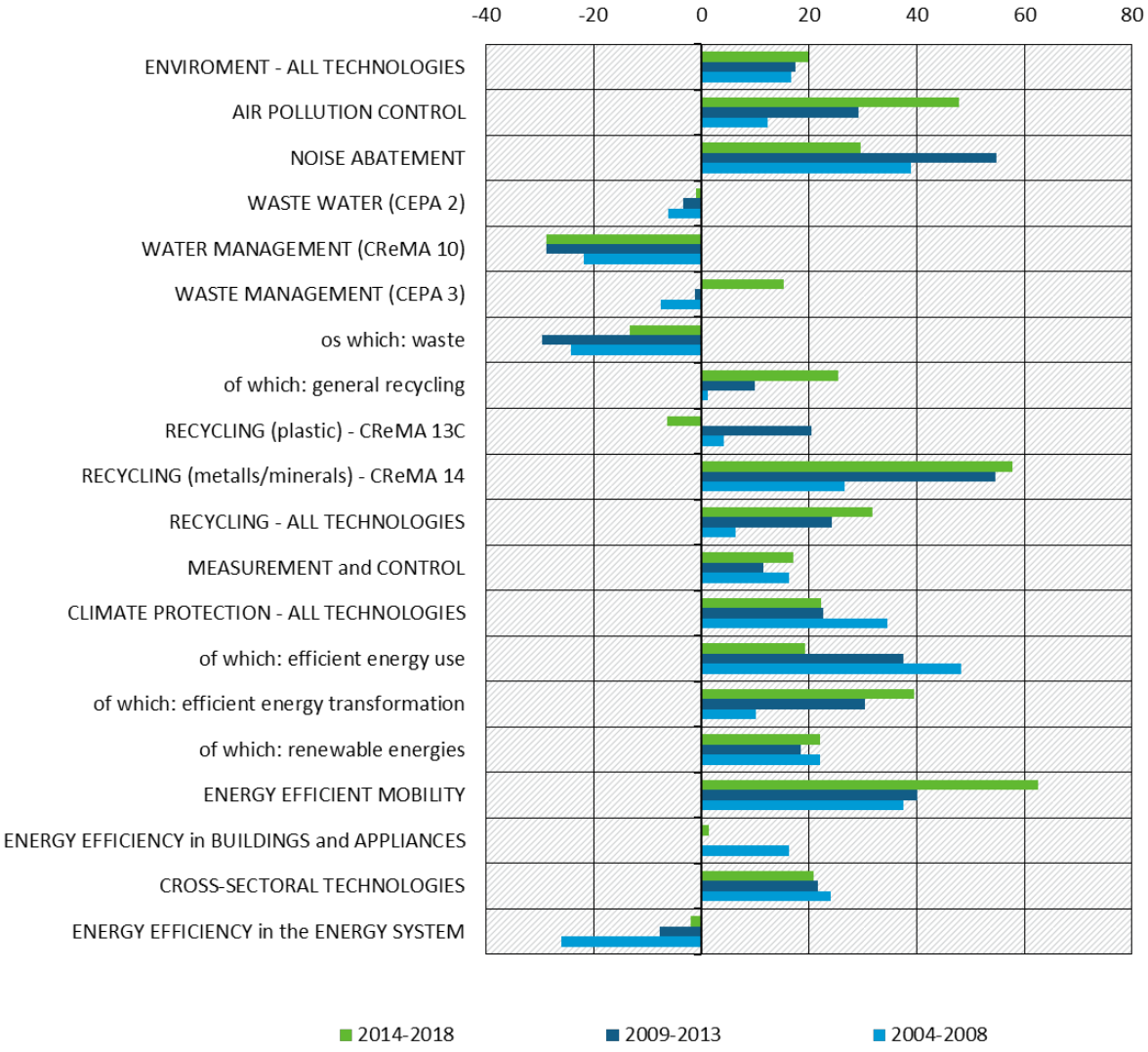
The key points for Germany regarding its specialization in individual technology fields are the following:

- As the high patent share already indicates, the area of energy-efficient mobility stands out the most. Here, the RPA values reinforce the picture that emerges from the dynamics and patent shares: Germany has a pronounced strength in the field of energy-efficient mobility technologies.

- Germany's significantly positive specialization in climate protection technologies is stable. While climate protection with the hitherto used sub-fields shows a significantly positive specialization of Germany overall (RPA > 20), the picture is mixed for the newly considered energy efficiency areas. Germany has been able to compensate for its weakness in energy-efficient technologies for the energy system over the past 10 years and now achieves an average level here (RPA close to zero). The performance of buildings and appliances is also neutral. Beyond energy-efficient mobility, cross-cutting technologies are another pillar of Germany's positive specialization.

- In the recycling of metals and minerals, Germany's significantly positive specialization remains prominent and even expanded. The same applies to air pollution control. The degree of specialization in noise abatement also remains significantly positive, but has declined somewhat compared to the previous period.
- In wastewater and water management, the specialization values remain - slightly versus significantly - negative.

Figure Z-6: 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 20s, Fraunhofer ISI calculations.

Patent indicators in environmental protection – the overall picture for Germany

Overall, the results show that Germany continues to count among one of the rather leading nations in the field of environmental technologies, measured by the number of patent application and the indicators that can be derived from them. Germany is by far the most important player within the EU in terms of its number of environmental patents, and ranks third worldwide, exceeded only by the USA - a much larger economy than Germany - and by Japan. However, the

downward trend in the number of annual patent applications has not yet been halted, and thus the momentum in environmental technologies continues to lag behind the momentum of general technological development.

In meeting the challenges of combating climate change, Germany can build on its pronounced specialization advantages in **climate protection technologies.** Innovation activities in renewable energies (especially wind energy) are particularly pronounced. However, by international comparison, the growth rates of patent applications in Germany lag behind. Germany is outperformed here not only by the leaders China, Korea and Denmark, but also by several other major players - including France, the USA and the UK.

The extended analysis of **energy efficiency** shows that this technology field developed very heterogeneously. But over the entire period under review it showed higher momentum and a stronger increase in patent applications than is the case for technologies as a whole. This development is headed by the field of "energy efficiency in the energy system" - worldwide and also in Germany. This sub-field is strongly influenced by developments in energy storage systems. Germany has pronounced strengths in energy-efficient mobility, which are reflected in its high patent share (ranked second worldwide) and a high positive value for the specialisation indicator. Germany's position in climate protection is therefore positive overall. In contrast, there are clear weaknesses in technology fields that can contribute to climate adaptation and that are already significantly affected by climate change: Germany's specialization indicators for wastewater and water management are slightly or significantly negative.

Developments in recycling are of particular interest for the expansion of the **Circular Economy.** With well over 20 % of all patents, Germany has the world's highest share of patents for the recycling of metals and minerals. This results in a high specialization advantage. Germany is also very well positioned in recycling technologies not specific to material flows, with high patent shares and significantly positive specialization. This applies, for example, to technologies for disintegration and material identification. Overall, however, the level of recycling patent applications in Germany seems to have stagnated since the end of the 2000s.

Finally, the superior dynamics of **adapted goods** compared to environmental technologies should be pointed out. In the medium term, this could contribute to a change in the eco-innovation system, pointing in the direction of the eco-innovation type "sustainable products and value creation concepts" (cf. Walz et al. 2019). Compared to environmental protection solely through production-integrated technologies, this could result in an even higher contribution to sustainability. So far, though, this development remains narrowly limited to a specific area.

With a view to the coming challenges of the transformation to sustainability, the assessment from Gehrke et al. (2019, pp. 42, 104) still applies: "… 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 fields, higher patent shares and also a clearer specialization (higher RPA values). Therefore, Germany still has the potential to commit its knowledge base to a greater extent to the transformation towards sustainability."

1 Einleitung

Nachhaltige Entwicklung erfordert einen veränderten Umgang mit natürlichen Ressourcen und stellt hohe Anforderungen an die Leistungs- und Transformationsfähigkeit von Volkswirtschaften. Aus den ambitionierten Umwelt- und Klimaschutzzielen ergibt sich die Notwendigkeit, umweltpolitische Erfordernisse mit innovationspolitischen Fragestellungen zu verknüpfen. Denn neue Technologien sind zur Bewältigung dieser Herausforderungen unabdingbar. Gleichzeitig wird ihnen ein hohes Wachstumspotenzial und damit eine große wirtschaftliche Bedeutung zugesprochen - global und in größerem Maße noch für Deutschland (BMU 2021).

In der deutschen Politik spielen Investitionen in innovative Umwelttechnologien seit vielen Jahren eine bedeutende Rolle, insbesondere wenn es um die Frage geht, wie ehrgeizige Umwelt- und Klimaschutzziele erreicht und dabei gleichzeitig Beschäftigungs- und Wachstumschancen genutzt werden können. Die deutsche Bundesregierung stellt sich den Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung und hat dazu aktuell unter anderem eine Neuauflage der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie vorgelegt (Bundesregierung 2021). Der hohe Stellenwert von Umweltinnovationen in der Politik der Bundesregierung spiegelt sich in vielen politischen Strategien wider, wie zum Beispiel im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess, Bundesregierung 2020) oder im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz 2.0 (BMWi 2019). Auch unter den gesellschaftlichen Herausforderungen, die die HighTech-Strategie 2025 (Bundesregierung 2018) explizit adressiert, sind Umweltinnovationen prominent vertreten. So sind zum Beispiel die Missionen „Weitgehende Treibhausgasneutralität der Industrie“ oder „Nachhaltiges Wirtschaften in Kreisläufen“ eng verwoben mit einigen der im Folgenden betrachteten Umwelttechnologiebereiche. Auf internationaler Ebene zeigt u. a. der European Green Deal die hohe Bedeutung von Umweltinnovationen für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung.

Vor diesem Hintergrund führt das Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS)[1] des Instituts für Wirtschaftspolitik der Leibniz Universität Hannover in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI eine international vergleichende Untersuchung der Innovationsfähigkeit Deutschlands auf dem Gebiet des Umweltschutzes im Auftrag des Umweltbundesamtes durch[2]. Dabei stehen FuE-Ausgaben als wesentliche Input-Indikatoren in den Forschungsprozess im Mittelpunkt. Komplementär werden Daten zu Patentanmeldungen herangezogen, die als Output-Indikatoren für den Forschungsprozess das Bild abrunden[3].

Abschnitt 2 liefert aus verschiedenen Perspektiven Daten und Analysen zu Forschung und Entwicklung 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 öffentlichen Ausgaben für FuE- und Demonstrationsprojekte in zukunftsorientierten Energietechnologien andererseits. Abschließend folgt ein kurzer Überblick über grundlegende Trends und Entwicklungen der Forschungsförderung in Deutschland. In Abschnitt 2.2 werden Ergebnisse aus einzelnen Datenquellen und Studien zu FuE und Innovationen für Umweltschutz in Unternehmen vorgestellt.

[1] Das CWS hat beginnend mit den Vorgängerstudien (Gehrke u. a. 2018, Gehrke, Schasse 2017) die früheren Arbeiten des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (NIW) unter Leitung langjährig erfahrener Bearbeiter fortgesetzt.

[2] Die Studie ist Teil eines umfassenderen Projekts („Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“, FKZ 3719 14 101 0), in dem noch weitere Facetten der Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft beleuchtet werden. Dazu zählt zum Beispiel die wirtschaftliche Bedeutung der Umweltwirtschaft in Deutschland gemessen an Produktion, Umsatz, Beschäftigung und Außenhandel.

[3] Zur Herleitung der Indikatoren für die Messung des technologischen Wandels vgl. Grupp (1997) und Johnstone u. a. (2008).

Komplementär werden im Abschnitt 3 Patentanmeldungen für Umwelttechnologien untersucht. Patentanmeldungen weisen auf ein erfolgreiches Ergebnis aus einem FuE-Prozess hin und lassen ein kommerzielles Interesse des Anmelders an diesem Ergebnis erkennen. Sie stehen damit zwischen den rein input-orientierten FuE-basierten Innovationsindikatoren und Indikatoren, die das Innovationsgeschehen vom Marktergebnis her erfassen (z. B. durch Außenhandelsdaten). Der Blick geht - wie bei den FuE-Daten - auf das weltweite Geschehen und vergleicht die technologische Dynamik zwischen ausgewählten Ländern und verschiedenen Technologiefeldern. Außerdem werden die führenden Länder anhand ihrer Patentanteile und Spezialisierungsmuster identifiziert und die Positionierung Deutschlands herausgearbeitet.

Die Untersuchung der verschiedenen Facetten der Innovationsfähigkeit Deutschlands im Umweltbereich zieht verschiedene statistische Datenquellen mit jeweils eigenen Klassifikationen heran. Bei der Definition von Themen- und Technologiefeldern, die für den Umweltschutz relevant sind, ergeben sich daraus gewisse Unschärfen, so dass die Felder, die in der FuE-Analyse untersucht werden, nicht völlig deckungsgleich sind mit den Umweltbereichen in der Patentanalyse. Auf Abgrenzungsunterschiede gehen Gehrke u. a. (2019) im Detail ein. Die für die jeweiligen Indikatoren geltenden Abgrenzungen, die in den Unterkapiteln erläutert werden, werden bei der Interpretation der Daten berücksichtigt.

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 zur 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).[4] 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-GBARD)

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 der Staat gerade auf diesem Feld unabhängig von Fragen der technologischen Leistungsfähigkeit der Wirtschaft

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

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 Allocations for R&D: GBARD) werden die zivilen staatlichen Mittelzuweisungen für FuE nach sozio-ökonomischen Zielen aufgegliedert. Unter dem Ziel „Umweltschutz" werden alle staatlichen FuE-Ausgabenansätze subsummiert, die einer „unzerstörten physischen Umwelt" dienen (Luft, Wasser, Abfall, Boden, Lärm, Strahlenschutz). Das Ziel „Energie" bezieht sich auf alle staatlichen FuE-Ausgaben, die die Produktion, Speicherung, Verteilung und rationelle Nutzung jeder Form von Energie betreffen.[5] 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 2018 beliefen sich die staatlichen FuE-Aufwendungen der OECD-Länder für den Umweltschutz auf schätzungsweise fast 7 Mrd. US-$. Sie waren damit noch etwas höher als 2017, als sie mit über 6,83 Mrd. US-$ den bisherigen Spitzenwert erreichten.[6] Die für 2019 von 26 Ländern vorliegenden Informationen deuten auf eine weitere Ausweitung der öffentlichen Forschungsausgaben für Umweltschutzzwecke hin. Da für einige größere Länder (Kanada, Frankreich, Korea) Angaben fehlen, lassen sich derzeit noch keine verlässlichen Aussagen im Hinblick auf das Ausgabenvolumen der OECD insgesamt in diesem Jahr treffen.

Setzt man die Entwicklung der OECD-weiten staatlichen FuE-Ausgaben für Umweltschutzzwecke in Relation zu den gesamten zivilen FuE-Ausgaben[7], zeigt sich, dass beide Positionen in den letzten Jahren in ähnlichem Umfang gewachsen sind: Die Anteile der Ausgaben für Umweltschutzzwecke liegen seit 2016 zwischen 2,3 und 2,4 % und haben damit seit 2010 (2,1 %) strukturell wieder leicht an Bedeutung gewonnen, während sich bezogen auf die Gruppe der traditionellen EU-Länder (EU-15[8]: 2010: 2,9 %; 2018: 2,4 %) von wenigen Ausnahmen abgesehen (Deutschland, Griechenland, Portugal, Finnland) der umgekehrte Zusammenhang zeigt (vgl. Tabelle 1).[9]

[5] Weitere explizit ausgewiesene zivile Forschungsziele sind Erkundung und Nutzung der Erde, Erkundung und Nutzung des Weltraums, Verkehr/Telekommunikation und andere Infrastrukturen, Industrielle Produktion und Technologie, Gesundheit, Landwirtschaft, Bildung, Kultur/Erholung/Religion und Massenmedien, Politische und soziale Systeme/Strukturen und Prozesse. 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 zusammengenommen 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 und Frankreich bei Energietechnologien und Frankreich zusätzlich bei Verkehr/Telekommunikation/andere Infrastrukturen (vgl. dazu Schasse u. a. 2020, Tab. 2.1.2).

[6] Bei den GBARD-Daten (früher GBOARD: Government Budget Outlays and Appropriations for R&D) ergeben sich zumindest für die letzten Jahre immer wieder Revisionen, so dass sich die hier präsentierten Ergebnisse teils von denen im Vorgängerbericht (Gehrke, Ostertag u. a. 2019) unterscheiden.

[7] Israel bleibt hierbei in der Summe der OECD-Länder jeweils unberücksichtigt, da das Land bei den Meldungen der staatlichen FuE-Ausgaben nicht zwischen militärischen und zivilen Zwecken unterscheidet.

[8] 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.

[9] 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

Tabelle 1: Umweltforschung und Energieforschung in den staatlichen FuE-Budgets der OECD-Länder 2010 bis 2019

	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 ‰	
Land	2010	2016	2017	2018	2019	2010	2019	2010	2016	2017	2018	2019	2010	2019
GER	2,9	2,8	2,9	2,9	3,0	0,25	0,28	4,0	4,6	5,0	5,1	5,8	0,34	0,54
FRA[1]	3,0	1,6	2,0	1,9	n.a.	0,21	0,10	7,8	6,7	13,0	9,9	n.a.	0,55	0,54
GBR	3,7	2,9	2,9	2,2	2,2	0,17	0,08	1,0	3,5	3,4	3,8	3,8	0,05	0,14
ITA	3,0	2,5	2,5	2,8	2,4	0,18	0,13	3,7	3,6	3,5	3,4	3,1	0,22	0,17
BEL	2,4	1,9	1,8	0,8	0,7	0,16	0,05	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	0,11	0,11
NED	0,0	0,6	0,7	0,6	0,7	0,00	0,05	3,0	2,2	2,6	5,3	3,1	0,22	0,21
DEN	2,0	1,7	1,2	1,1	0,9	0,20	0,08	6,2	1,9	2,3	3,0	3,3	0,61	0,29
IRL	1,7	2,3	1,0	1,2	1,1	0,08	0,02	3,6	0,9	0,9	1,1	0,8	0,17	0,02
GRE	0,9	2,6	7,1	3,4	6,4	0,03	0,48	3,2	2,2	6,9	3,6	4,5	0,10	0,34
ESP	4,3	3,6	3,6	3,9	3,6	0,33	0,18	3,5	2,8	2,4	2,3	2,5	0,27	0,13
POR	2,6	4,7	4,4	4,3	4,5	0,14	0,15	1,6	2,3	2,3	2,4	2,5	0,09	0,08
SWE	1,9	1,6	1,4	1,3	1,8	0,15	0,13	5,1	4,7	4,4	4,5	4,4	0,39	0,31
FIN	1,5	2,4	2,6	2,6	2,4	0,17	0,19	9,9	3,9	3,0	2,6	3,4	1,06	0,27
AUT	1,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,14	0,05	1,2	3,4	2,9	2,9	2,7	0,09	0,21
EU-15	**2,9**	**2,4**	**2,5**	**2,4**	**2,4**	**0,20**	**0,15**	**4,2**	**4,1**	**5,1**	**4,8**	**5,0**	**0,29**	**0,31**
SUI[2]	0,3	0,3	0,3	n.a.	n.a.	0,03	0,03	0,7	0,7	0,7	n.a.	n.a.	0,05	0,07
NOR	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	0,20	0,27	4,4	2,8	2,6	2,7	2,9	0,35	0,28
ISL	3,0	0,5	0,0	0,0	n.a.	0,28	0,03	1,0	0,7	0,3	0,2	n.a.	0,09	0,04
CZE	2,8	2,1	2,1	2,1	2,4	0,02	0,15	3,8	4,8	4,9	4,2	4,5	0,21	0,28
POL[1, 4]	4,5	10,6	8,6	8,4	n.a.	0,22	0,23	2,0	1,4	0,8	0,7	n.a.	0,07	0,02
SVK	2,1	1,8	2,3	2,9	2,9	0,08	0,10	1,6	0,7	0,8	1,0	1,2	0,06	0,04
HUN	2,5	3,5	3,1	2,5	3,2	0,09	0,09	1,3	3,6	4,6	4,4	5,5	0,05	0,15
EST[1]	10,5	2,6	1,3	1,5	n.a.	0,72	0,10	3,1	0,1	0,0	0,0	n.a.	0,21	0,00
CAN[3]	4,3	3,9	n.a.	n.a.	n.a.	0,26	0,19	9,8	5,8	n.a.	n.a.	n.a.	0,59	0,29
USA	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,04	0,02	4,0	4,8	4,9	5,5	5,6	0,17	0,21
MEX	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	0,04	0,02	24,1	16,3	15,4	15,6	19,9	0,71	0,41
JPN[5]	1,1	4,3	4,1	4,2	4,3	0,08	0,32	12,8	13,2	13,4	12,8	11,8	0,88	0,87
KOR[1]	2,4	3,1	3,3	3,6	n.a.	0,21	0,31	9,8	8,3	7,4	7,2	n.a.	0,88	0,63
AUS	4,2	3,8	5,0	4,0	3,9	0,20	0,13	5,1	6,3	6,2	5,4	7,7	0,24	0,17
NZL	11,5	6,7	7,1	n.a.	n.a.	0,58	0,37	1,6	1,1	1,3	n.a.	n.a.	0,08	0,07
OECD	**2,1**	**2,3**	**2,4**	**2,3**	**n.a.**	**0,12**	**0,11**	**6,1**	**5,8**	**6,1**	**6,1**	**n.a.**	**0,33**	**0,30**

n.a.: nicht ausgewiesen bzw. nicht berechenbar; Werte für EU-15 und OECD zum Teil geschätzt.

1) 2018 statt 2019 ; 2) 2017 statt 2019; 3) 2016 statt 2019; 4) 2012 statt 2010; 5) Japan: Bruch in der Zeitreihe ab 2016

Quelle: OECD, Research and Development Statistics, Datenstand September 2020. - Berechnungen und Schätzungen des CWS.

staatlichen Forschungsstrukturen real verändert haben. Insofern geht die Analyse lediglich auf große Abstände zwischen den Anteilen einzelner Staaten bzw. starke Veränderungen im Zeitablauf ein.

In den großen Überseenationen verlief die Entwicklung uneinheitlich. Während für die USA seit 2010 ebenfalls leichte Anteilsverluste zu verzeichnen waren, sind die Umweltforschungsmittel in Südkorea 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 seit 2012 geführt.[10]

Aus deutscher Sicht ist der Umweltschutzanteil an den staatlichen FuE-Ausgaben traditionell überdurchschnittlich hoch und liegt 2019 bei 3,0 % (Tabelle 1). Innerhalb Europas weisen am aktuellen Rand lediglich Spanien, Portugal, Griechenland, Ungarn und Polen höhere Anteile an den staatlichen FuE-Budgets auf. Außerhalb Europas zeichnen sich traditionell Australien und Neuseeland durch klar überdurchschnittliche Prioritäten für physische Umweltforschung aus. Seit einigen Jahren ergeben sich darüber hinaus auch für Japan (4,3 %) und Südkorea (3,6 %) höhere Quoten als für Deutschland. Demgegenüber werden in den USA noch immer eher geringe Anteil der zivilen Forschungsbudgets (0,7 %) für Umweltforschung bereitgestellt.

Allerdings bleibt der umweltschutzspezifische Anteil in den EU-15 wie auch in Deutschland bereits seit 2010 hinter den entsprechenden Quoten der 2000er Jahre zurück (Gehrke u. a. 2018). Dies hängt vor allem mit der zunehmenden Gewichtungsverschiebung zugunsten von Energieforschung – gerade für erneuerbare Energieträger und Energieeffizienz – zusammen (vgl. auch Abschnitt 2.1.2.). In den EU-15 ist der Anteil der Energieforschung von 2016 (4,1 %) auf 2017 (5,1 %) nochmals deutlich gestiegen. Für 2018 ist zwar wieder ein leichter Rückgang auf 4,8 % zu verzeichnen, der nach vorliegenden Schätzungen 2019 (5,0 %) aber wieder annähernd aufgeholt werden dürfte (vgl. Tabelle 1). Demgegenüber ist der relative Mitteleinsatz für physische Umweltforschung von 2010 (2,9 %) bis 2016 (2,4 %) spürbar zurückgegangen und seitdem annähernd stabil geblieben. Nachdem in Deutschland 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 worden waren (Gehrke u. a. 2018), bewegt sich der relative Mitteleinsatz für physische Umweltforschung im aktuellen Jahrzehnt bei Werten zwischen 2,8 % und 3 %. Hingegen ist der deutsche Energieforschungsanteil von 2010 (4 %) bis 2019 (5,8 %) nochmals deutlich ausgeweitet worden.

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 bei den Umweltschutzausgaben (2019: 0,28 ‰) EU-weit auf Rang 2 hinter Griechenland, wobei sich allerdings deutliche Schwankungen zwischen den jeweiligen Jahreswerten zeigen. Bei den Ausgaben für Energieforschung nehmen Deutschland (2019: 0,54 ‰) und Frankreich (2018: 0,54 ‰) mit weitem Abstand die Spitzenposition ein. Im Hinblick auf physische Umweltforschung erreichen bei diesem Indikator neben Deutschland lediglich Griechenland, Spanien und Finnland Anteile über dem EU-15-Durchschnitt (0,15 ‰). Bezogen auf die Ausgaben für Energieforschung ergibt sich, abge-

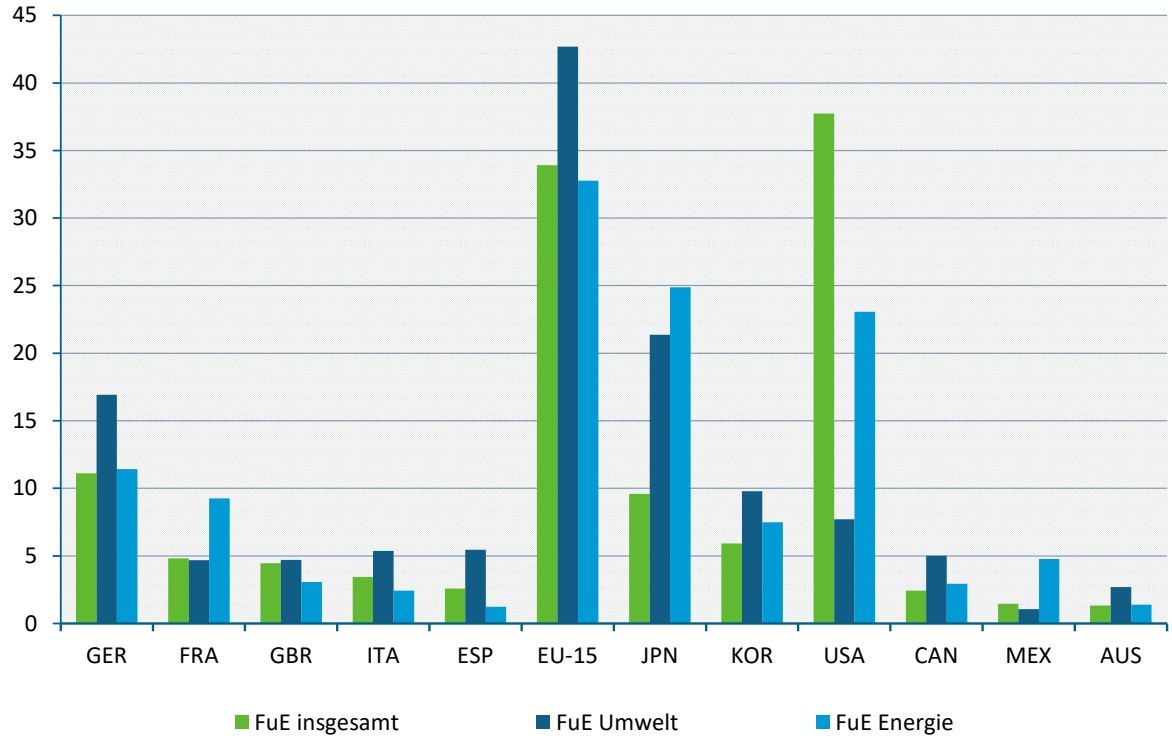
[10] Darüber hinaus hat sich durch methodische Umstellungen seit 2016 ein weiterer deutlicher Zuwachs bei den japanischen FuE-Budgets für physische Umweltschutzzwecke ergeben.

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

sehen von Deutschland und Frankreich, lediglich für Griechenland ein leicht überdurchschnittlicher und für Schweden ein durchschnittlicher Wert (EU-15: 0,31 ‰). Alle anderen EU-15-Länder fallen teils deutlich zurück.

Außerhalb der EU-15 weisen im Hinblick auf die Ausgaben für physische Umweltforschung lediglich Norwegen, Japan, Südkorea und Neuseeland ähnlich hohe oder höhere Ausgabenanteile am BIP auf als Deutschland (Tabelle 1). Die niedrigsten Quoten von maximal 0,05 ‰ ergeben sich für die USA, Mexiko, Island, die Schweiz, Irland, Belgien, Österreich und die Niederlande. Im Hinblick auf die Energieforschungsausgaben in Relation zum BIP erreicht Japan die mit Abstand höchste Quote (0,87 ‰). Daneben rangiert nur noch Südkorea (0,63 ‰) vor Frankreich und Deutschland (jeweils 0,54 ‰).

Abbildung 1: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2018 in %: Umwelt, Energie und insgesamt



2018 oder letztes verfügbares Jahr.
Quelle: OECD, Research and Development Statistics. Datenstand September 2020. – Berechnungen und Schätzungen des CWS

Abbildung 1 stellt die Anteile der EU-15 sowie ausgewählter Länder an den OECD-weiten staatlichen FuE-Budgets für Umweltforschung und für Energieforschung deren jeweiligen Anteilen am gesamten staatlichen FuE-Aufkommen im Jahr 2018 gegenüber.[12] Auf Deutschland entfielen in diesem Jahr rund 17 % der OECD-weiten staatlichen FuE-Ausgaben für den Umweltschutz. Dieser Anteil ist – trotz tendenziell rückläufiger Entwicklung– noch immer deutlich höher als der deutsche Anteil an den OECD-weiten Aufwendungen für Energieforschung (11,4 %) wie auch den gesamten staatlichen FuE-Ausgaben dieser Ländergruppe (11,1 %). Der Beitrag der EU-15 liegt bei 42,7 % aller staatlichen OECD-Ausgaben für den Umweltschutz. Er fällt damit ebenfalls

[12] Für das Jahr 2019 fehlen noch zu viele Ländermeldungen, als dass es sinnvoll wäre, hier Anteile einzelner Volkswirtschaften am „OECD-Gesamtwert“ zu berechnen.

weiterhin klar überdurchschnittlich aus (FuE insgesamt: 34 %), auch wenn andere OECD-Länder in den letzten Jahren anteilmäßig hinzugewonnen haben (Gehrke u. a. 2019).

Anders als in Deutschland und den EU-15 wird vor allem in den USA, aber auch in Japan Energieforschung vergleichsweise höher gewichtet als Umweltforschung. In den USA wird beiden spezifischen Forschungszielen nur unterdurchschnittliche Priorität innerhalb des gesamtstaatlichen FuE-Budgets eingeräumt. Demgegenüber weist Japan in beiden Segmenten deutlich höhere Anteile auf als bezogen auf das gesamte FuE-Aufkommen und liegt jeweils auf Rang 2 hinter den EU-15. Allerdings ist der aktuell deutlich gestiegene Anteil im Bereich Umweltforschung gegenüber dem Vorgängerbericht (Gehrke, Ostertag u. a. 2019) auch methodischen Umstellungen geschuldet.[13] Hingegen ist der hohe japanische Beitrag zum OECD-Forschungsbudget im Energiebereich vor allem auf die noch immer große Bedeutung des Atomstroms für die Energieversorgung und den daraus resultierenden hohen Mitteleinsatz für Nuklearforschung zu erklären.[14] 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. Während die weltweit stark verbreiteten staatlichen Fördermaßnahmen wie Einspeisevergütungssysteme, Quotenmodelle oder verringerte Steuersätze vor allen der Diffusion erneuerbarer Energien und damit der Erreichung bestimmter energiepolitischer Zielvorgaben dienen, soll die gezielte Förderung von FuE- und Demonstrationsprojekten parallel dazu die technologische Weiterentwicklung im Energiebereich unterstützen.

Die IEA Förderdaten ermöglichen hierzu einen differenzierten und langfristigen Einblick in die Ausgabenverteilung verschiedener Staaten. Durch die Unstetigkeit bei der Bewilligung von Forschungs- und Demonstrationsprojekten kann es jedoch insbesondere bei kleineren Staaten zu starken Schwankungen zwischen den jährlichen Haushaltsansätzen kommen, sodass Entwicklungen immer in einem größeren zeitlichen Zusammenhang betrachtet werden sollten. In Anbetracht dessen werden in den nachfolgenden Auswertungen der IEA Förderdaten Durchschnittsgrößen für die Berichtszeiträume 2007-2009 sowie 2017-2019 berücksichtigt.

Zunächst wird die Gewichtung zukunftsorientierter Energietechnologien (erneuerbare Energieträger, Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittstechnologien) gegenüber fossilen Energieträgern und der Kernenergie innerhalb der staatlichen Energieforschungsbudgets einzelner Länder bzw. Ländergruppen untersucht. Die Forschung zu Querschnittsthemen (cross cutting) beinhaltet hierbei „systemische Innovationen“ und nicht einzelnen Teilbereichen zugeordnete Grundlagenforschung. Es wird zudem darauf hingewiesen, dass – ausgehend von der Größen- und Anteilsentwicklung zurückliegender Jahre – die Kategorie „nicht zugewiesen“ ebenfalls den zukunftsorientierten Technologien zugeordnet wird. Im Anschluss erfolgt eine Einordnung der gesamtwirtschaftlichen Relevanz der staatlichen RD&D Budgets sowie ein vertiefender Blick

[13] In der aktuell vorliegenden OECD-Statistik werden für Japan im Bereich Umweltforschung - begründet mit einem Bruch in der Zeitreihe - ab 2016 revidierte und deutlich höhere Werte ausgewiesen als in früheren Datenbankversionen.

[14] Ähnliches gilt – wenngleich weniger ausgeprägt – auch für Frankreich.

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

Strukturanteile und Wachstumsraten der Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten

Die in dieser Studie betrachteten hochentwickelten Länder durchlaufen seit mehreren Jahrzehnten einen Wandel hinwärts der Förderung nachhaltiger Energietechnologien. Bei der Einordnung der gegenwärtigen Förderanteile für *zukunftsorientierte Technologien* ist gleichwohl immer die spezifische Ausgangslage der einzelnen Staaten zu beachten, welche u. a. durch die geographische Lage, das Vorkommen fossiler Brennstoffe sowie die zurückliegende Energiepolitik beeinflusst werden.

In Deutschland liegt der Förderanteil der *zukunftsorientierten Technologien* im Betrachtungszeitraum 2017-2019 bei durchschnittlich 77 % (davon 16 % „nicht zugewiesen"). Dies bedeutet eine Steigerung um 27 Prozentpunkte gegenüber dem Betrachtungszeitraum von 2007-2009 (60 %). Die übrige EU-15 lag im ersten Betrachtungszeitraum mit 59 % Förderanteil zukunftsorientierter Technologien noch gleichauf, konnte diesen Anteil bis dato aber lediglich um fünf Prozentpunkte auf nunmehr 64 % erhöhen. Gegenüber der Vorgängerstudie von 2019 ist die hohe Bedeutung zukunftsorientierter Technologien in vielen EU-Staaten noch einmal gestiegen: Spanien, Ungarn, Schweden, Österreich, Estland und Dänemark wenden inzwischen 96 bis 99 % ihrer jeweiligen Energieforschungsbudgets für nachhaltige Technologien auf und nehmen damit eine weltweite Vorreiterrolle ein. Ihnen folgen weitere europäische Staaten mit ebenfalls großer Zukunftsorientierung: Die Slowakei (91 %), die Niederlande (88 %), Finnland (84 %) und die Schweiz (84 %) (Tabelle B. 1).

Von den hochentwickelten Ländern außerhalb Europas geht Südkorea mit einem Anteil von 80 % zukunftsorientier Technologien voran. Mit der Nuklearkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 begann auch Japan ernsthaft einen Fokus auf nachhaltige Energieforschung zu setzen und verzeichnet nach einem sukzessiven Anstieg nun 57 % im Betrachtungszeitraum 2017-2019. Kanada erhöhte die Förderung zukunftsorientierter und nachhaltiger Energietechnologien zwischen den Betrachtungszeiträumen ebenfalls deutlich auf nunmehr 53 %, wobei die Forschungsförderung fossiler Brennstoffe relativ konstant bei einem Drittel beibehalten wird. Dahingegen ist die Entwicklung in den USA seit 2014 leicht rückläufig. Wurden 2012/13 noch Anteile von deutlich über 80 % erreicht, sank dieser im aktuellsten Betrachtungszeitraum auf 77 %, was dem Anteil Deutschlands entspricht (s. o.).

In den weiteren großen Ländern Europas ist das Bild sehr heterogen. In Frankreich sind die Anteile für zukunftsorientierte Technologien von 31 % auf 42 % angestiegen. Der Anteil für die Erforschung fossiler Brennstoffe wurde auf ein Minimum zurückgefahren, während der Anteil für Nuklearenergie weiterhin bei traditionell über 50 % des Energieforschungsbudgets liegt. Andererseits sind in Italien die Anteile für zukunftsorientierte Technologien von zuvor 68 % auf 59 % im jüngsten Betrachtungszeitraum gesunken und der Anteil fossiler Energieträger entsprechend gestiegen. Nimmt man die Anteile nicht zugewiesener Mittel ebenfalls hinzu (6 %), so werden in Großbritannien 70 % des Budgets nachhaltig investiert, was trotz alledem einen leichten Rückgang gegenüber dem ersten Betrachtungszeitraum (75 %) bedeutet. In Polen wurden nach einer zwischenzeitlichen Phase verminderter Förderung die Förderanteile für zukunftsorientierte Technologien wieder stetig erhöht und erreichen im Betrachtungszeitraum 2017-2019 erneut 74 % (Tabelle B. 1).

Eine beachtliche Wandlung der öffentlichen Forschungsausgaben für nachhaltige Energieformen wurde in Norwegen vollzogen. Zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen wurde eine Verdoppelung der Anteile für zukunftsorientierter Technologien von 36 % auf 72 % erreicht. Inner-

halb des jüngsten Zeitraums wurde von 2018 auf 2019 hierbei eine Erhöhung um 20 Prozentpunkte von 62 % auf 82 % vorgenommen. Die Förderung fossiler Brennstoffe – bis zum Jahr 2012 noch bei über 60 % – wurde im Jahr 2019 hingegen auf 17 % abgesenkt (Tabelle B. 1).

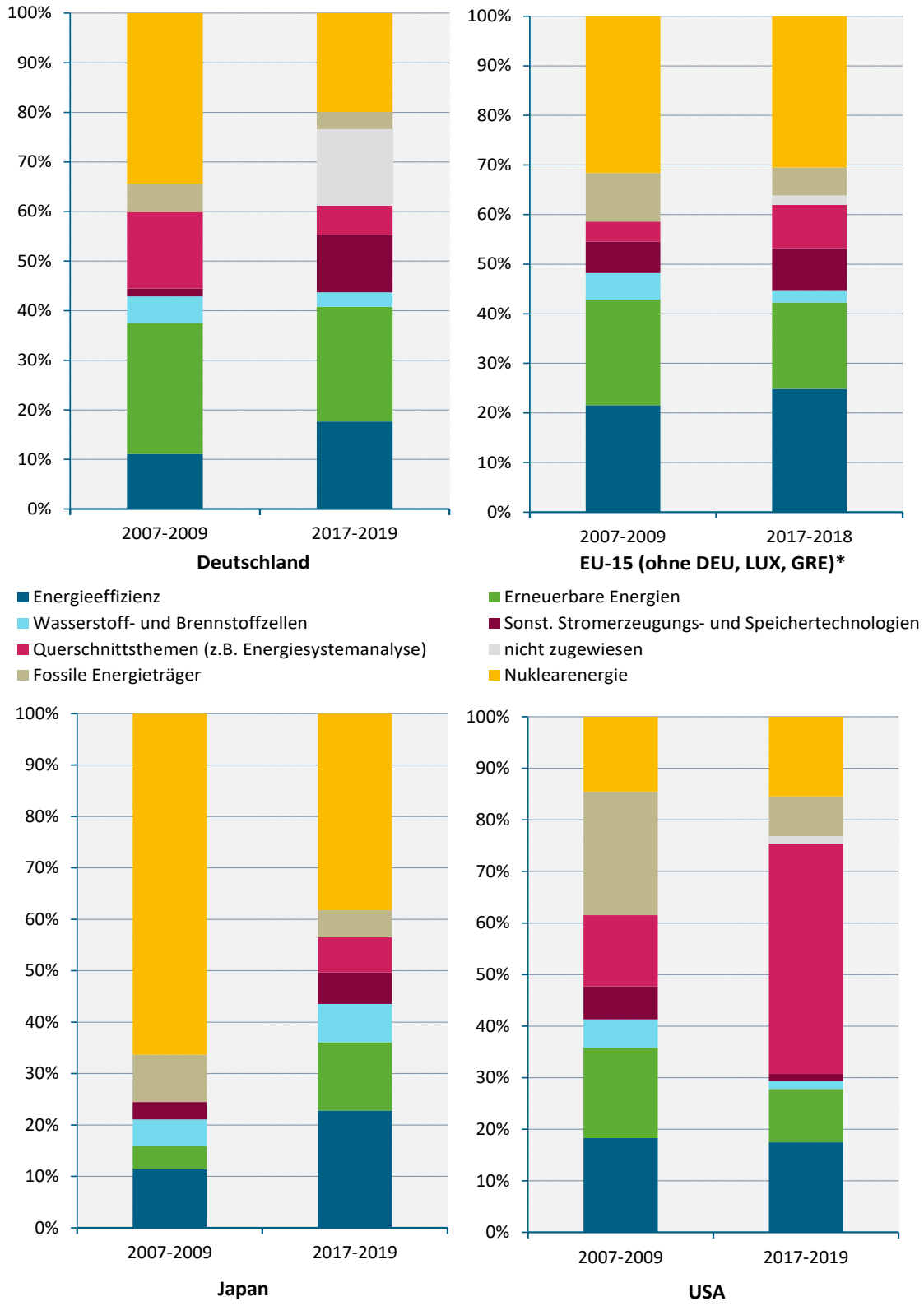
Teilsegmente zukunftsorientierter Technologien

Die Fokussierung auf einzelne Teilsegmente zukunftsorientierter Technologien unterscheidet sich zwischen den Staaten deutlich und verändert sich im Zeitverlauf teils stark. In Deutschland flossen bis einschließlich 2017 ca. 30 % des staatlichen Energieforschungsbudgets in *erneuerbare Energien (EE)*, wenngleich seit 2012 mit einem rückläufigen Anteil. Im ersten Betrachtungszeitraum (2007 bis 2009) lag der durchschnittliche Anteil noch bei 26 %. Aufgrund des hohen Anteils nicht zugewiesener Mittel in den Jahren 2017 und 2019 fallen die den einzelnen Teilsegmenten zuzurechnenden Quoten derzeit teils niedriger aus als in den Vorjahren. Demzufolge ist die aktuelle Tendenz bei erneuerbaren Energien für die Periode 2017 bis 2019 rückläufig. Ungeachtet dessen, gehört Deutschland mit geschätzten knapp 23 % weiterhin zu den Staaten mit einem vergleichsweise großen Schwerpunkt auf erneuerbare Energien. In der übrigen EU-15 hatte sich der Anteil der erneuerbaren Energien über längere Zeit um 21 % bewegt. Im aktuellen Beobachtungszeitraum ist der Anteil zugunsten anderer zukunftsorientierter Technologien hingegen auf 17 % geschrumpft (Tabelle B. 1).

Die Investitionen weiterer westeuropäischer Staaten im Bereich der erneuerbaren Energien entwickelten sich zwischen den Betrachtungszeiträumen sehr unterschiedlich (Tabelle B. 1). Ein beständig hoher Anteil für erneuerbare Energien wird in Spanien (47→51 %) und in Dänemark (48→42 %) aufgebracht, wobei bei Dänemark – ähnlich wie in Deutschland – mit hoher Wahrscheinlichkeit „nicht zugewiesene“ Mittel hinzugefügt werden müssen. Die Niederlande konnten durch eine Ausweitung dieses Segments (31→42 %) zu Spanien und Dänemark aufschließen. Dahingegen reduzierten Österreich (37→15 %) und Großbritannien (37→13 %) deren Anteile zugunsten von Energieeffizienz und sonstigen Stromerzeugungs- und Speichertechnologien erheblich. Auf den ersten Blick verringerte auch Schweden die Anteile für erneuerbare Energien (33→20 %); unter denkbarer Addition der „nicht zugewiesenen“ Anteile ist der Rückgang allerdings kaum erwähnenswert (33→30 %). Gleiches gilt für Finnland (21→18 %), Italien (18→20 %) und Frankreich (10→12 %), bei denen ebenfalls keine nennenswerten Verschiebungen erkennbar sind. In den EFTA-Staaten Norwegen und der Schweiz sind hingegen positive Trends hin zu den erneuerbaren Energien auszumachen. Norwegen, welches derzeit eine radikale Transformation der staatlichen RD&D-Budgets für zukunftsorientierter Technologien unternimmt (s. o.), erhöhte den Anteil von 18 auf 32 % zwischen den Betrachtungszeiträumen. Für die Schweiz, welche ebenfalls eine Abkehr von fossilen Brennträgern und der Nuklearenergie vollzieht, vergrößerte sich der Anteil derweilen von 23 auf 30 % (Tabelle B. 1).

Außerhalb Europas liegt der Fokus weniger stark auf den erneuerbaren Energien. Wurden in den USA zwischen den Jahren 2011 und 2015 noch über 15 % diesem Segment zugeordnet, ist der Anteil nunmehr auf 10 % gefallen. In Kanada schwanken die Anteile seit 2007 relativ konstant um einen Anteil von 14 %. Dagegen wird in Südkorea seit 2009 beständig ein Viertel des Energieforschungsbudgets für erneuerbare Energien aufgewendet. In Japan wurde dieser Anteil im Anschluss an die Nuklearkatastrophe von Fukushima 2011 schlagartig von 5 auf ebenfalls 25 % erhöht, ist jedoch im aktuellen Betrachtungszeitraum auf 13 % zurückgefallen (Tabelle B. 1).

Abbildung 2: Struktur staatlicher Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten 2007-2009 und 2017-2019



Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 09/2020. - Berechnungen des CWS.
* EU-15: 2007-2009 ohne Belgien, 2017-2018 ohne Portugal

Der Anteilsrückgang der erneuerbaren Energien (EE) 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 anderem 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, Gatzen u. a. 2019).

Für Energieeffizienz werden in Deutschland seit 2012 rund 22 % der Forschungsausgaben für Energie veranschlagt. Die nicht zugewiesenen Mittel der letzten Jahre lassen den Anteil im Betrachtungszeitraum 2017-2019 jedoch geringer erscheinen (18 %). Fast alle in dieser Studie betrachteten Staaten vollzogen über die letzten Jahre hinweg eine mehr oder weniger starke Mittelfokussierung auf die Erforschung der Energieeffizienz. Die durchschnittliche Quote für alle übrigen EU-15-Staaten stieg in diesem Zusammenhang auf 25 % an.

Treiber dieser Entwicklung sind u. a. Finnland (43→52 %), Österreich (35→47 %), Schweden (40→47 %), Dänemark (12→19 %), Spanien (11→14 %), Frankreich (12→15 %) und Großbritannien (21→31 %). Andererseits gibt es innerhalb der EU auch Länder, die den vormalig hohen Anteil für Energieeffizienz im jüngsten Betrachtungszeitraum zunehmend anderen Forschungssegmenten zuordnen: Ungarn (93→64 %) setzt zunehmend auf erneuerbare Energien, Polen (36→19 %) hingegen auf Querschnittstechnologien, während Italien (27→15 %) sich seit 2010 wieder vermehrt der Erforschung fossiler Energieträger zuwendet. Dahingegen erhöhten die Slowakei (6→59 %) und Estland (33→66 %) ihre Anteile für Energieeffizienz u. a. zuungunsten anderer zukunftsorientierter Technologien. Außerhalb der EU heben sich Norwegen (5→28 %), die Schweiz (15→23 %), aber auch Japan (11→23 %), Südkorea (18→25 %) und Kanada (13→25 %) durch eine erhebliche Anteilssteigerung für Energieeffizienz hervor. Wenngleich die Anteile beider Betrachtungszeiträume identisch sind (18 %), so zeichnet sich für die USA seit 2014 hingegen ein rückläufiger Trend für ihr Energieforschungsetat im Bereich der Energieeffizienz ab (Tabelle B. 1).

Der fortwährend nachhaltige Trend setzt sich auch bei den konventionellen Energieträgern fort: In Deutschland wurde der Anteil zur Förderung *fossiler Brennstoffe* zwischen den Betrachtungszeiträumen von 6 % auf 4 % reduziert. Damit befindet sich Deutschland nahezu auf Augenhöhe mit den in dieser Studie betrachteten hochentwickelten Lände mit den geringsten Anteilen: Dazu zählen Schweden und die Slowakei (jeweils 0 %), Spanien, Finnland, Österreich, Ungarn (jeweils 1 %), Dänemark (2 %) sowie Frankreich, Estland und die Schweiz (jeweils 3 %). Hierbei ist insbesondere die Entwicklung Frankreichs hervorzuheben (14→3 %); aber auch Großbritannien (7→4 %) und die Niederlande (13→9 %) vollzogen eine deutliche Reduzierung ihrer Anteile für fossile Brennstoffe. In der Summe der übrigen EU-15 ist folglich ein Anteilsrückgang festzustellen (10→6 %). Innerhalb der EU-15 unternahm allein Italien eine zunehmende Fokussierung der Forschungsmittel auf diesen Energieträger: Von 9 % auf 20 %. Nach einem zwischenzeitlichen Anteilshoch von über 30 % sanken die Anteile in Polen derweilen auf das Niveau des ersten Betrachtungszeitraumes zurück (20 %). Wie eingangs erwähnt, vollzog das erdöl- und erdgasreiche Norwegen eine beachtliche Wandlung der öffentlichen Forschungsausgaben hin zu nachhaltigen Energietechnologien. Dies spiegelt sich dementsprechend auch in der Reduktion ihrer Mittelanteile für fossile Brennstoffe wider, welche von 58 % auf 26 % mehr als halbiert wurden. Es fand allerdings zugleich auch eine erhebliche Aufstockung des RD&D-Budgets statt (siehe Unterkapitel zu Forschungsausgaben in Relation zum BIP). Außerhalb Europas zeichnen sich u. a. die

USA durch eine drastische Anteilskürzung für die Forschung fossiler Brennstoffe von 24 % auf 8 % aus, wohingegen Kanada deren Anteile von 27 % auf 32 % leicht erhöhte. Japan (9→5 %) und Südkorea (13→9 %) folgen dem internationalen Trend und fördern zunehmend nachhaltige Energietechnologien (Tabelle B. 1).

Der auf die *Nuklearforschung* entfallende Anteil innerhalb der übrigen EU-15 ist zwischen dem Betrachtungszeitraum 2007-2009 und dem Betrachtungszeitraum 2017-2019 unverändert geblieben (von 32 % auf 31 %). Bis auf die Ausnahme weniger Staaten ist dennoch eine deutliche Abkehr von der Nukleartechnik zu erkennen: So reduzierten in Europa neben Deutschland (34→20 %) auch Spanien (25→1 %), Schweden (6→1 %), Norwegen (6→2 %), die Niederlande (9→3 %), Österreich (6→1 %), die Schweiz (28→14 %) und die Slowakei (33→9 %) ihre Anteile des Energieforschungsbudgets für die Nuklearforschung beträchtlich. Viele europäische Staaten haben ihre öffentliche Forschungsförderung für Nuklearenergie beinahe eingestellt. Der Anteil in Deutschland ist im Ländervergleich weiterhin hoch, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Nuklearforschung nicht nur auf Energieerzeugung abzielt, sondern ebenfalls die nukleare Abfallwirtschaft und Umweltschutzmaßnahmen miteinschließt. Die Ursache dafür, weshalb es in der übrigen EU-15 keine nennenswerte Verringerung gab, ist, dass Länder wie Frankreich, Großbritannien, Italien und Finnland aufgrund ihrer großen Forschungsvolumina für die Gesamtentwicklung eine tragende Rolle innehaben: Während Frankreich (55 %) und Italien (21 %) ihre Anteile für Nukleartechnik beibehielten, vergrößerten Großbritannien (18→26 %) und Finnland (7→15 %) diese deutlich. Der überwiegend rückläufige Trend in Europa ist auch in Übersee sichtbar. In Japan, wo noch immer 38 % des Energieforschungsetats für Nuklearenergie verausgabt wird, kann dennoch eine Halbierung früherer Anteile festgestellt werden (66 %). Ebenfalls mehr als eine Halbierung zeigt sich für Südkorea (25→11 %) und Kanada (33→15 %), während das Gewicht in den USA unverändert blieb (16 %) (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 einer von vielen Anwendungsbereichen. Innerhalb der RD&D-Budgets wird zwischen Wasserstoff- und Brennstoffzellen sowie sonstigen Stromerzeugungs- und Speichertechnologien unterschieden (Tabelle B. 1).

Deutschland investiert im aktuellen Betrachtungszeitraum durchschnittlich ca. 12 % des Energieforschungsbudgets in *sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien* und hält damit das Niveau seit dem Jahr 2015 konstant. Zugleich bedeutet dies eine erhebliche Steigerung gegenüber dem ersten Betrachtungszeitraum (1,6 %). Der Durchschnitt der übrigen EU-15 im jüngsten Zeitraum liegt bei 8,6 %. International bilden Dänemark, Österreich (jeweils 21 %) und Südkorea (18 %) eine Vorreitergruppe; gefolgt von einer Reihe an Staaten mit Anteilen von 10 bis 14 %: Die Schweiz, Polen, Italien, Kanada, Spanien, Ungarn, die Slowakei und Großbritannien (absteigend sortiert). Das Land mit dem geringsten Anteil für Stromerzeugungs- und Speichertechnologien der hier betrachteten Staaten ist die USA (1,3 %) (Tabelle B. 1).

Wenig bedeutsam ist derzeit die Erforschung und Entwicklung von *Wasserstoff- und Brennstoffzellen*. Wurden im Betrachtungszeitraum 2007-2009 noch in nahezu fast allen west-und zentraleuropäischen Ländern 5 bis 6 % des Energieforschungsbedarfs in diese Technologien gesteckt, erzielt die übrige EU-15 im aktuellen Betrachtungszeitraum 2017-2019 einen durchschnittlichen Anteil von 2,3 %. Deutschland befindet sich mit 2,9 % leicht oberhalb dieses Durchschnitts. Allein Dänemark (11,5 %), Japan (7,5 %), die Schweiz (6,6 %), Südkorea (6,5 %) und Estland (5,4 %) setzen innerhalb ihrer energiebezogenen RD&D-Budgets derweilen höhere Prioritäten

für die Förderung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung, wobei auch bei diesen Staaten die Tendenz stark rückläufig ist (Tabelle B. 1).

Die USA sind hinsichtlich der Spezialisierung auf den Bereich der *Querschnittthemen* (z. B. Energiesystemanalyse) unangefochtener Spitzenreiter. Die Nordamerikaner fördern dieses breite Forschungsfeld seit dem Jahr 2011 nennenswert und steigerten ihren Forschungsetat-anteil seitdem von 34 % stetig auf nunmehr 45 %. Deutschland hingegen befindet sich mit einem derzeitigen Anteil von 6 % hinter vielen anderen europäischen Staaten. Ausgenommen der Jahre 2007/08, wird in Deutschland kein Fokus auf dieses Segment gelegt. Der Durchschnitt der übrigen EU-15-Staaten liegt im aktuellen Betrachtungszeitraum bei 9 %. Die Anteilssteigerung der übrigen EU-15 ist darauf zurückzuführen, dass die großen Volkswirtschaften Frankreich (9 %) und Italien (10 %) neuerdings einen leichten Schwerpunkt auf dieses Forschungssegment legen. Zudem halten Schweden (14 %), Großbritannien (8 %) und Finnland (8 %) ihre Anteile für Querschnittsthemen konstant. Die enormen Zuwächse im aktuellen Berichtszeitraum gegenüber den Vorjahren in Spanien (19 %) und Österreich (10 %) sind ausschließlich auf ein einzelnes Jahr zurückzuführen, sodass diese Anteile höchstens auf eine Tendenz hindeuten (Tabelle B. 1).

Gesamtwirtschaftliche Einordnung: in Relation zum BIP

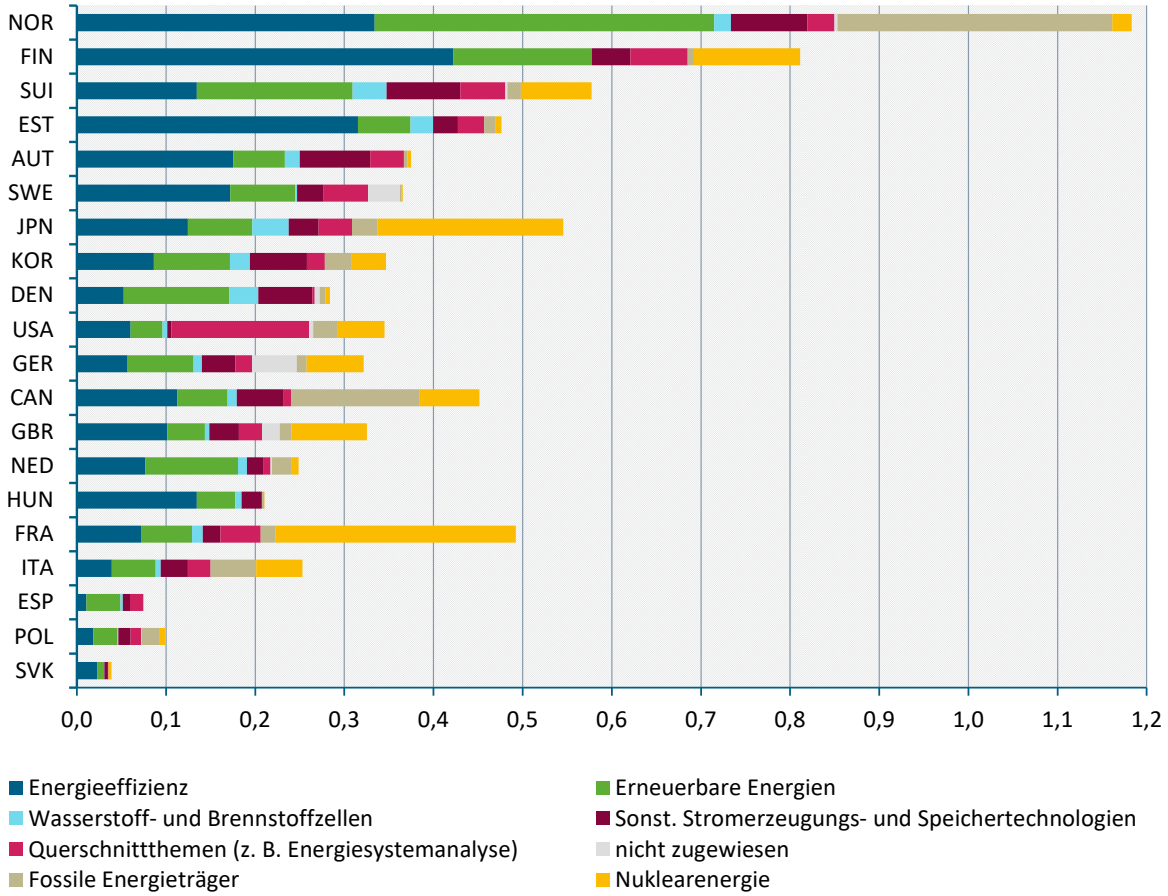
Die öffentlichen Haushaltsansätze für Forschung und Entwicklung im Energiebereich weisen in den betrachteten Staaten unterschiedliche Größenordnungen auf. Zur besseren Einordnung werden die RD&D-Budgets in diesem Abschnitt daher in Relation zum nationalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) gesetzt, sodass die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Energieforschung sichtbar wird. Bei den nachfolgenden Erläuterungen liegt der Fokus weiterhin auf den zukunftsorientierten Energietechnologien (Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Wasser- und Brennstoffzellen, Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen). Die Abbildung 3 zeigt zur Veranschaulichung die relativen staatlichen RD&D-Budgets am BIP nach Forschungsfeldern im Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019. Die Sortierung erfolgt absteigend anhand des Anteils für zukunftsorientierte Energietechnologien.

Zwischen dem ersten Betrachtungszeitraum 2007-2009 und dem gegenwärtigen Betrachtungszeitraum 2017-2019 konnten für die betrachteten Länder sehr unterschiedlich Entwicklungen der staatlichen RD&D-Budgets für zukunftsorientierte Energietechnologien als Anteil am nationalen BIP festgestellt werden: So zeigen sich steigende, sinkende, stagnierende oder auch nur vorübergehend steigende Anteile: Im aktuellen Zeitraum veranschlagt *Deutschland* laut IEA-Statistik durchschnittlich 827 Millionen Euro für zukunftsorientierte Energietechnologien, was einen Anteil von 0,25 Promille am BIP bedeutet.[15] Wie zuvor erläutert, sind hierbei die Mittel für „nicht zugewiesen“ mit beinhaltet. Damit ist die Quote aus deutscher Perspektive nach zuvor vier Jahren Stagnation (um 0,20 ‰) im Jahr 2017 erstmals wieder gestiegen (Abbildung 4).

Für das Jahr 2019 beläuft sich der Anteil gar auf 0,27 Promille. Zum Vergleich, im ersten Betrachtungszeitraum wurde noch ein Anteil von 0,12 Promille erzielt. Die Zunahme basiert auf einem stetigen Anteilszuwachs in den Bereichen der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien. Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung für Energieforschung fällt im Vergleich zu vielen anderen Staaten in Deutschland jedoch weiterhin gering aus.

[15] Weitere 252 Mio. Euro gingen im Jahr 2017 in die Forschung von Nuklearenergie und fossilen Energieträgern (0,08 ‰/BIP).

Abbildung 3: Staatliche RD&D Budgets* 2017 bis 2019 in Relation zum BIP (in ‰)



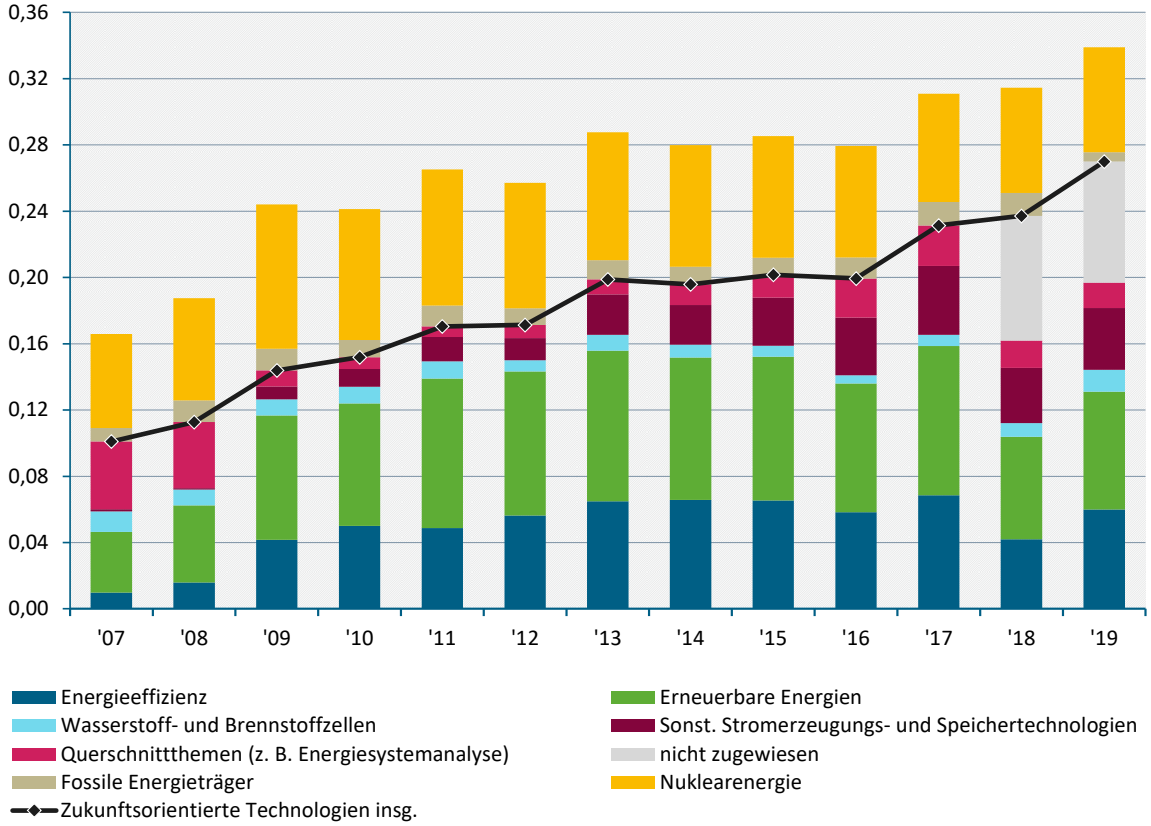
*Absteigend sortiert nach dem Anteil zukunftsorientierter Energietechnologien (Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen, nicht zugewiesen). Budgets ausschließlich für die Jahre 2017 und 2018: FRA, GBR, ITA, ESP, DEN, FIN, NED, AUT, KOR.
Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 09/2020. - Berechnungen des CWS.

Die skandinavischen Länder *Norwegen* (0,85 ‰) und *Finnland* (0,69 ‰) nehmen bezogen auf diesen gewichteten Indikator 2017-2019 die Spitzenpositionen ein – allerdings mit gegenläufiger Tendenz. So erzielte *Finnland* in Jahren 2009 bis 2015 noch Quoten von weit über 1,00 ‰, wohingegen *Norwegen* erst kürzlich eine Vervielfachung des Budgets für zukunftsorientierter Energietechnologien vorgenommen hat, der zu einem starken Anstieg des Anteils am BIP führte (zuvor 0,20 ‰). Nachdem zunächst das Budget für Energieeffizienz ausgeweitet wurde, folgt im aktuellen Betrachtungszeitraum eine weitere Budgeterhöhung zwecks Erforschung der Erneuerbaren Energien. Der BIP-Anteil für fossile Brennstoffe im erdöl- und erdgasreichen Norwegen wurde allerdings konstant gehalten. Vorreiter in der Ausweitung der staatlichen RD&D-Budgets für zukunftsorientierte Energietechnologien am BIP sind auch Deutschlands südliche Nachbarn: Die *Schweiz* (0,21→0,48 ‰) und *Österreich* (0,21→0,37 ‰) zeigten in den vergangenen 10 Jahren beachtliche Investitionsanstrengungen. Positive Trends in der Entwicklung des BIP-Anteils lassen sich zudem in *Großbritannien* (0,09→0,23 ‰) und *Frankreich* (0,16→0,21 ‰) ausmachen. In der *Schweiz*, in *Österreich* und in *Großbritannien* wird zunehmend mehr Kapital für die Energieeffizienzforschung aufgebracht, wohingegen *Frankreich* die Querschnittstechnologien stärkt (Tabelle B. 1).

Ähnlich wie für Finnland zeigt sich auch in *Dänemark* eine rückläufige Tendenz (0,27 ‰, 2010-2015: 0,50-0,70 ‰), die durch eine Verringerung der Mittel für erneuerbare Energien und

für Wasserstoff- und Brennstoffzellen zu erklären ist. Deutlich drastischer fallen die Budgetkürzungen gar in jüngeren EU-Mitgliedsstaaten und zugleich kleineren Volkswirtschaften aus: Die ehemaligen Vorreiter in der Förderung zukunftsorientierter Energietechnologien *Ungarn* (2008-2012: >0,85 ‰) und *Estland* (2013-2016: >2,00 ‰) erzielen in der aktuellen Berichtsperiode nur noch 0,21 ‰ bzw. 0,46 ‰. Die Anteile in den Jahren 2018 und 2019 sind für *Ungarn* (ca. 0,07 ‰), *Polen* (0,11→0,07 ‰), die *Slowakei* (0,16→0,04 ‰) und *Estland* (ca. 0,26 ‰) weiterhin rückläufig, wodurch die Staaten im internationalen Vergleich an das Ende zurückfallen (Tabelle B. 1).

Abbildung 4: Staatliche RD&D Budgets nach Energiebereichen in Deutschland 2007 bis 2019 (Anteile in Promille vom BIP)



Zukunftsorientierte Energietechnologien umfassen die Bereiche Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen, nicht zugewiesen.
Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 09/2020. - Berechnungen des CWS.

In Übersee veranschlagen die *USA* und *Südkorea* jeweils ein konstant hohes Niveau von knapp 0,28 ‰ am BIP für zukunftsorientierte RD&D-Projekte. Die *USA* legen dabei einen Fokus auf Querschnittstechnologien, während *Südkorea* die staatlichen Mittel gestreuter einsetzt. In *Japan* ist seit dem ersten Betrachtungszeitraum ein etappenweiser Anstieg der nachhaltigen Energieforschung zu erkennen, welcher 2011 (Fukushima) mit 0,25 ‰ begann und sich 2018/19 insbesondere zugunsten der Energieeffizienz auf 0,34 ‰ vergrößerte. Der in *Kanada* für zukunftsorientierte Energietechnologien ausgewiesene Budgetanteil am BIP durchläuft seit dem ersten Betrachtungszeitpunkt 2007 ein stetiges Auf- und Ab und befindet sich im Jahr 2019 mit 0,27 ‰ auf dem hohen Niveau der Jahre 2009-2012 (Tabelle B. 1).

Wie aus Abbildung 3 ebenfalls zu entnehmen ist, gibt es Staaten, die aufgrund des umfangreichen Vorkommens an fossilen Brennstoffe und/oder einer langfristig angelegten Energiepolitik auch zu weniger nachhaltigen Energietechnologien forschen. Hierbei ist festzuhalten, dass diese

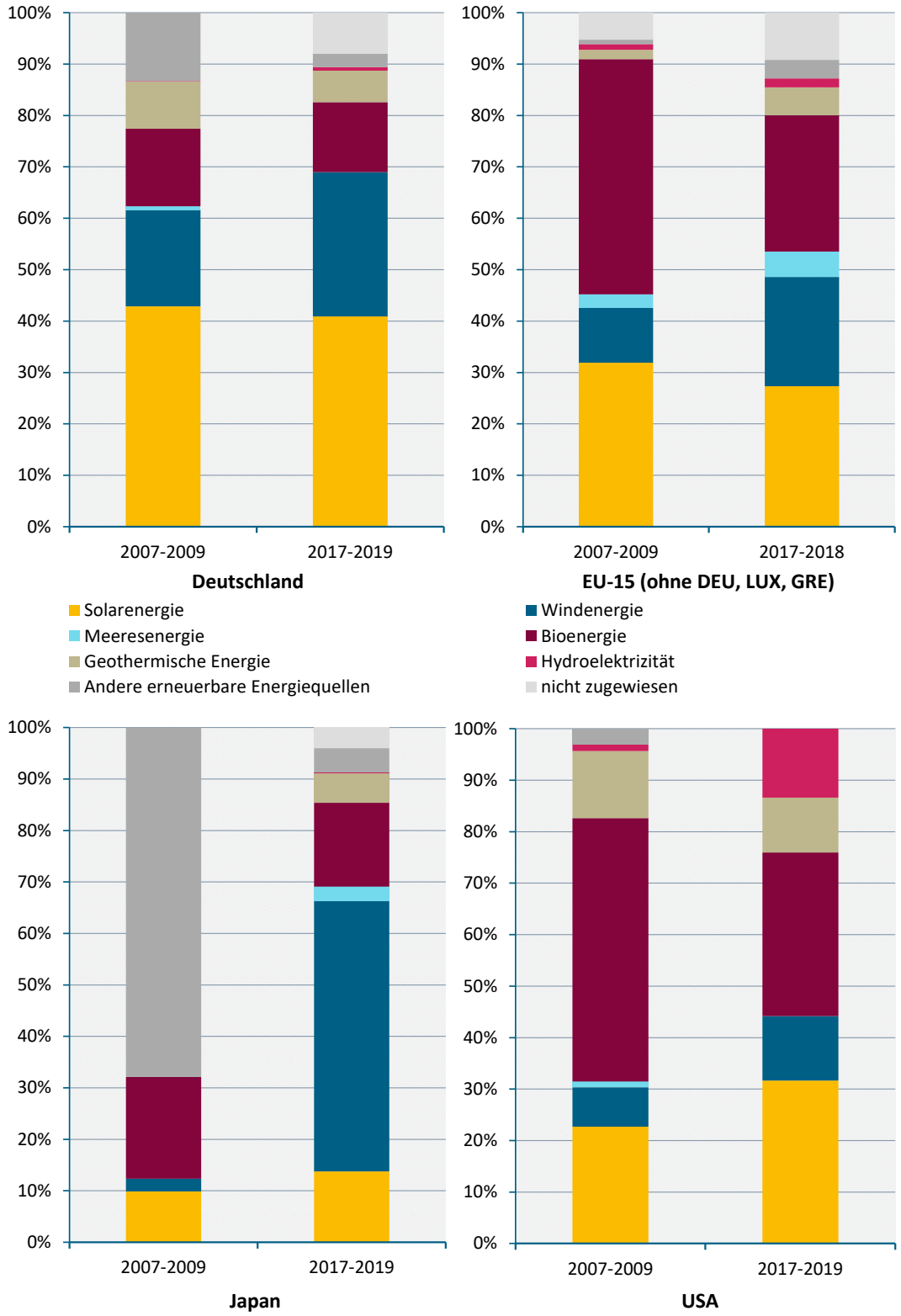
Segmente auch nachhaltige Forschungsansätze enthalten: So beschäftigt sich die Nuklearenergieforschung u. a. mit der Verbesserung des Brennstoff-Kreislaufs, während die Energieforschung zu fossilen Brennstoffen u. a. die Kohlenstoffdioxidreduzierung und -speicherung umfasst. Die Nuklearenergieforschung hat im Betrachtungszeitraum 2017-2019 in den Ländern *Frankreich* (0,27 ‰), *Japan* (0,21 ‰) und *Finnland* (0,12 ‰) einen traditionell hohen Stellenwert; gefolgt von *Großbritannien* (0,08 ‰), der *Schweiz* (0,08 ‰), *Kanada* (0,07 ‰) und *Deutschland* (0,06 ‰). In den erdöl- und erdgasreichen Ländern *Norwegen* (0,31 ‰) und *Kanada* (0,14 ‰) werden unterdessen umfangreiche Mittel zur Erforschung fossiler Brennstoffe veranschlagt; erst mit großem Abstand folgen *Italien* (0,05 ‰), *Japan*, *Südkorea* und die *USA* (jeweils 0,03 ‰) Tabelle B. 1).

Strukturen und Entwicklungen innerhalb des Budgets für erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Der Forschungsbereich der *erneuerbaren Energien* ist ein zentraler Bestandteil innerhalb der energiebezogenen RD&D-Budgets der Länder. Dessen Anteil am Gesamtbudget hat sich zwischen den Betrachtungszeiträumen 2007-2009 und 2017-2019 in vielen Staaten unterschiedlich entwickelt. Ein Anteilsrückgang der erneuerbaren Energien ist in diesem Zeitraum für Österreich, Großbritannien, Schweden und die USA zu verzeichnen; etwas weniger stark ausgeprägt auch für Deutschland und Dänemark. Eine zunehmende Wertschätzung erhielten die erneuerbaren Energien hingegen in Norwegen, den Niederlanden, der Schweiz, Japan und Südkorea. Nur geringfügige Anteilveränderungen konnten für Italien, Kanada, Finnland und Spanien festgestellt werden (s. o.). Allerdings fanden zugleich strukturelle Anteilsverschiebungen innerhalb des Bereichs der erneuerbaren Energieträger statt (Tabelle B. 2).

In vielen dieser Länder bilden die Energieträger *Solarenergie*, *Windenergie* und *Biokraftstoff* die drei tragenden Säulen der Energieforschung im Bereich der erneuerbaren Energien. In Deutschland kommen im Zeitraum 2017-2019 innerhalb der erneuerbaren Energien 41 % der *Solarenergie* zugute; im Durchschnitt der übrigen EU-15 sind dies lediglich 27 %. Im Zeitraum 2007 bis 2017 lag der Anteil dieses Energieträgers in Deutschland zwischenzeitlich jedoch auch bei nur einem knappen Drittel des Budgets für erneuerbare Energien. Der Anteil für *Windenergie* an den erneuerbaren Energien in Deutschland lag im selben Zeitraum bei ca. 20 %, stieg jedoch bis 2019 deutlich an, sodass in 2017-2019 etwa 28 % in diesen Bereich fallen. In der übrigen EU-15 verdoppelte sich der Windenergiebereich zwischen den Betrachtungszeiträumen von 11 % auf 21 %. Seit 2007 erzielen *Biokraftstoffe* in Deutschland bei nur geringfügigen Schwankungen einen Anteil des RD&D-Budgets für erneuerbare Energien von durchschnittlich 14 %. Die übrige EU-15 hingegen setzte bereits 2007-2009 einen Schwerpunkt auf Bioenergie und führten 46 % diesem Bereich zu. Seither investiert die EU-15 im Durchschnitt jedoch anteilig deutlich weniger in dieses Segment; dennoch machen Biokraftstoffe weiterhin 26,5 % des Forschungsbudgets für erneuerbare Energien aus (Abbildung 5).

Abbildung 5: Struktur der Energieforschungsbudgets bei erneuerbaren Energien nach Teilsegmenten 2007-2009 und 2017-2019



Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 09/2020. - Berechnungen des CWS.
EU-15: 2007-2009 ohne Belgien, 2017-2018 ohne Portugal

Bei länderweiser Betrachtung zeigt sich, dass eine ganze Reihe von Staaten zwischen den Betrachtungszeiträumen 2007-2009 und 2017-2019 deutliche Veränderungen in der Schwerpunktsetzung innerhalb des Forschungsbereichs der erneuerbaren Energien vorgenommen haben (Tabelle B. 2):

- Im Betrachtungszeitraum 2017-2019 setzen eine Vielzahl an Staaten einen Schwerpunkt auf die *Bioenergieforschung*, darunter Finnland (54 %), Schweden (50 %), Kanada (46 %), Frankreich (38 %), Österreich (38 %), Polen (35 %) und die USA (32 %). Dennoch ist eine deutliche Abkehr von der Erforschung von Biokraftstoffen gegenüber 2007-2009 zu beobachten: Schweden (70→50 %), Österreich (68→38 %), Finnland (65→54 %), die Niederlande (55→25 %), die USA (51→32 %), Dänemark (45→15 %) und auch Spanien (32→7 %) reduzierten die Anteile für dieses Segment teils drastisch. Die Abkehr von Biokraftstoffen führt in den genannten Ländern überwiegend zu einer verstärkten Förderung von *Solar- und Windenergie*.

- Zunehmend auf *Windenergie* setzen im Periodenvergleich Dänemark (31→70 %), Norwegen (20→64 %), Japan (52 %), Spanien (13→45 %), Großbritannien (12→33 %) und die Niederlande (13→33 %). Auch in Deutschland hat die Windenergie anteilmäßig deutlich hinzugewonnen (19→28 %).

- Die *Solarenergie* ist weiterhin ein zentraler Bestandteil der RD&D-Budgets für erneuerbare Energien: Während in Österreich (21→41 %), Polen (22→34 %) und den USA (23→32 %) im Betrachtungszeitraum 2017-2019 ein verstärkter Fokus auf die Solarenergieforschung gelegt wird, reduzierte Spanien diesen zugunsten der Windenergie (49→27 %). Für Frankreich (39→42 %) und Deutschland (43→41 %) lassen sich keine nennenswerten Anteilsverschiebungen gegenüber 2007-2009 feststellen. Anteilsverluste der Solarenergie in Südkorea (52→40 %) und der Schweiz (56→43 %) können hingegen auf eine breitere Streuung des Budgets innerhalb der erneuerbaren Energien zurückgeführt werden.

- Der Weiterentwicklung der *Hydroelektrizität*, also der Nutzbarmachung von Strömungsenergie des Wassers, widmen sich im Rahmen der erneuerbaren Energien im größeren Umfang lediglich die USA (13 %), die Schweiz (11 %) und Österreich (8 %). Die *geothermische Energie* wird hingegen in mehreren Ländern mit relativ mehr Forschungskapital bedacht. Hierzu zählen die Slowakei (46 %), die Schweiz (19 %), die Niederlande (16 %) und die USA (11 %), sowie im erweiterten Kreis auch Spanien, Italien und Deutschland (6-7 %). Die Forschung zur *Meeresenergie* macht lediglich in Schweden und Großbritannien einem nennenswerten Anteil von jeweils 10 % am Budget für erneuerbare Energien aus, wird ansonsten aber in kaum einem anderen Land gefördert.

- Die Niederlande und Großbritannien stechen hervor, da sie eine dreigeteilte Schwerpunktsetzung auf Windenergie (33 %), Solarenergie (22-24 %) und Bioenergie (21-25 %) aufweisen.

Die Steigerung der *Energieeffizienz* ist eine weitere wichtige wirtschaftliche und politische Zielsetzung, um dem weltweit wachsenden Energieverbrauch entgegenzusteuern. Wie eingangs erwähnt, liegt der Anteil des Energieforschungsetats Deutschlands im Betrachtungszeitraum 2017-2019 für den Bereich Energieeffizienz bei 18 % und damit unterhalb des Durchschnitts

der übrigen EU-15 (25 %), wobei ein nicht unerheblicher Prozentsatz an nicht zugewiesenen Mitteln auf einen tatsächlichen Anteil von ca. 22 % hindeutet (s. o.). Im jüngsten Betrachtungszeitraum werden in Deutschland 30 % des RD&D-Etats innerhalb des Energieeffizienz-Segments für den Bereich *Industrie* verausgabt, weitere 23 % für *Gebäude*, 11 % für *Verkehr* und 19 % für *sonstige Energieeffizienz*-Forschungen; 17 % des Segments wurden hingegen keinem der vier zuvor genannten Teilbereiche zugewiesen. Im Vergleich zu den weiteren Staaten verteilt Deutschland die Mittel im Segment der Energieeffizienz relativ gleichmäßig. Im Durchschnitt der übrigen EU-15 liegt mit 48 % ein klarer Fokus auf dem Bereich Verkehr; dies bedeutet eine abweichende Konzentration gegenüber Deutschland. Die Forschungsanteile für die Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie und in Gebäuden wurden in der übrigen EU-15 in den vergangenen 10 Jahren stetig zurückgefahren und belaufen sich nunmehr auf ca. 16 % (Industrie) bzw. 18 % (Gebäude). Die Quote für sonstige Energieeffizienz blieb mit 11 % derweil vergleichsweise konstant. Gegenüber dem ersten Betrachtungszeitraum ist somit festzustellen, dass in der übrigen EU-15 die Forschungsmittel nun weniger für Energieeffizienz in den Bereichen Gebäude und Industrie und verstärkt im Verkehr eingesetzt werden. Die Anteilsstruktur der übrigen EU-15 ist damit ähnlich zu der der USA (Abbildung 6).

Die Schwerpunktsetzungen im Bereich Energieeffizienz unterscheiden sich stark zwischen den Ländern. Einige Staaten haben einen primären Fokus auf einen einzelnen Teilbereich innerhalb der Energieeffizienz. Auf zwei Schwerpunkte setzen u. a. Schweden (80 % für Verkehr/Industrie) und Ungarn (83 % für Industrie/Gebäude) (Tabelle B. 3).

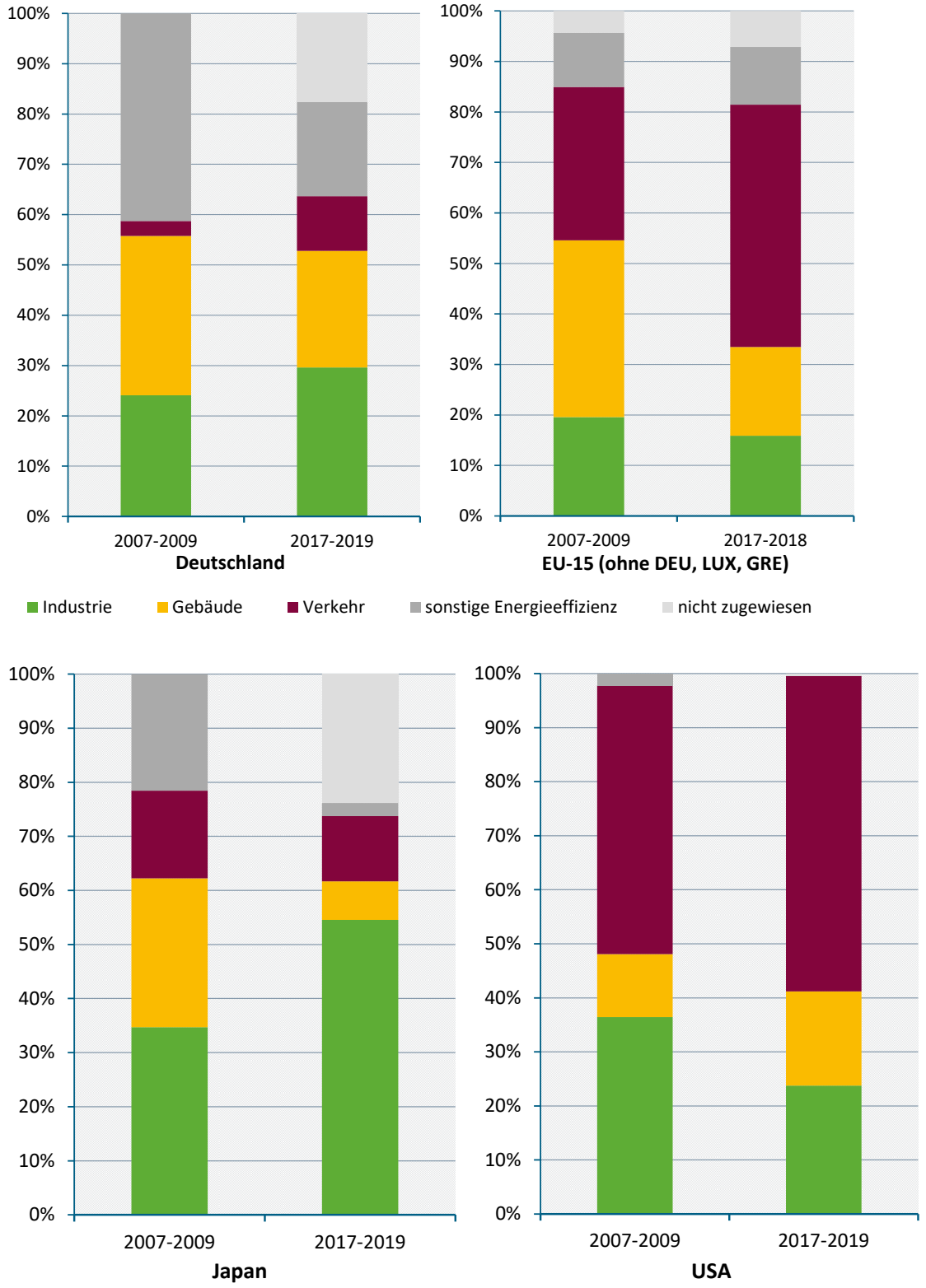
- Der Teilbereich *Verkehr* hat zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen stark hinzugewonnen. In den Ländern Großbritannien (71 %), Frankreich (65 %) und in den USA (58 %) wird dieser Teilbereich vorrangig gefördert, und auch in Schweden (51 %), der Slowakei (45 %), Österreich (40 %) und in Finnland (39 %) sind die Anteile innerhalb der Segments der Energieeffizienz nennenswert hoch.

- Die Anteile für den Teilbereich *Gebäude* wurden in den betrachteten Ländern seit dem ersten Betrachtungszeitraum durchschnittlich um die Hälfte zurückgefahren. Weiterhin auf diesen Teilbereich der Energieeffizienz setzt hingegen Dänemark (56→66 %). Teils deutliche Anteilszuwächse können u. a. auch für Ungarn (13→55 %), Polen (9→26 %), und die Schweiz (34→40 %) verzeichnet werden.

- Für den Teilbereich *Industrie* können gegenüber dem ersten Betrachtungszeitraum ganzheitlich leichte Anteilsverluste festgestellt werden. Länder wie Kanada, Finnland und Ungarn reduzierten ihre Anteile auf ca. 30 %, während Deutschland und Schweden ihre Anteile auf eben dieses Niveau anhoben. Erhebliche Anteilszuwächse hingegen verschaffen Spanien (24→65 %) und Japan (35→55 %) in diesem Teilbereich eine relative Spitzenposition. Darüber hinaus verfolgen auch Norwegen und die Niederlande (jeweils 46 %) ein vergleichsweise großes Interesse an der Förderung der Energieeffizienz in der Industrie.

- Der Teilbereich *Sonstige Energieeffizienz* ist ein breit angelegtes Forschungsfeld, in welches u. a. die Abwärmerückgewinnung und -nutzung sowie Wärmepumpen und Kältemaschinen fallen. Hier ordnen Estland (45 %), Polen (36 %), Südkorea (34 %), die Slowakei (23 %), Österreich (22 %) und die Niederlande (22 %) einen Großteil ihrer Forschungsmittel ein.

Abbildung 6: Struktur der Energieforschungsbudgets für Verbesserungen im Bereich Energieeffizienz 2007-2009 und 2017-2019



Quelle: International Energy Agency, Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 09/2020. - Berechnungen des CWS.
EU-15: 2007-2009 ohne Belgien, 2017-2018 ohne Portugal

Die Europäische Union unterhält mit „Horizon 2020“ für den Zeitraum 2014 bis 2020 ein eigenes Förderprogramm für Forschung und Innovation.[16] In den IEA-Daten werden diesbezüglich die EU-Projektzuschüsse der Jahre 2014 bis 2019 berücksichtigt, die einen ausdrücklichen Bezug zu den FuE-Zielen im Energiebereich aufweisen. Im Durchschnitt wurden jährlich 1,38 Mrd. Euro bewilligt, wovon wiederum 85 % in die Bereiche der zukunftsorientierten Technologien flossen (entspricht im Mittel 1,18 Mrd. Euro). Innerhalb der ersten 6 Jahre des 7-jährigen Förderzeitraums lagen die Anteile für Energieeffizienz und für erneuerbare Energie bei jeweils exakt einem Viertel (25%). Innerhalb des Segments der erneuerbaren Energien ging der größte Anteil von EU-Projektzuschüssen in die Bereiche Solarenergie und Biokraftstoffe, wobei der Anteil für Biokraftstoffe rückläufig ist. Innerhalb des Segments der Energieeffizienz sind keine Schwerpunkte in den Zuschüssen erkennbar. Es folgen die zukunftsorientierten Segmente der sonstigen Stromerzeugungs- und Speichertechnologien (16 %) und der Querschnittthemen (12 %). Nicht unerwähnt sollte bleiben, dass weiterhin 11 % der EU-Projektzuschüsse für Energie der Erforschung der Nuklearenergie zugutekommen.

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 u. a. 2019) reichen bis zum Jahr 2017.[17]

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).

Um die Recherchemöglichkeiten für den Nutzer zu erleichtern, wurden die Projektvorhaben zum einen nach Umweltthemen (z. B. Klimawandel, Ressourceneffizienz, Umwelttechnik o. a.), zum anderen nach übergreifenden Umweltbereichen (Wasser, Abfall, Boden, Natur- und Landschaftsschutz, Nutzung und Erhaltung von Energie- und Rohstoffressourcen etc.[18]) klassifiziert.[19] In jüngerer Zeit ist bei UFORDAT eine grundlegende technische und inhaltliche Umstellung (erweiterte Klassifikation) vorgenommen worden. Inhaltlich hinzugekommen sind die Einzelthemen Klimawandel, Ressourcen, Urbane Umwelt und Verkehr, die zuvor in anderen Umweltbereichen miterfasst worden sind. Zudem wurde der Bereich Allgemeine und übergreifende Umweltfragen weiter differenziert (Umweltinformatik, Gesundheit, sozialwissenschaftliche Aspekte, Bildung und Kommunikation, Umweltprüfungen und –bewertungen).

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

[17] Für weiter zurückreichende Analysen vgl. Legler, Walz u. a. (2006) bzw. Schasse, Gehrke, Ostertag (2012).

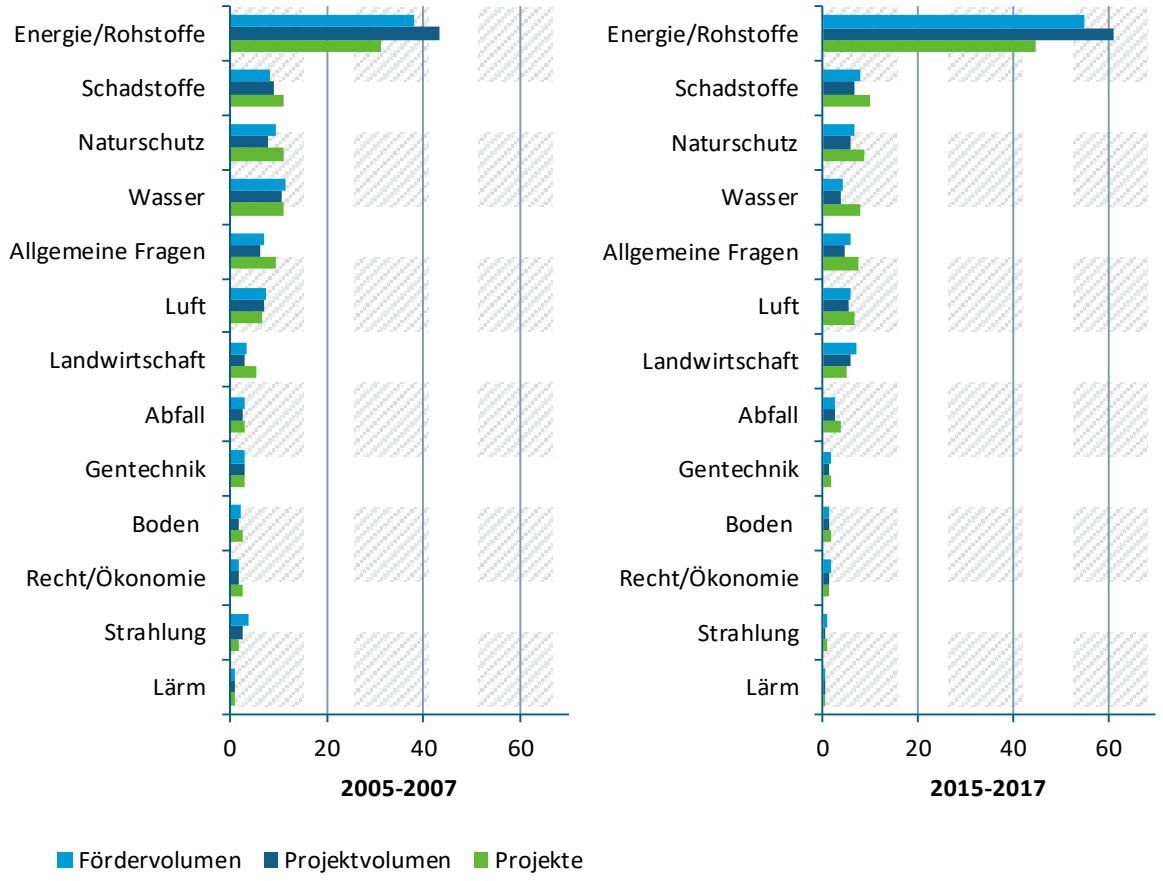
[18] In UFORDAT wurde vor der Umstellung zwischen 14 Umweltbereichen unterschieden (vgl. dazu Tabelle B. 4 in Anhang B). Im Rahmen der bisherigen Analysen für das Projekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ wurden die Themenfelder Umweltökonomie und Umweltrecht als ein Bereich zusammengefasst, so dass insgesamt 13 Umweltbereiche betrachtet wurden.

[19] Vgl. dazu auch https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/information-als-instrument/umweltforschungsdatenbank-ufordat (15.05.2021).

Diese Umstellung hat zu erheblichen Verzögerungen in der Datenerfassung geführt, da alle Meldungen rückwirkend neu klassifiziert werden müssen. Für die Jahre 2018 und 2019 ist diese Klassifizierung zum Zeitpunkt der Berichterstellung erst in Teilen umgesetzt, so dass an dieser Stelle auf eine Aktualisierung der Daten verzichtet wird. Stattdessen soll die Thematik mit erweiterter Klassifikation ausführlich im Folgebericht behandelt werden.

Als wesentliche Ergebnisse der bisherigen Analysen lässt sich festhalten, dass sich die vorne beschriebenen Gewichtungsverschiebungen in den globalen öffentlichen Forschungsbudgets in Richtung Klima- und Ressourcenschutz auch anhand der öffentlich geförderten Forschungsvorhaben in Deutschland nachweisen lassen. Der Strukturanteil des dafür relevanten Umweltbereichs *Energie/Rohstoffe* ist – von bereits sehr hohem Niveau aus startend – bei allen drei in UFORDAT erfassten Kennzahlen (Anzahl der Projekte[20], Projektvolumen, Fördervolumen) nochmals deutlich gestiegen und machte im Durchschnitt der Jahre 2015 bis 2017 rund 45 % der neu begonnenen Forschungsvorhaben, gut 60 % des Projektvolumens und 55 % der Fördermittel aus. Alle anderen Umweltbereiche erreichten demgegenüber bestenfalls höhere einstellige Quoten und haben – abgesehen vom Themenfeld Landwirtschaft – anteilsmäßig teils deutlich verloren. (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 in Gehrke u. a. (2019)

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

Im dominierenden Bereich Energie/Rohstoffe fällt die Förderquote[21] mit aktuell knapp 67 % (2015 bis 2017) am geringsten aus und bestimmt damit den relativ niedrigen Durchschnittswert über alle Forschungsfelder (74 %). Fast alle anderen Forschungsfelder weisen teils deutlich höhere Förderquoten auf. Dies gilt besonders für die Bereiche Strahlung, Boden, Allgemeine Fragen und Gentechnik mit Quoten über 90 %.

Innerhalb der Gruppe der durchführenden Institutionen liegt 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 29 % der Projekte und Fördermittel sowie 22 % des Projektvolumens, gefolgt von Instituten der Fraunhofer Gesellschaft und Einrichtungen der Helmholtz Gemeinschaft. 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 (2015 bis 2017: 88 %), wobei der weit überwiegende Teil der Mittel auf das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (39 %) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (35 %) entfällt (Gehrke u. a. 2019).

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

2.2.1 Weltweite öffentliche und private FuE-Investitionen in erneuerbare Energien

Seit Mitte des letzten Jahrzehnts finden sich in zwei jährlich erscheinenden Veröffentlichungen einige Eckzahlen zu den FuE-Investitionen der Wirtschaft nach Teilsegmenten erneuerbarer Energien. Dabei handelt es sich zum einen um den von Bloomberg New Energy Finance veröffentlichten Bericht zu Global Trends in Renewable Energy Investments (zuletzt FS-UNEP / BNEF 2020), zum anderen um den vom Renewable Energy Policy Network for the 21st Century herausgegebenen globalen Statusbericht zu Erneuerbaren Energien (zuletzt REN21 2020). Als Datenquelle wird von den Verfassern jeweils die Internationale Energieagentur (IEA), der Internationale Währungsfonds (IMF), verschiedene nationale Agenturen sowie eigene Erhebungen genannt.

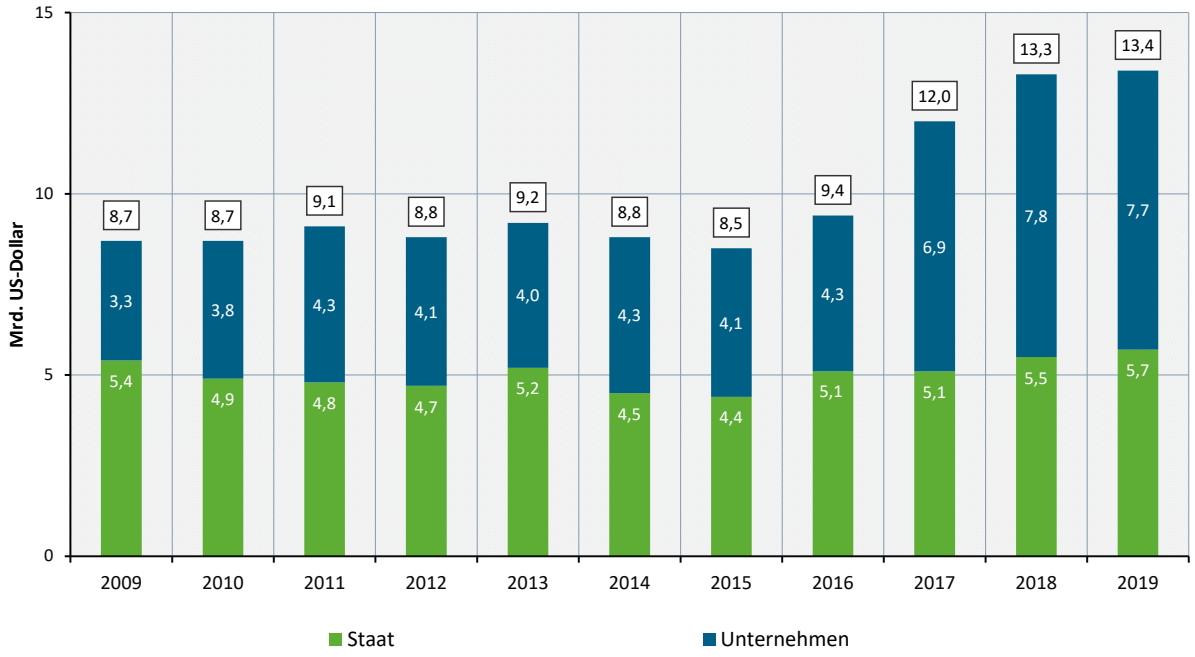
Im Jahr 2019 wurde bei den weltweiten öffentlichen und privaten FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien in Summe ein Höchstwert von 13,4 Mrd. US-Dollar erreicht. Davon entfielen 7,7 Mrd. US-Dollar auf private FuE-Investitionen und 5,7 Mrd. US-Dollar auf öffentliche Mittel (Abbildung 8). Vor allem 2017, aber auch 2018 sind die FuE-Investitionen der Unternehmen herausragend gewachsen und übersteigen seitdem klar die entsprechenden Investitionen von

[21] Die Förderquote ist der Anteil des Fördervolumens am gesamten Projektvolumen.

öffentlicher Seite. Der aktuelle Gesamtzuwachs gegenüber 2018 (+1 %) war jedoch ausschließlich dem öffentlichen Sektor zuzuschreiben (+4 %), da sich die FuE-Aufwendungen der Unternehmen 2019 leicht rückläufig entwickelt haben (-1 %).

Insgesamt haben sich die weltweiten FuE-Aufwendungen der Wirtschaft für erneuerbare Energien von 2009 (3,3 Mrd. US-Dollar) bis 2019 (7,7 Mrd. US-$) mehr als verdoppelt. Dies entspricht einem Zuwachs von 8,8 % pro Jahr. Hingegen ist bei den FuE-Investitionen des Staates im gleichen Zeitraum lediglich ein Zuwachs von 0,5 % pro Jahr zu verzeichnen ist. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Betrachtungsperiode mit dem Krisenjahr 2009 beginnt, in dem die FuE-Aufwendungen der Wirtschaft in den meisten Industrieländern gesunken sind (Schasse u. a. 2020), während die öffentliche Hand mit verstärkten FuE-Programmen, gerade auch im Hinblick auf umwelt- und klimafreundliche Innovationen, gegengesteuert hat.[22]

Abbildung 8: Weltweite staatliche und private FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien 2009 bis 2019



Quelle: REN21 (2020, Table R22) - Darstellung des CWS.

Das Gewicht einzelner Energieträger innerhalb der globalen FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien ist seit Jahren nahezu unverändert (Tabelle 2): An vorderster Front rangiert der Solarbereich mit der Hälfte der verausgabten Mittel (6,7 Mrd. US-Dollar im Jahr 2019). Auf den Windbereich entfielen 2019 mit 2,7 Mrd. US-Dollar rund 20 % der weltweiten öffentlichen und privaten FuE-Investitionen, gefolgt von Biokraftstoffen (1,8 Mrd. US-Dollar: 13 %).

Rund 1 Mrd. US-Dollar, d. h. rund 7 % der FuE-Mittel für erneuerbare Energien, wurde für den Bereich Biomasse und Abfall ausgegeben, 0,7 Mrd. US-Dollar (7 %) für kleine Wasserkraftwerke mit einer Leistung von höchstens 50 MW. Die geringsten Mittel entfallen auf FuE für Geothermie und Meerwasserkraftwerke mit jeweils 0,2 Mrd. US-Dollar im Jahr 2019. Am aktuellen Rand (2018/19) zeigen sich durchaus unterschiedliche Entwicklungen zwischen den Technologiesegmenten. So sind die FuE-Investitionen im Solarbereich nach Angaben von FS-UNEP / BNEF

[22] Im Bericht zu Global Trends in Renewable Energy Investments aus dem Jahr 2019 wird dies als „green stimulus period after the financial crisis“ (FS-UNEP / BNEF 2019, 35) bezeichnet.

(2020) 2018/19 um 1 % gestiegen, bei Biokraftstoffen und Geothermie um 2 %, während bei kleinen Wasserkraftwerken sogar ein Zuwachs von 29 % zu verzeichnen war. Hingegen ergibt sich im Windbereich ein deutliches Minus von 6 %, bei Meerwasserkraftwerken von 4 % und bei Biomasse von einem Prozent.

In den relativ ausgereiften Bereichen Solar und Wind wird FuE zu rund zwei Dritteln von der Wirtschaft finanziert. Hingegen wird in den anderen erneuerbaren Energien FuE überwiegend aus öffentlichen Mitteln finanziert.

Eine Differenzierung der globalen FuE-Aufwendungen nach ausgewählten Weltregionen wurde letztmals für das Berichtsjahr 2017 veröffentlicht (FS-UNEP / BNEF 2018, chapter 8). Danach entfielen gut 40 % der privaten FuE-Investitionen auf Asien und Ozeanien (ohne China), annähernd ein Drittel auf Europa, ein knappes Fünftel auf die USA und lediglich 2 % auf China (vgl. dazu ausführlicher Gehrke u. a. 2019). Die damals veröffentlichten Daten zu den globalen FuE-Investitionen der Wirtschaft gingen für das Jahr 2017 aber noch von einem Niveau von lediglich 4,9 Mrd. US-Dollar aus, das im Nachhinein deutlich nach oben korrigiert worden ist (6,9 Mrd. US-Dollar, vgl. Abbildung 8), ohne dass Informationen darüber vorliegen, inwieweit dies zu signifikanten Verschiebungen in der regionalen Verteilung der Mittel geführt hat.

Tabelle 2: FuE-Aufwendungen von Staat und Unternehmen in erneuerbare Energien nach Energieträgern 2019 und Veränderung gegenüber 2018

	Insgesamt in Mrd. US $	darunter von[2]		geschätzter Zuwachs 2019/18 in %
		Unternehmen	Staat	
FuE-Aufwendungen insgesamt	13,4	7,7	5,7	+1
nach Energieträgern				
Solar	6,7	4,5	2,2	+1
Wind	2,7	1,9	0,8	-6
Biokraftstoffe	1,8	0,4	1,4	+2
Biomasse und Abfall	1,0	0,3	0,7	-1
Kleine Wasserkraftwerke[1]	0,7	0,4	0,3	+29
Geothermie	0,2	0,04	0,2	+2
Meerwasserkraftwerke	0,2	0,05	0,15	-4

[1] mit einer Leistung von höchstens 50 MW (small hydro)

[2] Verteilung nach Energieträgern geschätzt

Quelle: REN21 (2020, chapter 5 & table 22); FS-UNEP / BNEF (2020, chapter 6). - Berechnungen des CWS.

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 zum Monitoring ihres Strategic Energy Technology (SET) Plans[23] auf eine neue Abgrenzung von insgesamt neun Schlüsselakti-

[23] Der SET Plan zielt darauf ab, die nachhaltige Transformation des europäischen Energiesystems auf karbonarme Technologien durch Innovation voranzutreiben (European Commission 2016).

onsfeldern geeinigt (European Commission 2016), für die im Rahmen eines spezifischen Informationssystems (SETIS) - neben öffentlichen Aufwendungen für Forschung und Innovation (FuI) und Patentaktivitäten - auch Schätzungen zu privaten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft bereitgestellt werden (Fiorini u. a. 2017a, Pasimeni u. a. 2018). Erste Ergebnisse hierzu wurden im zuletzt vorgelegten Bericht zum Innovationsmotor Umweltschutz präsentiert (Gehrke u. a. 2019) und werden an dieser Stelle auf Grundlage der derzeit vorliegenden Zahlen (Datenstand März 2021) aktualisiert.

Die so identifizierten energiebezogenen Schlüsselaktionsfelder umfassen

- 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: BEM[24])
- nachwachsende Kraftstoffe und Bioenergie (renewable fuels and bioenergy: RFB)
- Technologien zur CO_2-Abscheidung, Verwendung und Speicherung (carbon capture, utilization, and storage: CCUS)
- nukleare Sicherheit (nuclear safety: NS).

Der Unterschied zur früher verwendeten Klassifikation[25] liegt vor allem darin, dass die Felder stärker anwendungsbezogen als technologiebezogen definiert und damit auch breiter ausgerichtet sind. Dies mag auch der Grund dafür sein, warum hier nicht von Forschung und Entwicklung (FuE), sondern von Forschung und Innovation (FuI) im Sinne einer stärkeren Betonung der wirtschaftlichen Umsetzung der Forschungsergebnisse gesprochen wird.

Zur Schätzung der privaten FuI-Aufwendungen wird mangels entsprechender statistischer Daten 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. Fehlende Informationen zu den FuI-Aufwendungen werden mit Hilfe von durchschnittlichen technologiespezifischen Patentanmeldungen auf Grundlage der Y02-Klassifikation approximiert.[26] Diese weist aber einen geringeren Aktualitätsgrad auf (vgl. dazu auch Abschnitt 3), so dass sich die bei der Berichtserstellung vorliegenden Schätzungen auf das Jahr 2016 beziehen. Kritisch anzumerken ist zudem, dass zwar die regionale Verteilung der privaten FuI-Investitionen durch die Kenntnis der Aktivitäten führender Unternehmen recht gut abgebildet sein dürfte. Absolute Werte sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da

[24] In der ausführlichen Beschreibung umfasst dieses Feld „Batterien für E-Mobilität und stationäre Speicherung" (Fiorini et al. 2017b).

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

[26] Zur Methodik vgl. ausführlich Pasimeni u. a. (2019).

die Schätzungen fehlender FuI-Angaben auf Basis von Patentinformationen mit hohen Unsicherheiten verbunden sind.[27]

In Gehrke u. a. (2019) konnten Ergebnisse zu den privaten FuI-Aufwendungen für den Zeitraum 2008 bis 2014 präsentiert werden. Die auf der SETIS-Website[28] Anfang 2020 veröffentlichten Schätzdaten für alle Mitgliedsstaaten wie auch für die EU insgesamt reichen bis 2016, wobei die Werte für frühere Jahre teils erheblich revidiert worden sind. Nach aktuellem Datenstand erreichten die EU-weiten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft für alle energiebezogenen Aktionsfelder im Jahr 2016 annähernd 15 Mrd. Euro (Tabelle 3). Davon entfielen fast 98 % auf die explizit ausgewiesenen größeren Länder, darunter fast 52 % auf Deutschland.[29] Erst mit weitem Abstand folgen Frankreich (10,4 %) und Großbritannien (6,4 %) (Tabelle 3). 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 (2016: 32 %[30]). Das Gleiche gilt weniger ausgeprägt auch für Dänemark, die Niederlande, Großbritannien und Finnland. Für Österreich und Schweden zeigen sich kaum Unterschiede. Hingegen fällt der Beitrag der Wirtschaft zu den EU-weiten energiebezogenen FuI-Aufwendungen in Belgien, Frankreich, Italien und Polen merklich geringer aus als ihr Beitrag zu den gesamten FuE-Aufwendungen der Wirtschaft.

Im EU-Durchschnitt dominieren weiterhin die Aktionsfelder *Batterien und E-Mobilität* (BEM: 21,6 %), *Energieeffizienz in der Produktion* (EEI: 20,2 %) und *erneuerbare Energietechnologien* (RET: 19,5 %). Im Mittelfeld liegen *intelligente Konsumentenlösungen* (SSC: 14,1 %) und *nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie* (RFB: 13,5 %). Von vergleichsweise geringer Bedeutung innerhalb der energiebezogenen FuI-Aufwendungen der EU-Wirtschaft sind demgegenüber *integrierte und flexible Energiesysteme* (IFES: 6 %) und insbesondere *Energieeffizienz in Gebäuden* (EEB: 2,1 %), *nukleare Sicherheit* (NS: 1,7 %) und Technologien zur *CO_2-Abscheidung, Verwendung und Speicherung* (CCUS: 1,2 %).

Bedingt durch das hohe Strukturgewicht des Kraftfahrzeugbaus sind die FuI-Aufwendungen der deutschen Wirtschaft besonders stark auf das Aktionsfeld *Batterien und E-Mobilität* (BEM: 30 %) konzentriert. Darüber hinaus ergibt sich noch ein leicht überdurchschnittlicher Strukturanteil bei *erneuerbaren Energietechnologien* (RET: 21,3 %). In den meisten anderen Aktionsfeldern bleiben die deutschen Anteile nur wenig hinter dem EU-Durchschnitt zurück, so z. B. bei *Energieeffizienz in der Produktion* (EEI: 19,3 %), *integrierten und flexiblen Energiesystemen* (IFES: 5,7 %) oder auch *nachwachsenden Kraftstoffen/Bioenergie* (RFB: 11,8 %). Lediglich bei *intelligenten Konsumentenlösungen* (SSC: 8,7 %) ist aus der deutschen Perspektive eine klare Unterspezialisierung zu beobachten. Für die anderen Mitgliedsländer zeigen sich teils deutlich andere Spezialisierungsprofile. *Schweden* hat einen herausragenden FuI-Schwerpunkt bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC). *Österreich* zeigt Spezialisierungsvorteile bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC) sowie Batterien und E-Mobilität (BEM).

[27] Vgl. dazu ausführlich Wiesenthal u. a. (2009).

[28] https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-reseach-and-innovation-data_en (zuletzt abgerufen am 02.08.2021).

[29] Explizit ausgewiesen sind nur diejenigen Mitgliedsländer (insgesamt 12), auf die 2016 ein Anteil von mindestens 1 % der FuI-Aufwendungen der Wirtschaft in den EU-28 insgesamt entfallen ist.

[30] 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).

Tabelle 3: Anteile einzelner Länder an den gesamten FuI-Aufwendungen der Wirtschaft in den SET Plan Schlüsselaktionsfeldern 2016

Land	Insgesamt		Anteile einzelner Aktionsfelder an den länderweisen FuI-Aufwendungen im Energiebereich insgesamt in %								
	abs. (Mio. €)	Anteil in %	RET	SSC	IFES	EEB	EEI	BEM	RFB	CCUS	NS
AUT	540	3,6	5,0	28,9	3,6	2,1	12,5	33,5	13,4	1,0	0,0
BEL	177	1,2	14,3	21,0	4,1	0,7	25,1	18,2	13,8	2,8	0,0
DEN	751	5,0	37,6	5,1	2,4	1,8	20,8	0,4	31,6	0,2	0,0
FIN	435	2,9	11,4	24,2	2,5	1,5	28,3	7,2	21,7	1,5	1,9
FRA	1.562	10,4	11,6	13,1	12,8	3,1	17,0	21,0	14,5	1,9	5,0
GER	7.745	51,7	21,3	8,7	5,7	1,3	19,3	29,8	11,8	1,1	1,0
ITA	537	3,6	23,3	22,2	7,9	2,7	22,5	7,6	10,7	3,1	0,0
NED	719	4,8	14,4	23,3	1,6	2,5	39,0	1,1	13,6	4,6	0,0
POL	276	1,8	27,5	15,4	5,3	10,5	24,6	0,0	16,7	0,0	0,0
ESP	271	1,8	47,3	6,1	4,6	1,6	17,2	10,1	8,4	0,0	4,7
SWE	678	4,5	10,6	42,9	4,9	2,4	11,2	13,3	12,7	0,0	1,9
GBR	956	6,4	16,3	24,2	5,8	3,9	21,0	17,1	7,5	0,8	3,4
übrige	332	2,2	14,9	7,2	11,5	5,6	26,3	4,8	19,9	0,0	9,7
EU-28	14.980	100,0	19,5	14,1	6,0	2,1	20,2	21,6	13,5	1,2	1,7

Quelle: Pasimeni u. a. 2018, aktualisierter Datenstand März 2021 – Berechnungen des CWS.

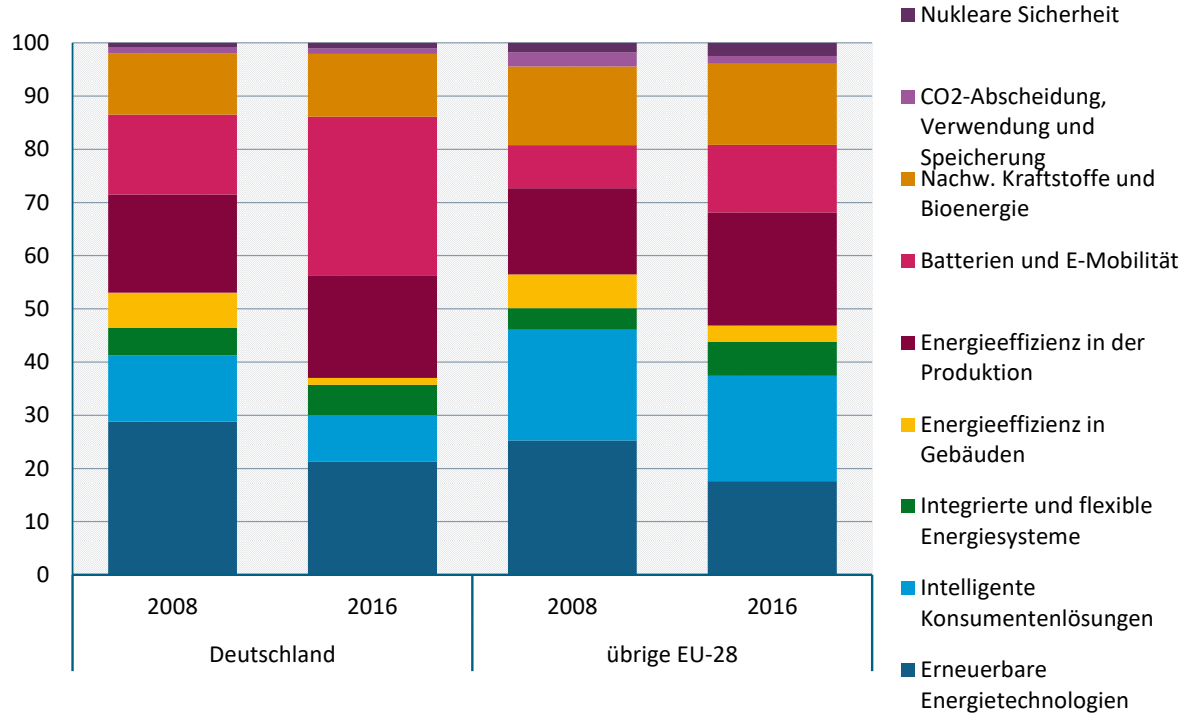
Belgien, Finnland und *die Niederlande* sind ebenfalls auf intelligente Konsumentenlösungen (SSC) spezialisiert, weisen aber jeweils auch bei Energieeffizienz in der Produktion (EEI) überdurchschnittlich hohe FuI-Anteile auf. In *Belgien* und *den Niederlanden* sind zudem Technologien zur CO_2-Abscheidung, Verwendung und Speicherung (CCUS) vergleichsweise stark vertreten, in *Finnland* nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie (RFB). *Frankreich* setzt einen FuI-Fokus auf integrierte und flexible Energiesysteme (IFES) sowie auf nukleare Sicherheit (NS). *Großbritannien* hat ebenfalls einen überdurchschnittlich hohen Anteil bei nuklearer Sicherheit, hinzu Spezialisierungsvorteile bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC) und Energieeffizienz in Gebäuden (EEB). *Spanien, Dänemark* und etwas weniger ausgeprägt auch *Polen* und *Italien* weisen klare FuI-Schwerpunkte bei erneuerbaren Energietechnologien (RET) auf. *Dänemark* ist darüber hinaus noch bei nachwachsenden Kraftstoffen und Bioenergie (RFB) überdurchschnittlich vertreten, *Spanien* bei nuklearer Sicherheit (NS), *Italien* bei intelligenten Konsumentenlösungen (SSC) sowie CCUS-Technologien und *Polen* vor allem bei Energieeffizienz in Gebäuden (EEB), aber auch bei Energieeffizienz in der Produktion (EEI) sowie bei nachwachsenden Kraftstoffen/Bioenergie (RFB).

Da das Bild für die EU-28 insgesamt sehr stark von den deutschen Stukturen geprägt ist, wird in Abbildung 9 die deutsche Verteilung der FuI-Aufwendungen der Wirtschaft im Vergleich zur übrigen EU-28 (ohne Deutschland) in den Referenzjahren 2008 und 2016 betrachtet.

Dabei tritt das hohe Gewicht des Aktionsfeldes *Batterien und E-Mobilität* in Deutschland (2016: 30 % gegenüber 13 % in den übrigen EU-28) deutlich stärker hervor als in Tabelle 3. Zudem wird deutlich, dass die Forschungs- und Innovationsanstrengungen in diesem Aktionsfeld in beiden Vergleichsregionen in der Betrachtungsperiode überproportional ausgeweitet worden sind[31], in Deutschland aber bereits 2008 mit 15 % einen sehr viel höheren Anteil an den gesamten energiebezogenen FuI-Aufwendungen ausgemacht haben als in der übrigen EU-28 (8 %). Der relative Bedeutungsgewinn von Batterien und E-Mobilität in Deutschland schlägt sich in Verlusten bei *erneuerbaren Energietechnologien, intelligenten Konsumentenlösungen* und *Energieeffizienz in Gebäuden* nieder: In allen drei Aktionsfeldern fallen die Anteile 2016 mindestens ein Drittel niedriger aus als 2008, wohingegen bei den übrigen Aktionsfeldern kaum Veränderungen feststellbar sind.

In den übrigen EU-28 haben im Vergleich der Jahre 2008 und 2016 - neben Batterien und E-Mobilität – *Energieeffizienz in der Produktion, integrierte Energiesysteme* sowie *nukleare Sicherheit* strukturell an Bedeutung gewonnen. Hier gingen die Verluste fast ausschließlich zu Lasten von *erneuerbaren Energietechnologien und Energieeffizienz in Gebäuden* (Abbildung 9).

Abbildung 9: FuI-Aufwendungen nach SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern 2008 und 2016: Deutschland und übrige EU-28 insgesamt im Vergleich (Anteile in %)



Quelle: Pasimeni et al. 2018, aktualisierter Datenstand März 2021 – Berechnungen des CWS.

Für die hohe Bedeutung der privaten Forschungsaufwendungen bei *Batterien und E-Mobilität* in Deutschland ist vor allem der Automobilsektor verantwortlich. Ähnliches gilt für das Aktionsfeld

[31] Hierbei handelt es sich nicht nur um relative, sondern auch um absolute Zuwächse, da die gesamten energiebezogenen FuI-Aufwendungen der Wirtschaft nach Pasimeni u. a. (2018) in Deutschland (der übrigen EU-28) 2016 rund 15 % (8 %) höher waren als 2008.

nachwachsende Kraftstoffe/Bioenergie, wo die Diskrepanz zwischen dem deutschen Anteil an den privaten FuE-Aufwendungen der EU-28 und dem deutschen Anteil an den entsprechenden öffentlichen FuI-Aufwendungen (öffentliche FuI: 10 %; private FuI: 45 %) besonders groß ist (Tabelle 4). Hierin spiegeln sich einerseits die Anforderungen an die Automobilproduzenten wider, bei konventionellen Antriebstechnologien die Effizienzgrade zu verbessern und die Emissionen zu senken, andererseits aber auch die (bereits vor mehreren Jahren vorliegenden) Erwartungen, dass die Nachfrage nach Batterien und E-Mobilität nicht zuletzt infolge politischer Zielsetzungen deutlich steigen wird (IEA 2018b). Zudem werden an der Gegenüberstellung in Tabelle 4 die Unterschiede zwischen der stärker anwendungsbezogenen Definition der EU-Schlüsselaktionsfelder und der technologiebezogenen IEA-Definition (IEA 2020b) besonders deutlich: In letzterer, die im SETIS für die Berechnung der öffentlichen FuI-Aufwendungen herangezogen wird, wird das Feld Batterien und E-Mobilität gar nicht separat ausgewiesen (vgl. Abschnitt 2.1.2).

Tabelle 4: Forschungs- und Innovationsindikatoren für Deutschland in den SET PLAN Schlüsselaktionsfeldern der EU 2016

	Anteil an den EU-28 in %	
	Öffentliche FuI	**FuI in der Wirtschaft**
Erneuerbare Energietechnologien	30	56
Intelligente Konsumentenlösungen	13	32
Integrierte und flexible Energiesysteme	21	49
Energieeffizienz in Gebäuden	39	31
Energieeffizienz in der Produktion	28	49
Batterien und E-Mobilität	-	72
Nachwachsende Kraftstoffe und Bioenergie	10	45
CO_2-Abscheidung, Verwendung und Speicherung (CCUS)	28	43
Nukleare Sicherheit	18	30

Quelle: Pasimeni et al. 2018, aktualisierter Datenstand März 2021 – Darstellung des CWS.

2.2.3 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 (BRDIS[32]) ab Berichtsjahr 2008 auch erfragt, wie viel der unternehmerischen FuE-Ausgaben in Energieanwendungen (Produktion, Verteilung, Speicherung und Effizienzsteigerung[33]) oder Umweltschutzanwendungen[34] fließt. Diese Informationen liegen aktuell differenziert nach Wirtschaftszweigen und Betriebsgrößenklassen in vergleichbarer Form für die Jahre 2010 bis 2018 vor. Befragt wurden bis einschließlich 2016 alle Unternehmen mit mindestens 5 Beschäftigten; 2017 wurde diese Grenze auf 10 Beschäftigte heraufgesetzt.[35]

Im Jahr 2018 haben US-Unternehmen aus eigenen Mitteln rund 23,3 Mrd. US-$ für Energieanwendungen und annähernd 8 Mrd. US-$ für Umweltschutzzwecke aufgewendet. Hinzu kamen 3,7 Mrd. US-$ (1,8 Mrd. für Energie- und 1,9 Mrd. für Umweltschutzanwendungen) aus externen Finanzierungsquellen. In der Forschung für Umweltschutzanwendungen haben die US-Unternehmen mit 18 % aller FuE-Mittel im Jahr 2018 demnach deutlich stärker auf externe Finanzierungsquellen zurückgegriffen als im Bereich Energieforschung (8 %).

Der Anteil der internen FuE-Aufwendungen für Anwendungen im Energiebereich an den gesamten internen FuE-Aufwendungen der Wirtschaft lag 2018 bei 6,2 %; für Umweltschutzzwecke wurden 2,1 % der FuE-Mittel verausgabt. Damit ergaben sich 2018 die gleichen Strukturanteile wie 2017 (Tabelle 5).

Seit 2010 haben sowohl der Energie- als auch der Umweltschutzbereich innerhalb der gesamten FuE der US-Wirtschaft klar an Gewicht verloren. Dabei zeigen sich aber unterschiedliche Entwicklungen. 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 gegenüber 2010 anteilmäßig klar verloren hat.

Grundsätzlich bestätigt sich aber auch auf Seiten der Unternehmen die strukturelle Gewichtungsverschiebung zugunsten energie- und zulasten umweltschutzspezifischer FuE, die sich in ähnlicher Weise bei der Entwicklung der staatlichen FuE-Budgets der USA zeigt. Anders als bei den Unternehmen sind die staatlichen Ausgaben für FuE im Energiebereich seit 2015 allerdings überproportional ausgeweitet worden (vgl. Tabelle 1 in Abschnitt 2.1.1).

Bemerkenswert ist, dass kleine und mittlere Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten (KMU) fast durchgängig höhere Anteile ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen verausgaben als größere Unternehmen. Nur im Energiebereich trifft dieses Ergebnis am aktuellen Rand (2018) nicht mehr zu. Dort waren die FuE-Anstrengungen von KMU zwischenzeitig (2014/15), anders als bei größeren Unternehmen, noch überdurchschnittlich ausgeweitet worden. Seit 2016 fällt die Quote aber wieder deutlich niedriger aus und ist 2018 nochmals deutlich zurückgegangen (Tabelle 5).

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

[33] Die entsprechende Formulierung im BRDIS-Fragebogen lautet: „What percentage of the (R&D) amount (…) had energy applications, including energy production, distribution, storage, and efficiency (excluding exploration and prospection)?" Siehe dazu Frage 4-7 im Fragebogen 2016 https://www.nsf.gov/statistics/srvyindustry/about/brdis/surveys/srvybrdis-2016-BRDI-1.pdf

[34] In Frage 4-8 heißt es " What percentage of the amount (…) had environmental protection applications, including pollution abatement?" Vgl. ebenda.

[35] Die Daten sind auf der Homepage der National Science Foundation (NSF, o. J.) unter https://www.nsf.gov/statistics/tables-by-survey.cfm zum Download verfügbar.

Tabelle 5: Anteil interner FuE-Ausgaben US-amerikanischer Unternehmen für Energie- und Umweltschutzanwendungen an allen internen FuE-Ausgaben 2010 bis 2018

Anwendungsbereich	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
2016	6,4	7,5	6,3	2,3	2,6	2,3
2017	6,2	7,2	6,1	2,1	2,5	2,0
2018	6,2	5,9	6,2	2,1	2,5	2,1

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

3 Patentanmeldungen im Umweltschutz

3.1 Methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Patentindikatoren

In Fortführung der Berichtreihe „Innovationsmotor Umweltschutz“ wird die Innovationsleistung der deutschen Umweltwirtschaft im internationalen Vergleich wie schon im vorangegangenen Bericht (Gehrke u. a. 2019) anhand verschiedener Umweltbereiche dargestellt. Diese sind angelehnt an die Klassifikation CEPA und CReMA von Eurostat.

- Luftreinhaltung
- Lärmschutz
- Abwasser
- Wassermanagement
- Sanierung von Boden, Grund- und Oberflächenwasser
- Abfallwirtschaft, unterteilt in
  - Abfall
  - Recycling allgemein
- Recycling, darunter
  - Recycling von Kunststoff
  - Recycling von Metallen und Mineralstoffen
- Mess-, Steuer- und Regeltechnik für den Umweltschutz
- Klimaschutz, unterteilt in
  - Erneuerbare Energien
  - Rationelle Energieumwandlung
  - Rationelle Energieverwendung

Jeder Umweltbereich ist mit einer Reihe von Technologielinien hinterlegt[36]. Die Gesamtheit (inkl. Klimaschutztechnologien) wird als „Umwelttechnologien“ oder („Umwelt“) ausgewiesen. Zusätzlich zu Umwelt*technologien* werden umweltfreundliche Güter (adapted Goods) dargestellt[37]. Dies erfolgt aus methodischen Gründen bisher nur für drei Umweltbereiche, nämlich für Luftreinhaltung, erneuerbare Energien und Recycling.

Neu in diesem Bericht ist die erweiterte Betrachtung von Energieeffizienztechnologien. Im Jahr 2018 hat die EU das „energy efficiency first principle“ gesetzlich verankert (Europäische Union 2018). Sie erkennt damit die großen und unverzichtbaren Beiträge dieser Technologien zu den

[36] Eine detaillierte Darstellung der Umweltbereiche und zugehörige Technologielinien ebenso wie die Zuordnung der Umweltbereiche zur CEPA-/CReMA-Klassifikation findet sich im Anhang A.1.

[37] Zur Definition und Abgrenzung umweltfreundlicher Güter gegenüber Umwelttechnologien s. Gehrke u. a. (2019), S. 84f.

klimaschutz- und energiepolitischen Zielen der EU an. Gleichzeitig fordert sie größere Anstrengungen auf diesem Gebiet, um die Energieeffizienzziele der EU zu erreichen (European Commission 2020; EEA 2020). Auch in Deutschland hat Energieeffizienz hohe Priorität in der Klima- und Energiepolitik und ist mit quantitativen politischen Zielen hinterlegt (BMWi 2019). Die Entwicklungen werden regelmäßig u. a. vom BMWi in der Reihe „Energieeffizienz in Zahlen" berichtet (siehe u. a. BMWi 2020). Deshalb soll die Berichtlegung im Bereich Energieeffizienz-Patente erweitert werden. Dies geschieht in Abschnitt 3.3.[38]

Wie in Abschnitt 2.2.2 bereits erwähnt, stellt die EU im Rahmen von SETIS für neun energietechnische Schlüsselaktionsfelder bereits Patentindikatoren bereit. Der Vorteil einer eigenständigen Patentanalyse für Energietechnologien im Rahmen der vorliegenden Untersuchung liegt u. a. darin, dass der Untersuchungsgegenstand besser auf das Erkenntnisinteresse dieser Studie abgestimmt werden kann (s. Details dazu in Abschnitt 3.3), dass Vergleiche auch mit Ländern außerhalb der EU möglich sind und dass der aktuelle Rand der Daten bei 2018 liegt (gegenüber derzeit 2016 bei SETIS[39]).

Die Datenquellen, Schätzmethoden und Indikatoren sind in Gehrke u. a. (2019) detailliert dargestellt. Hervorgehoben sei an dieser Stelle nochmals, dass die Analyse auf Basis transnationaler Patentanmeldungen erfolgt und überwiegend auf Patente abstellt, die in mehreren Ländern im Ausland zum Schutz angemeldet werden. Insbesondere werden Patentanmeldungen, die nur am heimischen Patentamt angemeldet werden, nicht in die Betrachtung einbezogen. Dies ist ein etabliertes Vorgehen, um bevorzugt hochwertige Patente zu berücksichtigen, an die hohe Markterwartungen von Seiten der Anmelder gestellt werden. Gleichzeitig werden dadurch Unterschiede in der Zahl der Patentanmeldungen, die sich allein auf Größenunterschiede zwischen Volkswirtschaften zurückführen lassen, etwas abgemildert. Die Studie von Breitinger u. a. (2020) zu Weltklassepatenten u. a. im Bereich Umwelt geht bei ihrer Definition von „Weltklassepatenten" allerdings noch weiter und wertet sowohl die Marktabdeckung als auch die technologische Relevanz (u. a. anhand der Bezugnahme der Patentprüfer auf ein bestimmtes Patent). Die Vergleichbarkeit mit den hier präsentierten Ergebnissen wird außerdem dadurch erschwert, dass die Technologiegruppen andere Technologien enthalten als die hier verwendeten Umweltbereiche[40]. Schließlich betrachten Breitinger u. a. (2020) nicht neue Patentanmeldungen, sondern die zum jeweiligen Betrachtungszeitraum „aktiven" i. S. v. rechtsgültigen Patente. Soweit dennoch sinnvoll, werden an geeigneter Stelle im Folgenden Bezüge zu dieser Studie hergestellt.

Die Erhebung basiert aus der Inhouse-Version des Fraunhofer ISI der PATSTAT-Datenbank in der Version PATSTAT 20s. Der aktuelle Rand der Daten liegt hier an sich bei 2018. Soweit die Suchstrategien jedoch auf der Y-Klassifikation beruhen, sind die aktuellen Daten ein Jahr älter und wurden für 2018 geschätzt. Es werden Verläufe über die Zeit analysiert und Zeitscheiben verglichen. Die Betrachtung von Zeitscheiben (5 Jahre) an Stelle einzelner Jahre reduziert zufällige Schwankungen. Auch die Analyse der aktuellen Werte greift deshalb auf einer Zeitscheibe zurück (2014 - 2018).

[38] Die neu ausgewiesenen Energieeffizienz-Teilbereiche sind in der Gesamtheit „Umwelttechnologien" und im Aggregat „Klimaschutz" noch nicht enthalten. Eine Änderung wird für die nächste Aktualisierung geprüft.

[39] s. https://setis.ec.europa.eu/system/files/2021-04/ri-action-dashboard.xlsx (zuletzt abgerufen am 02.08.2021)

[40] So umfasst „Umwelt" bei Breitinger u. a. (2020) zum Beispiel Abfallwirtschaft, Recycling, Nachhaltige Verpackungen, Wasseraufbereitung und CO2-Abscheidung/-speicherung und ist deshalb mit „Umwelttechnologien" in dieser Studie nicht vergleichbar.

3.2 Ergebnisse der Patentindikatorik im Umweltschutz

Zunächst wird die Dynamik der technologischen Entwicklung in Deutschland, weltweit und z. T. in verschiedenen Ländern diskutiert. Danach folgt eine Diskussion der Patentanteile der Länder und der Spezialisierungsmuster.

3.2.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei potenziellen Umwelttechnologien

Zur Analyse der Dynamik der technologischen Entwicklung im Bereich der Umwelttechnologien wird im Folgenden auf die Anzahl der Patentanmeldungen abgestellt. Um die Entwicklungen quantitativ einzuordnen, werden die Dynamiken in Deutschland und in den einzelnen Technologiebereichen jeweils mit der weltweiten Entwicklung und der allgemeinen technologischen Entwicklung verglichen. Die Diskussion ist gegliedert nach Umwelttechnologien und verschiedenen Teilbereichen, insbesondere Klimaschutztechnologien und Technologien im Bereich Recycling und Abfallwirtschaft. Umweltfreundliche Güter ("adapted goods") werden separat analysiert.

Die Dynamik der Klimaschutztechnologien in Deutschland wird in der Abbildung 10 anhand der Zahl der jährlichen Patentanmeldungen dargestellt. Es werden Patente zur Rationellen Energieverwendung, zur Rationellen Energieumwandlung und zu Erneuerbaren Energietechnologien betrachtet. Diese drei Technologiegruppen werden zusammen als Klimaschutztechnologien zusammengefasst bzw. aggregiert, wobei die Erneuerbaren Energien mit einem Anteil von ca. drei Vierteln die Anmeldungen im Klimaschutz deutlich dominieren[41]. Bei einem Vergleich mit der allgemeinen technologischen Entwicklung (Patentanmeldungen für "Alle Technologien") zeigt sich, dass die Patentanmeldungen im Klimaschutzbereich (Aggregat "Klimaschutz") trotz der seit 2011 sinkenden Entwicklung[42] im gesamten Betrachtungszeitraum 1991-2018 relativ hohe Zuwachsraten verzeichnet haben. Die Dynamik der Klimaschutzteilbereiche Erneuerbare Energien, Rationelle Energieverwendung und Rationelle Energieumwandlung ähnelt (qualitativ gesehen) der Dynamik des Klimaschutzaggregats. Es bestehen jedoch signifikante quantitative Unterschiede. Erneuerbare Energien verzeichnen mit einem Anstieg um das Siebzehnfache zwischen 1991 bis 2011 eine deutlich höhere Zuwachsrate bei den Patentanmeldungen im Vergleich zu dem Aggregat "Klimaschutz". Nach dem starken Einbruch der erneuerbaren Energien in der Periode 2011-2015 sinken ihre Patentanmeldezahlen in der Periode 2016-2018 nun etwas langsamer. Das Absinken insbesondere der Photovoltaik-Patente wird in diesen Jahren durch die Erholung bei Windenergiepatenten abgefedert (s. weiter unten). Am Ende des Betrachtungszeitraums liegen die Patente für Erneuerbare Energien auf ungefähr dem neunfachen Niveau des Jahres 1991 und verzeichnen damit insgesamt im Vergleich zum Klimaschutzaggregat ("Klimaschutz") und zu der allgemeinen technologischen Entwicklung ("Alle Technologien") über die gesamte Betrachtungsperiode gesehen sehr hohe Zuwachsraten. Die anderen beiden Klimaschutzbereiche, Rationelle Energieverwendung und Rationelle Energieumwandlung, weisen im Vergleich mit den Erneuerbaren Energien über die gesamte Betrachtungsperiode deutlich niedrigere Zuwachsraten auf. Zudem ist die Entwicklung in diesen beiden Bereichen seit 2016 schwächer als die allgemeine technologische Entwicklung ("Alle Technologien").

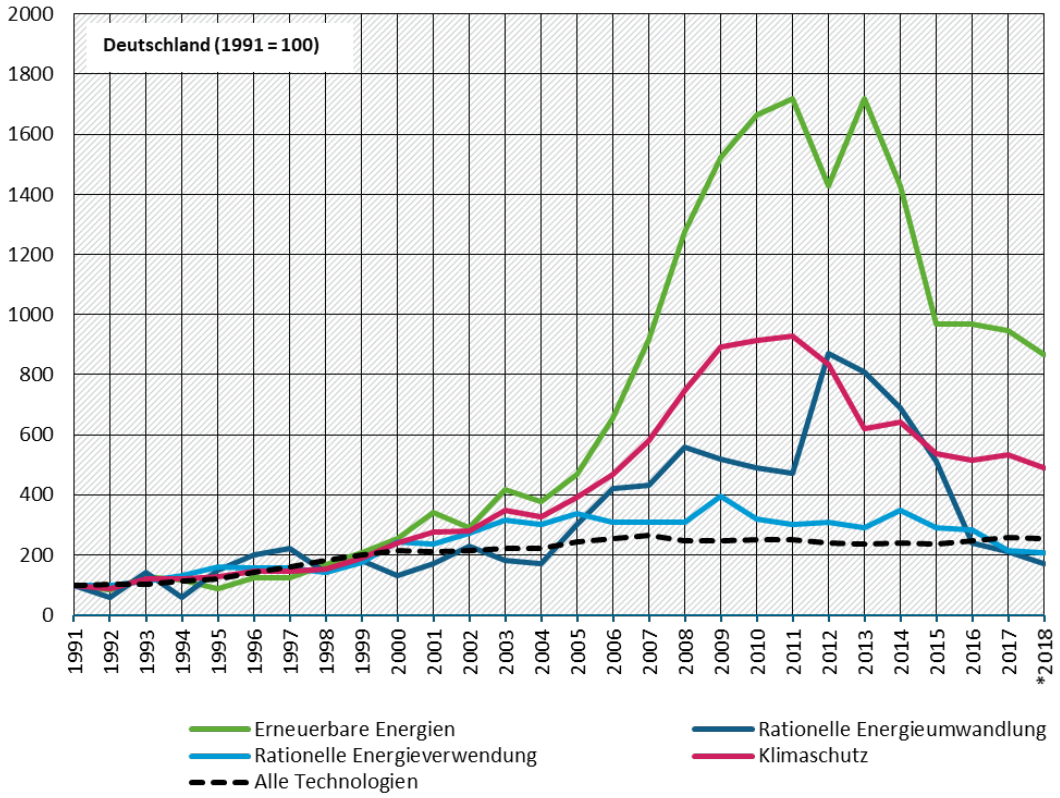
Für das aktuell positivere Gesamtbild bei den Erneuerbaren Energien in Deutschland ist die Entwicklung bei Windenergie maßgeblich: Die Windenergiepatente steigen in Deutschland seit 2015 wieder und haben im Jahr 2016 die Anzahl der PV-Patente überholt. Windenergiepatente

[41] Innerhalb der Erneuerbaren Energien sind die Technologielinien Photovoltaik, Windenergie und Solarthermie quantitativ am bedeutsamsten.

[42] In früheren Analysen wurde die rückläufige Entwicklung ab 2011 auf weltweiter Ebene mit sinkenden FuE-Ausgaben in Zusammenhang gebracht, während dieser Zusammenhang für Deutschland weniger offensichtlich erschien, aber auch nicht ausgeschlossen werden konnte (vgl. Gehrke u. a. 2015, 2018).

machen inzwischen (Stand 2018) fast 60 % aller Erneuerbare-Energien-Patente in Deutschland aus. An zweiter Stelle folgt mit viel Abstand die Photovoltaik.

Abbildung 10: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz und Teilbereiche

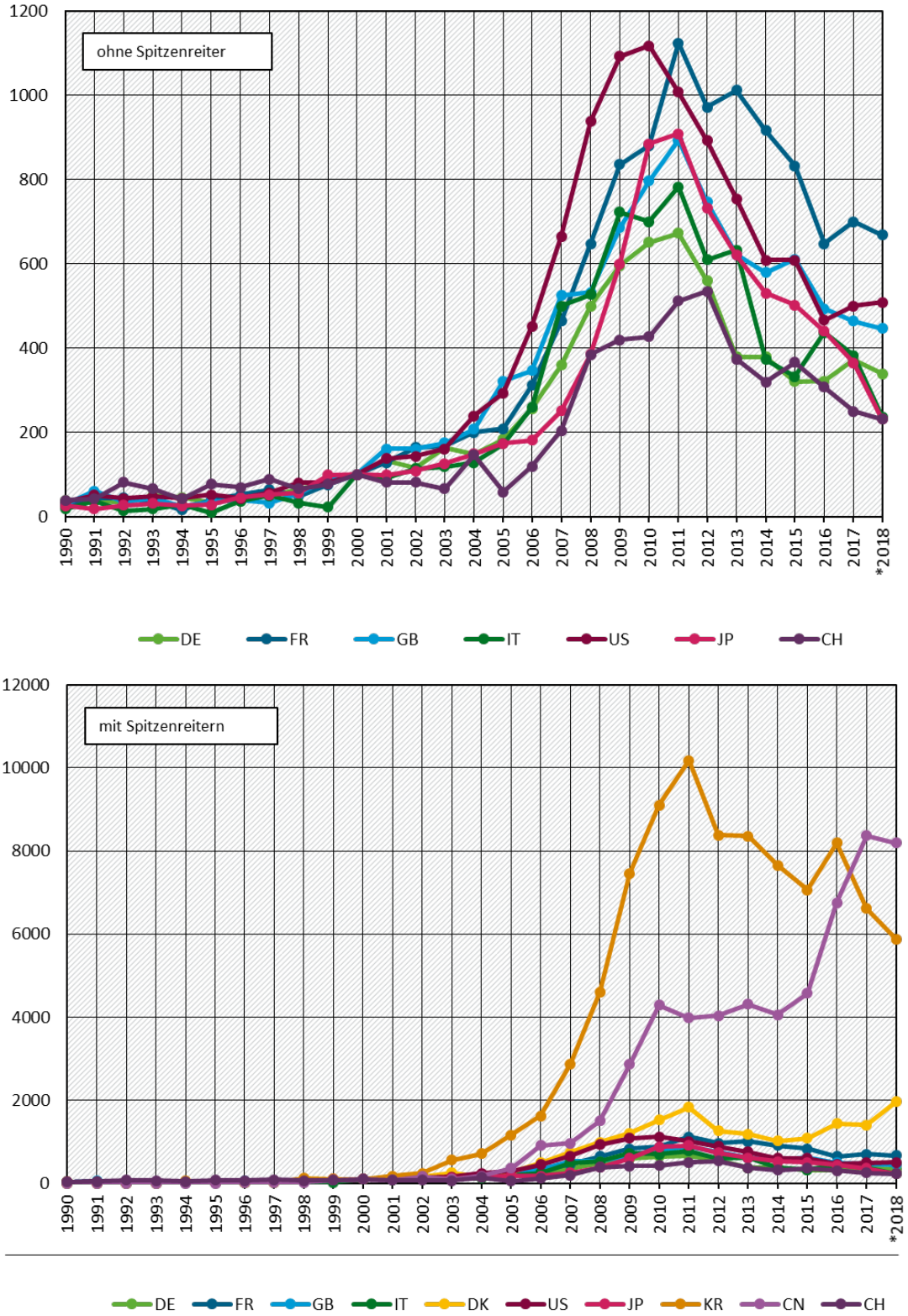


*geschätzte Werte. Bei der Rationellen Energieumwandlung gab es einen Bruch in der Systematik, da in der Klassifikation Y02E50 im Jahr 2020 zwei Untergruppen zur KWK aufgelöst und der Y02E50/10 zugeordnet wurden, die „Biofuels" insgesamt umfasst. Die Änderung ist rückwirkend für den gesamten Betrachtungszeitraum gültig[43].
Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Ein internationaler Blick auf den Klimaschutzteilbereich "Erneuerbaren Energien" relativiert jedoch das Bild der relativ positiven Entwicklung Deutschlands in diesem Bereich (siehe Abbildung 11 unten). China und Korea weisen in den 2000er Jahren um ein Vielfaches höhere Zuwachsraten bei den Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien auf als Deutschland - und auch als alle anderen in Abbildung 11 betrachteten Länder. Während China und Dänemark ab Mitte der 2010er Jahre wieder hohe Zuwachsraten in diesem Bereich verzeichnen, spiegelt die Dynamik der Erneuerbare-Energien-Patentanmeldungen seitens Korea und der übrigen in Abbildung 11 betrachteten Länder (darunter auch Japan und USA) die bereits in Abbildung 10 für Deutschland dargestellte Entwicklung wider: das starke Wachstum in den 2000er Jahren wird gefolgt von einem starken Rückgang in den 2010er Jahren. Somit ist die seit 2012 beobachtbare rückläufige Entwicklung der deutschen Patentanmeldezahlen im Bereich der Erneuerbaren Energien nicht ein rein nationales bzw. standortspezifisches Phänomen (in Deutschland und Europa), sondern hat eher globalen Charakter.

[43] Dies erklärt den abweichenden Verlauf der Kurve „Rationelle Energieumwandlung" ggü. dem Vorgängerbericht (Gehrke u. a. 2019, S. 89).

Abbildung 11: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien Ländervergleiche (Jahr 2000 = 100)



*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die Abbildung 11 (oben) zeigt auch, dass die Zuwachsraten der Erneuerbare-Energie-Patentanmeldungen in Deutschland nicht nur gegenüber den Spitzenreitern China, Korea und Dänemark

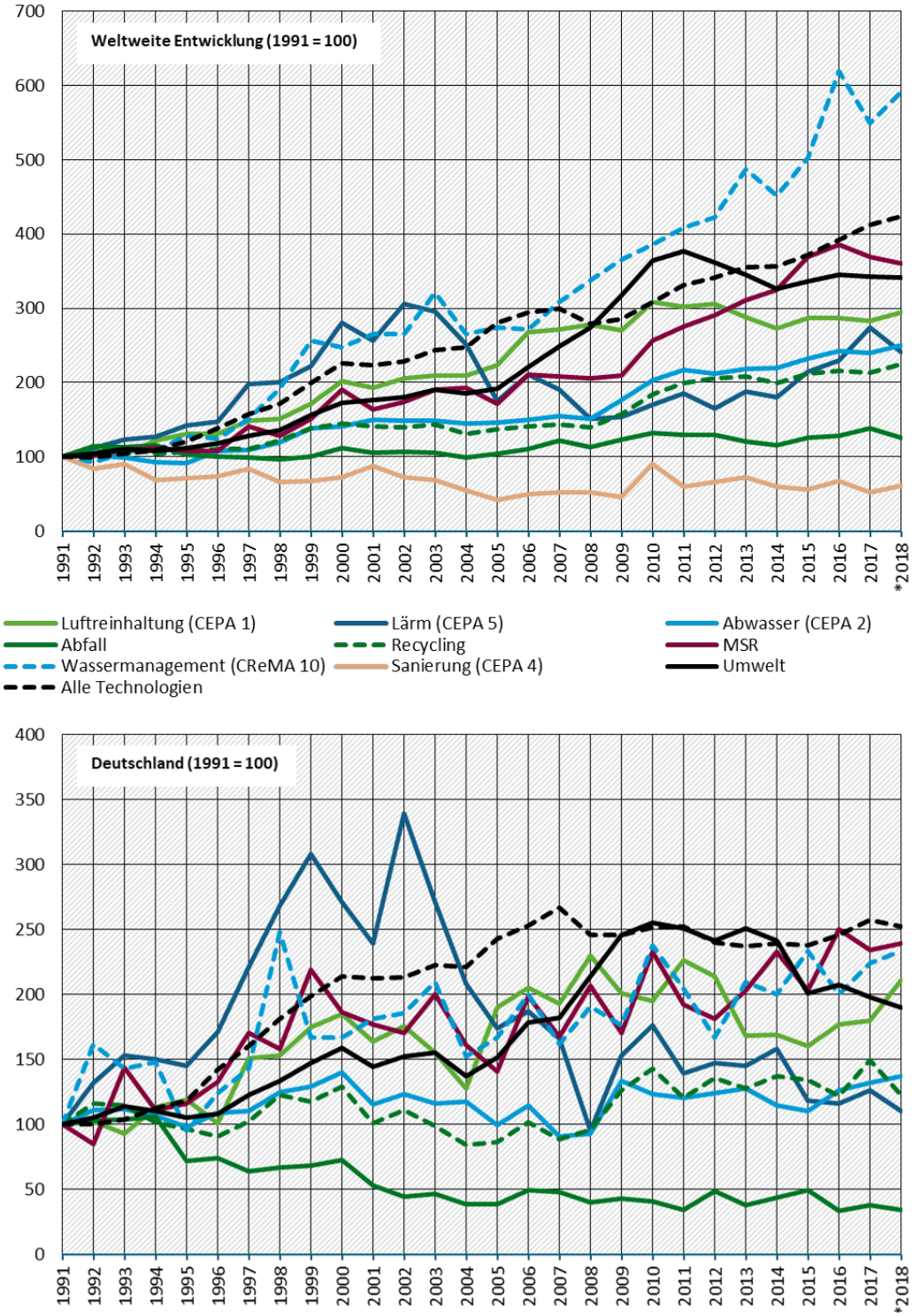
zurückbleiben, sondern auch von einigen weiteren großen Playern übertrumpft werden, unter anderem USA, Frankreich und Großbritannien.

Diese Entwicklungen haben somit im Bereich der Erneuerbaren Energien zu einer Verringerung des Innovationsvorsprungs Deutschlands und den Spitzenreitern sowie dem oberen Mittelfeld beigetragen. Während China inzwischen das Land mit den - in absoluten Zahlen gemessen - meisten Patenten für Erneuerbare Energien ist, bleiben Koreas Patentzahlen hinter denen von Deutschland noch erheblich zurück. Aber Länder wie Frankreich oder Großbritannien hat Korea bereits seit mehreren Jahren eingeholt.

Neben den Klimaschutztechnologien sind eine Reihe weiterer Technologien für Innovationsleistung der Umweltwirtschaft relevant. Die weltweiten Patentmeldezahlen im Bereich der Umwelttechnologien insgesamt (inkl. Klimaschutztechnologien, die einen hohen Anteil an den Patentanmeldezahlen ausmachen) haben zwar über die Periode 1991-2018 nicht die hohen Zuwachsraten, die beim Teilbereich Klimaschutztechnologien zu verzeichnen sind, doch ist hier die Entwicklung deutlich stabiler (siehe Abbildung 12 oben): Abgesehen von den sinkenden Patentanmeldungen im Teilbereich Sanierung (CEPA 4), steigen die Patentmeldezahlen in allen anderen Teilbereichen der Umwelttechnologien (darunter auch im Teilbereich Recycling) trendmäßig und ohne größere Einbrüche, jedoch mit z. T. niedrigen Zuwachsraten (siehe den Bereich Abfall). Der dynamischste Bereich hier ist Wassermanagement (CReMA 10), bei dem sich die Patentmeldezahlen zwischen 1991 und 2018 versechsfacht haben. Über die gesamte Periode 1991-2018 gesehen ist das Wachstum der Patentanmeldezahlen für Umwelttechnologien vergleichbar mit der allgemeinen technologischen Entwicklung, wobei die Patentanmeldungen im Bereich der Umwelttechnologien (Aggregat "Umwelt") etwas langsamer gewachsen sind als die Anmeldungen bei allen Technologien (Aggregat "Alle Technologien").

In Deutschland ist die Entwicklung der Patentanmeldezahlen bei den Umwelttechnologien dagegen weniger positiv zu werten (siehe Abbildung 12 unten): Neben den absolut gesehen niedrigen Patentanmeldezahlen im Teilbereich Sanierung (CEPA 4), den seit den 1990er Jahren sinkenden Patentmeldezahlen im Teilbereich Abfall, sowie den in den 2000er Jahren eingebrochenen Patentmeldezahlen im Teilbereich Lärm (CEPA 5) werden seit Mitte/Ende der 2000er Jahre in den anderen Umwelttechnologiebereichen (darunter auch im Teilbereich Recycling) trendmäßig eher stagnierende Patentanmeldungen verzeichnet. Dies spiegelt somit die ebenfalls in diesem Zeitraum stagnierende allgemeine technologische Entwicklung wider (Aggregat "Alle Technologien"). Ausnahmen sind die Teilbereiche MSR und Wassermanagement (CReMA 10), die seit Mitte der 2000er Jahre positive Trends aufweisen. Bei einer Betrachtung des deutschen Umwelttechnologiebereichs insgesamt (Aggregat "Umwelt", inkl. Klimaschutztechnologien) zeigt sich zwar, dass Ende der 2000er Jahre die Umwelttechnologien zur allgemeinen technologischen Entwicklung aufgeholt haben, doch fallen seit 2015 die Patentanmeldezahlen im Umwelttechnologiebereich im Gegensatz zu den Patentmeldezahlen bei allen Technologien.

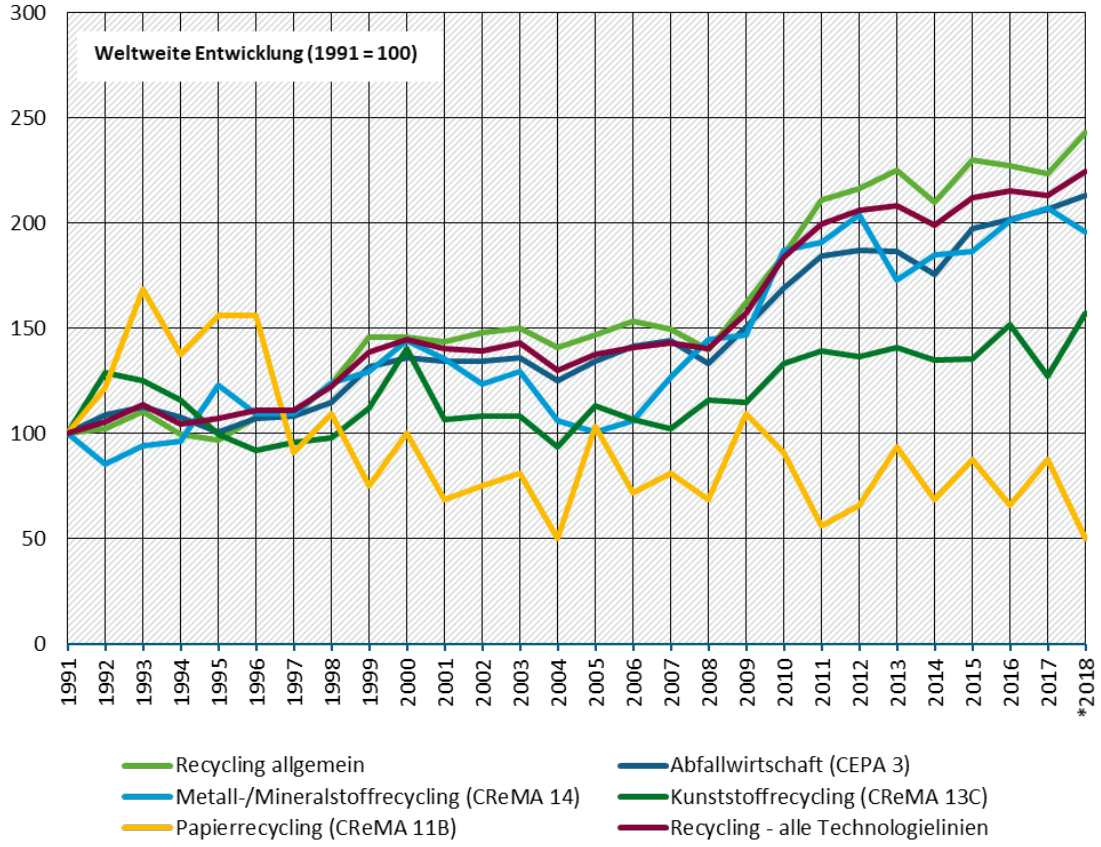
Abbildung 12: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien

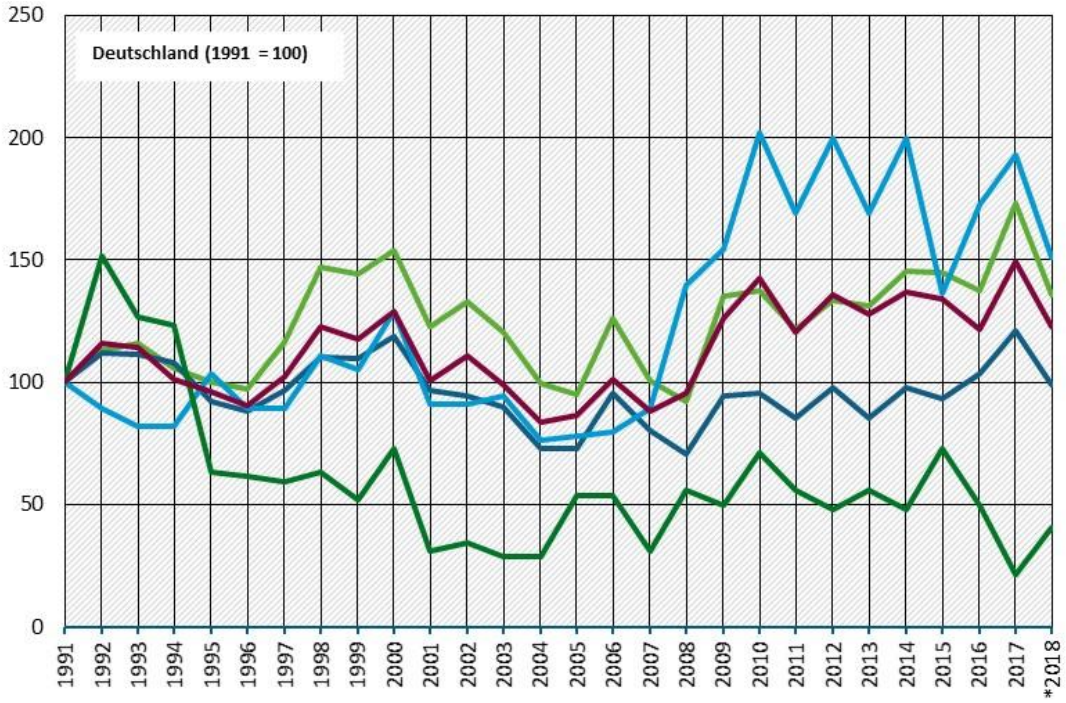


Anm.: Wegen sehr geringer absoluter Zahlen bei Sanierungspatenten (CEPA 4) werden sie auf Ebene einzelner Länder nicht statistisch ausgewertet und sind deshalb in der Graphik für Deutschland nicht enthalten. *geschätzte Werte
Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Der quantitativ gesehen wichtige Umwelttechnologieteilbereich Recycling wird in der Abbildung 13 (zusammen mit dem Bereich Abfallwirtschaft) noch weiter aufgeschlüsselt.

Abbildung 13: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft





*geschätzte Werte

Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die in Abbildung 12 bei der Diskussion der Umwelttechnologien aufgezeigten dynamischen Muster der Patentanmeldezahlen (weltweit steigende, jedoch in Deutschland seit Ende der 2000er Jahre eher stagnierende Entwicklung) zeigen sich auch für die verschiedenen Teilbereiche des Recyclings. Abgesehen vom negativen Trend bei den Meldezahlen im Bereich Papierrecycling steigen die weltweiten Patentmeldezahlen in allen Recyclingteilbereichen (zumindest seit Mitte der 2000er Jahre) trendmäßig.

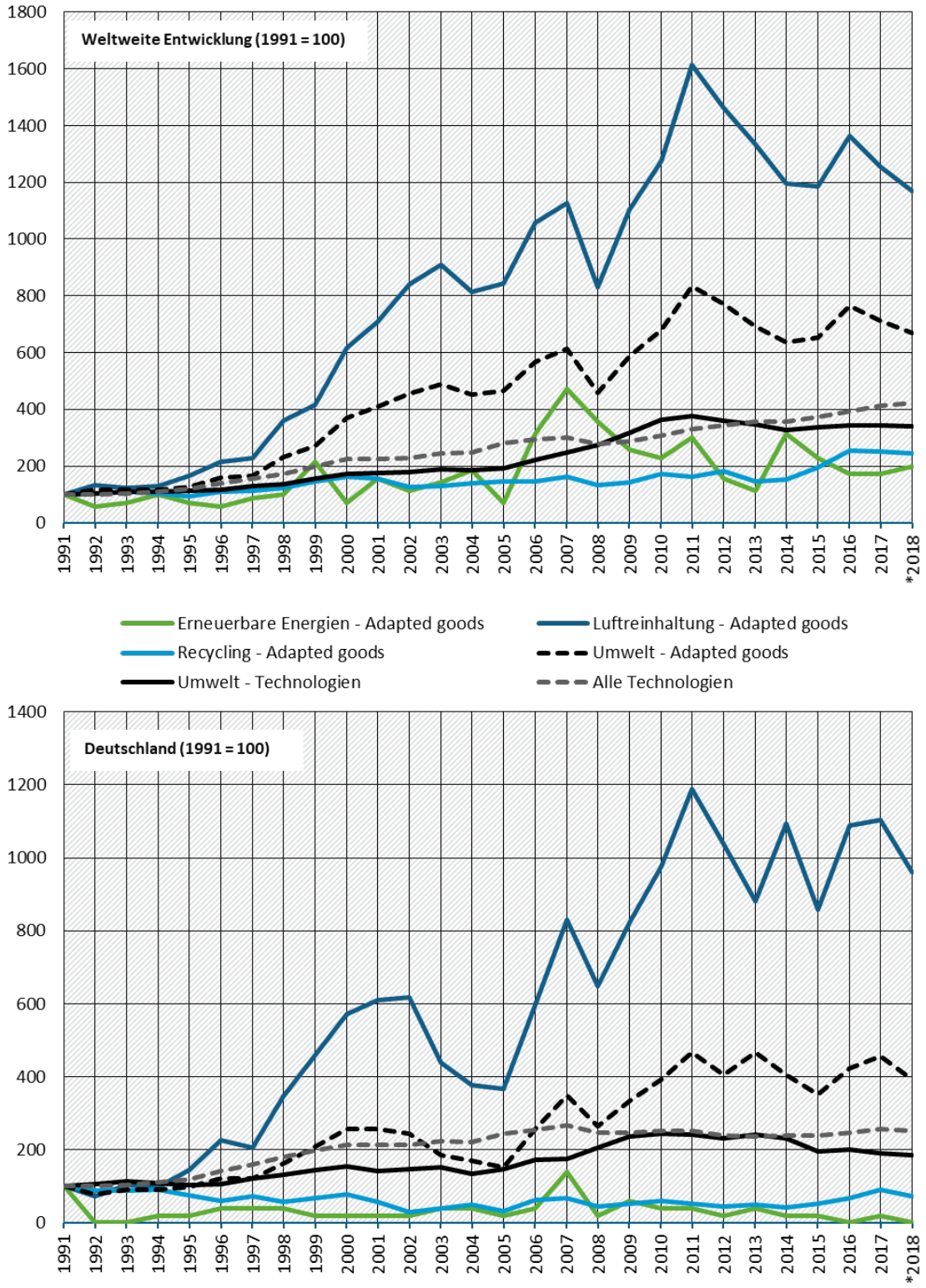
In Deutschland dagegen sind die Trends bei den Anmeldezahlen in den Recyclingbereichen nicht unbedingt als positiv zu werten: Die Patentzahlen bei Papierrecycling sind so niedrig, dass sie hier nicht separat ausgewiesen werden. Nur beim Metall-/Mineralstoffrecycling und den stoffstrom-unspezifischen Recycling-Technologien (Recycling allgemein) gab es einen deutlichen Zuwachs in den Patentanmeldezahlen (über die gesamte Periode 1991-2018 gesehen). Allgemein scheint das Niveau der Recycling-Patentanmeldungen in Deutschland seit Ende der 2000er Jahre zu stagnieren.

Die Entwicklung der umweltfreundlichen Güter, die hier gesondert betrachtet werden, wird in Abbildung 14 dargestellt. Weltweit wuchsen die Patentanmeldezahlen in diesem Bereich (Aggregat "Umwelt - adapted goods") über die Periode 1991-2018 trendmäßig und ohne größere Einbrüche, wobei das Wachstum deutlich stärker war als die allgemeine technologische Entwicklung (Aggregat "Alle Technologien") oder als das zuvor diskutierte Wachstum der Patentmeldezahlen bei den Umwelttechnologien (Aggregat "Umwelt - Technologien"). Insbesondere im Teilbereich der Luftreinhaltung stiegen die Patentanmeldungen mit hohen Raten bis 2011 und haben sich nach einem kurzfristigen Abfall auf ungefähr dem zwölffachen Wert des Jahres 1991 eingependelt. Die Patentanmeldungen für Umweltfreundliche Güter aus den Bereichen Erneuerbare Energien und Recycling hatten zwischen 1991 und 2018 leicht positive Trends. Über die gesamte Periode betrachtet blieb ihr Wachstum aber deutlich unter der allgemeinen technologischen Entwicklung (Aggregat "Alle Technologien").

In Deutschland ähneln die Entwicklungen der aggregierten Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter insgesamt (Aggregat "Umwelt - adapted goods") und im Bereich der Luftreinhaltung den entsprechenden weltweiten Entwicklungen (starkes Wachstum bis 2011 mit einem anschließenden Einpendeln der Meldezahlen). Für umweltfreundliche Güter in den Bereichen Erneuerbare Energien und Recycling wurden jedoch im Gegensatz zur weltweiten Entwicklung eher negative Trends bei den Patentmeldezahlen verzeichnet (siehe Abbildung 14 unten).

Die überlegene Dynamik der umweltfreundlichen Güter gegenüber Umwelttechnologien kann ein Hinweis darauf sein, dass sich das Innovationssystem in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte“ entwickelt (vgl. Walz u. a. 2019). Dieser ist von seiner Komplexität her, aber auch bezüglich seines Beitrags zur Nachhaltigkeit höher einzustufen als Umweltschutz allein durch produktionsintegrierte Technologien. Allerdings fokussiert sich die Entwicklung der umweltfreundlichen Güter sehr eng auf einen bestimmten Bereich, so dass eine solche Schlussfolgerung derzeit noch nicht sehr belastbar erscheint.

Abbildung 14: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter („adapted goods“)



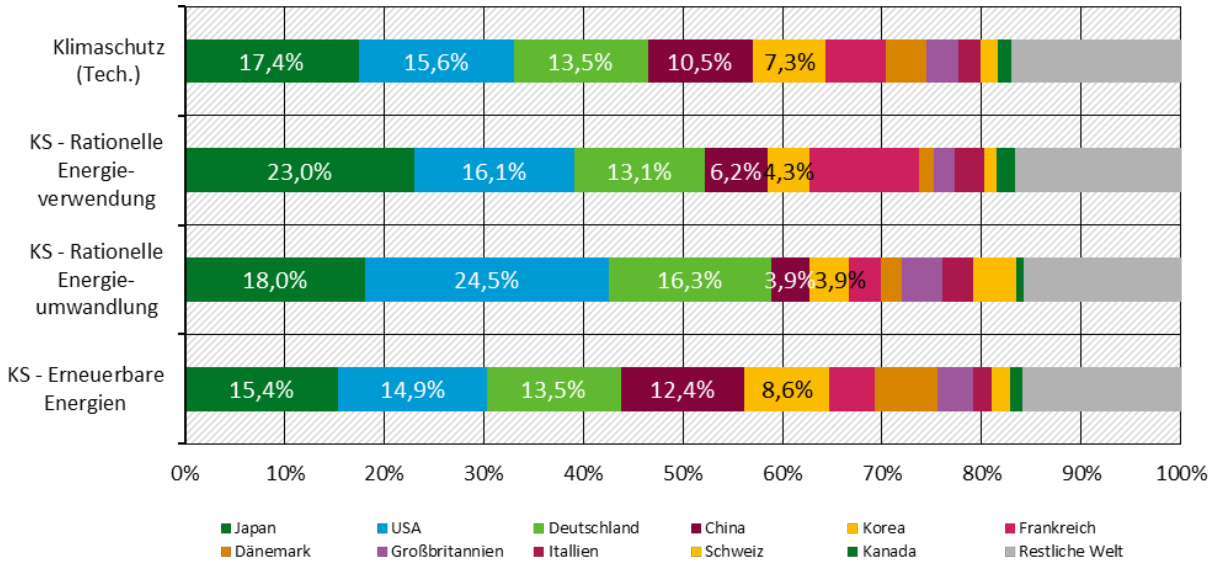
*geschätzte Werte. Bei den Erneuerbare Energien-Adapted goods gab es einen Bruch in der Systematik, da in der Klassifikation Y02E50 im Jahr 2020 eine Untergruppe zu Bioethanol aufgelöst und der Y02E50/10 zugeordnet wurden, die „Biofuels“ insgesamt umfasst. Die Änderung ist rückwirkend für den gesamten Betrachtungszeitraum gültig.
Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

3.2.2 Patentanteile bei potenziellen Umweltschutztechnologien

Die Länderpatentanteile sind ein Indikator für die Beiträge einzelner Länder oder Ländergruppen zu der Innovation in ausgewählten Technologiebereichen und Zeiträumen. Auch bei der Analyse der Patentanteile wird der Bereich Klimaschutztechnologien vertieft betrachtet und umweltfreundliche Güter gesondert diskutiert. Der Betrachtungszeitraum beschränkt sich auf die Periode 2014-2018[44], um den aktuellen Stand der Länderbeiträge zu erfassen.

Bei den Klimaschutztechnologien und ihren Teilbereichen gehören Japan, USA und Deutschland zu den führenden Nationen gemessen an den durchschnittlichen Patentanteilen der Jahre 2014-2018 (siehe Abbildung 15). Japan ist fast durchgängig auf Platz 1 (mit Ausnahme bei der Rationellen Energieumwandlung), Deutschland liegt durchgängig auf Platz 3. Deutschland folgend sind China und Korea mit signifikanten Anteilen vertreten. China hat seine Anteile bei Klimaschutztechnologien gegenüber dem Zeitraum 2009-2013 verdoppelt und damit Korea überholt. Diese rasante Entwicklung spiegelt die in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bereits dargestellte hohe Dynamik wieder. Eine genauere Betrachtung der EU-28-Länder zeigt, dass neben Deutschland auch Frankreich, Dänemark, Italien und Großbritannien zu den Ländern mit relativ hohen Patentanteileilen im Bereich Klimaschutz und den entsprechenden Teilbereichen gehören (vgl. Abbildung B. 1 im Anhang). Betrachtet man den Wirtschaftraum der EU (EU-28) als Ganzes, kommt dieser auf einen Anteil von 38 % bei den Klimaschutztechnologien (vgl. Tabelle B. 5 im Anhang).

Abbildung 15: Patentanteile ausgewählter Länder bei Klimaschutztechnologien (2014-2018)



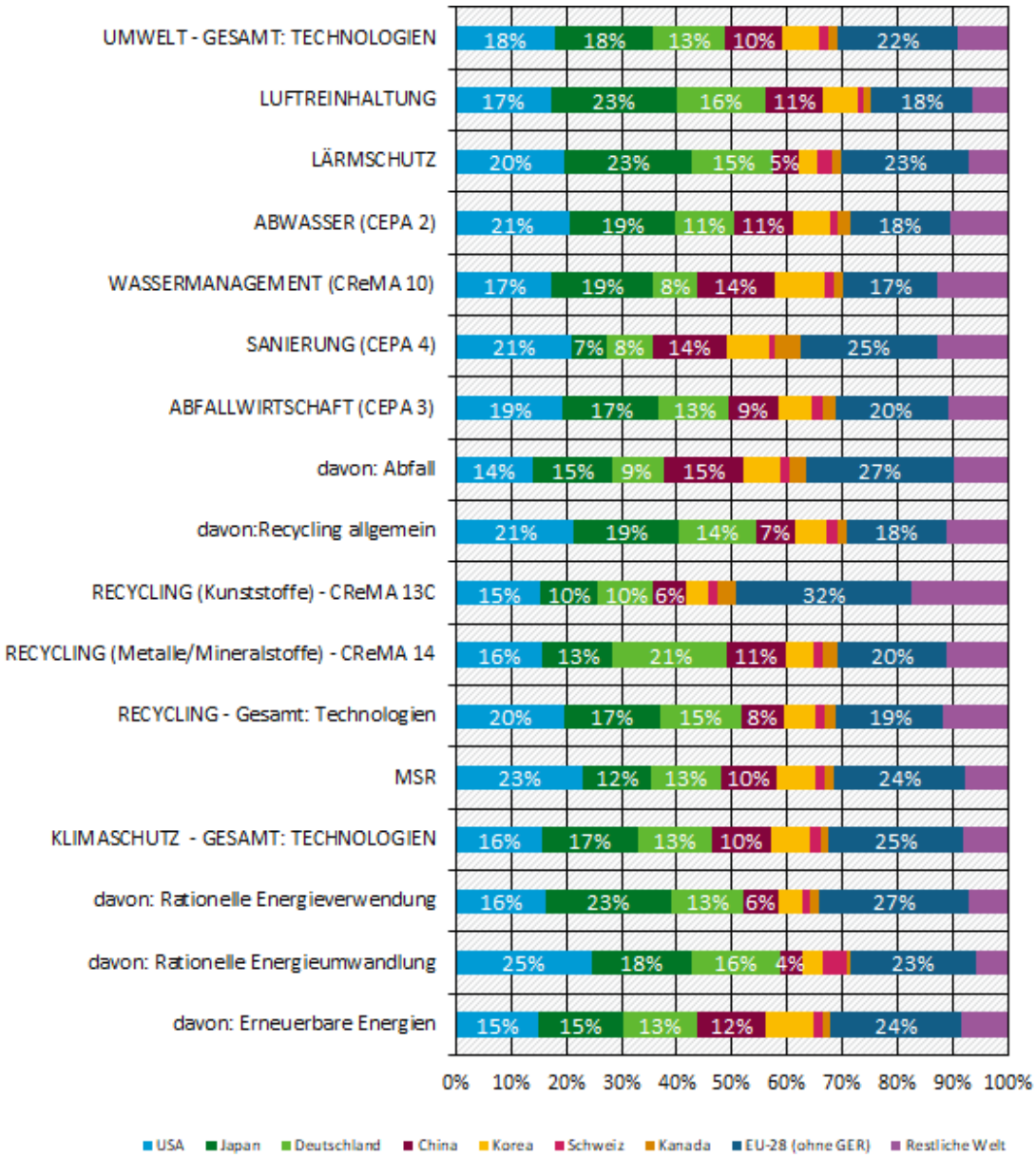
Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Bei den Umwelttechnologien (UMWELT - GESAMT: TECHNOLOGIEN) zeichnet sich aggregiert gesehen ein ähnliches Bild ab: USA, Japan und Deutschland sind führend, gefolgt von China und Korea (Abbildung 16 und Tabelle B. 6 im Anhang). Bei den einzelnen Teilbereichen der Umwelttechnologien jenseits von Klimaschutz zeigen sich kleinere Verschiebungen im Ranking. So ist Japan bei Luftreinhaltung, Lärmschutz und Wassermanagement gemessen an den Patentanteilen führend, die USA dagegen bei Abwasser, Sanierung, Abfallwirtschaft, allen Recycling-Bereichen und MSR führend. Doch gehören durchgängig USA, Japan, Deutschland, China und Korea zu den Ländern mit den größten Patentanteilen.

[44] Es wird ein 5-Jahres-Zeiträume betrachtet, damit Ausreißer in den Daten weniger Gewicht haben.

Allerdings erreichen die Länder auf den Rängen 1 bis 3 in immer weniger Fällen[45] 50 % der Patente, wie das noch in früheren Jahren der Fall war (vgl. z. B. Gehrke u. a. 2018).

Abbildung 16: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien(1) (2014-2018)



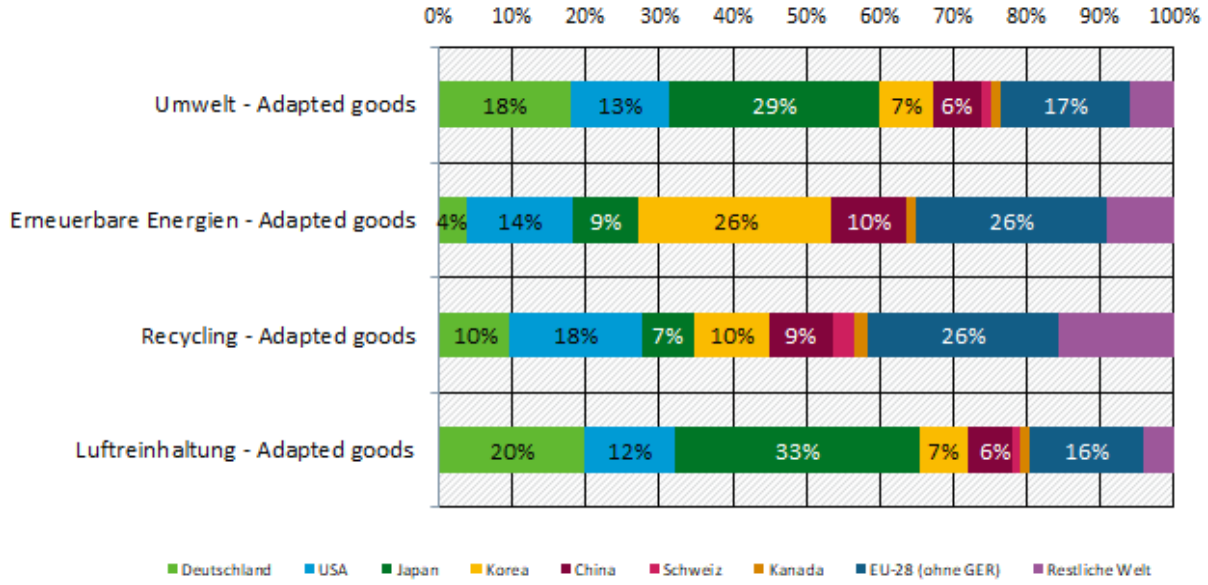
(1) Anm.: CEPA 3 inkl. „adapted goods";
Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Im Teilbereich des Recyclings von Metallen und Mineralstoffen ist Deutschland weltweit führend mit einem Patentanteil von knapp 21 %. Und auch bei den Recyclingtechnologien insgesamt kommt es auf ein hohes Niveau von 15 %. Die Ergebnisse der Studie von Breitinger u. a. (2020) für Recycling weisen hier abweichende Zahlen aus (Deutschland 7,7 %, vgl. Breitinger u. a. 2020, S. 17). Sie weisen außerdem auf die dominierende Stellung Chinas bei Recyclingpatenten hin, die sich mit 26 % (ibid, S. 17) noch vor den USA mit 21 % befinden (ibid, S. 14). Der Wert für die USA ist in beiden Studie ähnlich. Die Vergleichbarkeit der Zahlen ist allerdings aufgrund methodischer Unterschiede stark eingeschränkt (vgl. Abschnitt 3.1).

[45] gemessen an der Zahl der Umweltteilbereiche.

China verzeichnet aber auch in den Daten dieser Studie einen starken Aufwärtstrend im Patentanteil, so dass der aktuelle Wert Chinas im Jahr 2018 mit 10,7 % über dem 5-Jahres-Durchschnitt von 8 % liegt. In einzelnen Teilbereichen musste Deutschland seinen dritten Platz bereits China überlassen. Dies betrifft Wassermanagement, Sanierung und Abfall. An den Umweltpatenten der EU-28 hat Deutschland durchgängig für alle Umweltbereiche (mit Abstand) den höchsten Anteil (vgl. Abbildung B. 1 im Anhang).

Abbildung 17: Patentanteile ausgewählter Länder bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“)



Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Bei den umweltfreundlichen Gütern sind die Länder mit den größten Patentanteilen ähnlich wie zuvor bei den Klimaschutz- und Umwelttechnologien. Aggregiert gesehen (Aggregat "Umwelt - Adapted goods") ist bei den umweltfreundlichen Gütern Japan gemessen an den Patentanteilen deutlich führend. Deutschland ist an zweiter Stelle, gefolgt von USA, Korea und China. Hier hat also Deutschland eine deutlich bessere Position als bei Klimaschutz- und Umwelttechnologien, bei denen es an dritter Stelle war. China liegt bei umweltfreundlichen Gütern - anders als bei Klima und Umwelttechnologien - noch hinter Korea. Bei den umweltfreundlichen Gütern zur Luftreinhaltung ist die Rangfolge der führenden Länder gemessen an den Patentanteilen gleich wie die Rangfolge beim Aggregat der umweltfreundlichen Güter: Japan ist führend gefolgt von Deutschland und den anderen Ländern. Dies erklärt sich durch seine führende Rolle bei Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen, die den „Adapted Goods“ im Bereich Luftreinhaltung zugerechnet werden. Bei den umweltfreundlichen Gütern im Bereich des Recyclings führen die USA vor Korea, Deutschland und China. Bei den umweltfreundlichen Gütern im Bereich Erneuerbare Energien ist Korea sogar weltweit führend. Deutschland hat hier einen relativ kleinen Patentanteil (3,9 %).

Insgesamt gehört Deutschland bei den umweltfreundlichen Gütern zu den führenden Ländern. Dies trifft insbesondere für den Bereich Luftreinhaltung zu, der von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen und damit von großen Playern der Automobilindustrie geprägt ist, die in Deutschland traditionell stark sind. Das Gewicht Deutschlands innerhalb der EU ist hier - und dadurch auch bei der Summe der umweltfreundlichen Güter - sehr hoch, höher als bei Klima- und Umweltschutztechnologien.

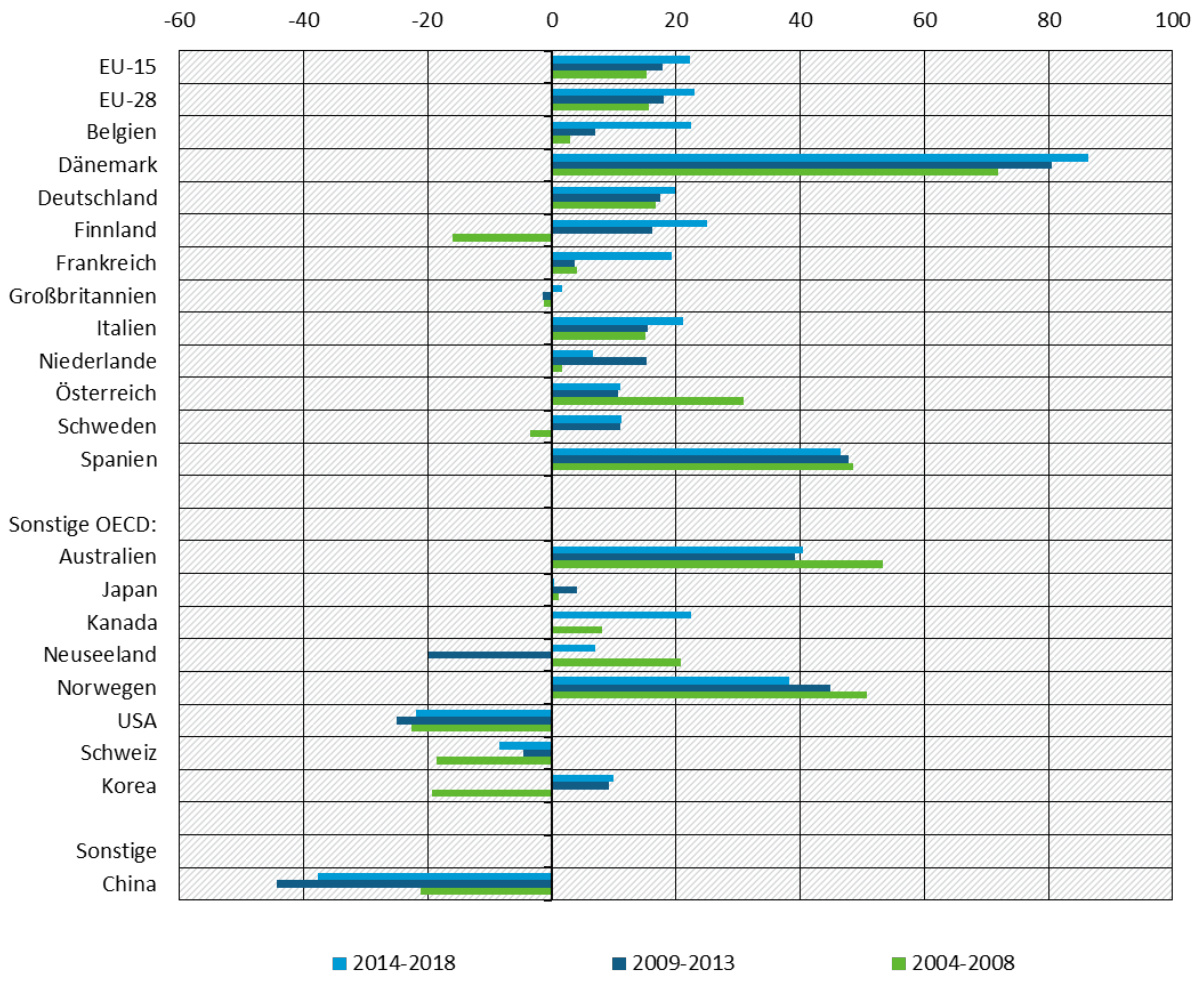
Beim Teilbereich Recycling stellt sich dies jedoch etwas anders dar: Bei Recycling-Technologien macht Deutschland mit 15 % gegenüber 19 % der übrigen EU-28 den größten Player in der EU. Bei den umweltfreundlichen Gütern im Recycling ist das Gewicht Deutschlands mit nur 10 % gegenüber der übrigen EU mit 26 % deutlich geringer. Das bedeutet, dass Deutschlands Wissensbasis im europäischen Vergleich eher bei der Herstellung von Sekundärmaterialien und weniger bei der Verwendung dieser Sekundärrohstoffe (zum Beispiel im Bereich Baustoffe, Schmier- oder Futtermittel) gut ausgeprägt ist.

3.2.3 Spezialisierungsmuster bei potenziellen Umwelttechnologien

Während die Länderpatentanteile, die im Abschnitt 3.2.2 diskutiert wurden, einen guten Überblick über die geographische bzw. geopolitische Verteilung des Innovationsgeschehens in verschiedenen Umwelttechnologiebereichen bieten (gemessen an den Patentanmeldezahlen), setzt der relative Patentanteil (RPA) das Innovationsgeschehen eines Landes in einem bestimmten Technologiebereich in Relation zu dem allgemeinen Innovationsgeschehen des Landes (und der Welt). So können Spezialisierungsmuster ausgearbeitet werden. Insbesondere gibt ein positiver und hoher RPA an, dass das Land in dem betrachteten Technologiebereich relativ (stark) spezialisiert ist bzw. relativ starke Innovationsanstrengungen aufweist (gemessen an den Patentanmeldezahlen).

In Abbildung 18 sind die RPA der Umwelttechnologien für verschiedene Länder und Perioden dargestellt. Der Großteil der im Abschnitt 3.2.2 diskutierten Länder mit hohen Patentanteilen im Umwelttechnologiebereich (USA, Japan, Deutschland, China und Korea) sind in diesem Bereich nicht spezialisiert: China und die USA haben über den gesamten Betrachtungszeitraum 2004-2018 relativ gesehen eine Schwäche (RPA unter -20) im Umwelttechnologiebereich; in Korea sind die RPA der Umwelttechnologien erst ab der Periode 2009-2013 positiv, jedoch relativ klein; Japan verzeichnet über die gesamte Periode relativ kleine, positive RPA der Umwelttechnologien. Allein Deutschland hat unter den zuvor diskutierten Ländern eine bedeutende positive Spezialisierung (einen RPA von 20 oder mehr) im Umwelttechnologiebereich, zumindest ab der Periode 2014-2018. Die bei weitem am stärksten auf Umwelttechnologien spezialisierten Länder sind Dänemark, Spanien, Australien und Norwegen. Während in Dänemark der Umwelttechnologiespezialisierungsgrad über die Periode 2004-2018 zunahm, nahm er in Spanien, Australien und Norwegen ab. Weitere Länder haben in dieser Zeit ihre Stärke im Umwelttechnologiebereich ausgeweitet und gelten in der Periode 2014-2018 als relativ stark in diesem Bereich spezialisiert (RPA über 20). Zu ihnen gehören Belgien, Finnland, Italien und Kanada. Österreich und Neuseeland, die in der Periode 2004-2008 noch eine Stärke im Bereich der Umwelttechnologien hatten, haben in den nachfolgenden Perioden relativ niedrige RPA.

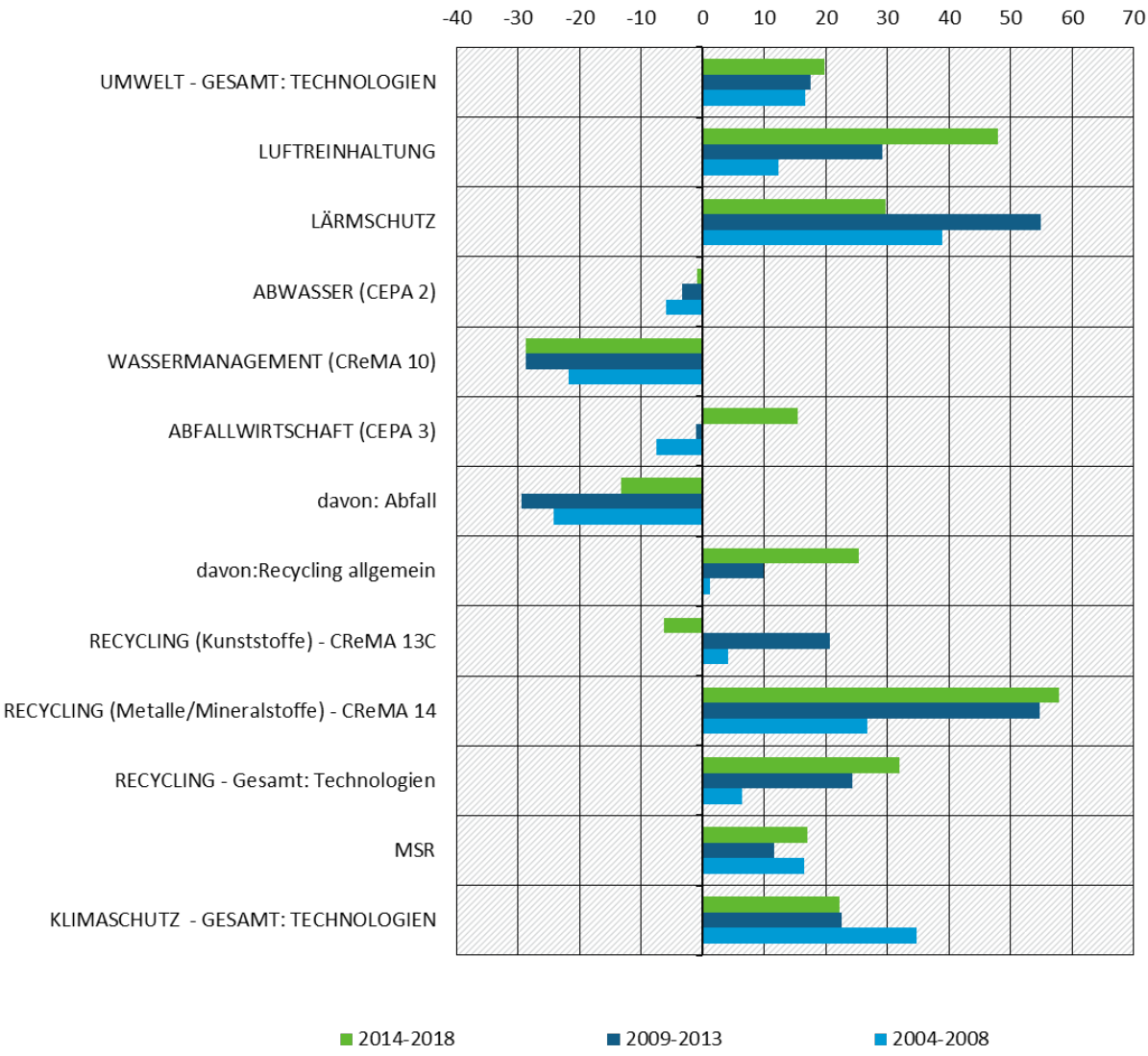
Abbildung 18: Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich Umwelttechnologien (RPA-Werte)



Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die Spezialisierungssituation Deutschlands im Umwelttechnologiebereich lässt sich wie folgt zusammenfassen: Gemessen an den RPA gehört Deutschland in der Periode 2014-2018 zu den Ländern, die eine Stärke im Bereich der Umwelttechnologien aufweisen, dank der Steigerung des deutschen Spezialisierungsgrads in diesem Bereich über die Periode 2004-2018. Hier zeichnet sich nun ein positiver Trend ab, der im letzten Bericht „Innovationsmotor Umweltschutz" (Gehrke u. a. 2019) noch nicht so klar sichtbar war. Im Vergleich zu den anderen Ländern, die hohe Patentmeldezahlen im Umwelttechnologiebereich aufweisen (insbesondere USA, Japan, Korea und China), hat Deutschland relativ gesehen sehr hohe RPA-Werte. Deutschland gehört jedoch nicht zu den am stärksten auf Umwelttechnologien spezialisierten Ländern. Dies sind viel eher Dänemark, Spanien, Australien und Norwegen. Die EU-28 als bedeutender weltweiter Wirtschaftsraum ist wie Deutschland in zunehmenden Maße deutlich auf Umwelttechnologien spezialisiert.

Abbildung 19: Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte)



Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Zu den einzelnen Umwelttechnologiebereichen lässt sich - auch im Vergleich zur Vorläuferstudie (Gehrke u. a. 2019) - festhalten (s. Abbildung 19):

- Bei der Luftreinhaltung ist die signifikant positive Spezialisierung Deutschlands weiterhin prominent und konnte sogar noch ausgebaut werden.
- Das Spezialisierungsmaß beim Lärmschutz ist ebenfalls weiterhin deutlich positiv, aber in der Periode 2014-2018 gegenüber der Vorperiode etwas zurückgegangen.
- Im Bereich Abwasser und Wassermanagement bleiben die Spezialisierungswerte leicht bzw. deutlich negativ.
- Die Bereiche Abfallwirtschaft und Recycling (Gesamt) sind insgesamt gegenüber Gehrke u. a. (2019) wenig verändert mit neutralen (Abfallwirtschaft) bzw. deutlich positiven RPA-Werten (Recycling-Gesamt). Die besondere Stärke im Recycling von Metallen und Mineralstoffen

bleibt, bei Kunststoffrecycling gehen die Werte dagegen leicht zurück und fallen im aktuellen 5-Jahreszeitraum leicht negativ aus.

- Bei MSR zeigt sich weiterhin eine leicht positive Spezialisierung. Der in der Vorläuferstudie noch sichtbare rückläufige Trend scheint im Moment gestoppt.
- Die signifikant positive Spezialisierung auf Klimaschutztechnologien ist bei einem RPA-Wert von leicht über 20 stabil. Teilbereiche davon werden im Abschnitt 3.3 diskutiert.

3.3 Vertiefende Patentanalyse für den Bereich Energieeffizienz

Zur vertieften Darstellung von Innovationsindikatoren im Bereich Energieeffizienz wurden im Rahmen des vorliegenden Berichtes neue Energieeffizienz-Bereiche erarbeitet. Dazu wurden zunächst entsprechende Suchstrategien entwickelt, die neben den bisher in der Projektfamilie „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ eingesetzten Suchstrategien zur rationellen Energieverwendung und rationellen Energieumwandlung weitere Bereiche abdecken. Ein methodischer Ansatzpunkt für die Suche nach weiteren Ergänzungen war der systematische Abgleich mit der Y02-Klassifikation des Europäischen Patentamts.

Für die Analyse wurden die für die Energieeffizienz wichtigen Bereiche "Energieeffizienz in der Industrie", "Energieeffizienz in Gebäuden" sowie „energieeffiziente Mobilität“ neu aufgenommen. Die beiden bisher schon im Wirtschaftsfaktor Umweltschutz verwendeten Segmente „Rationelle Energieverwendung“ und „Rationelle Energieumwandlung“ werden durch diese neuen Segmente überschneidungsfrei ergänzt. Diese erweiterte Behandlung von Energieeffizienz knüpft an die Schwerpunkte der Studie „Energieeffizienz in Zahlen“ (BMWi 2020) an.

Eine direkte Übernahme der SET-Plan-Schlüsselaktionsfelder mit den dazugehörigen Patentklassen (vgl. Fiorini u. a. 2017b, S. 45 ff) wurde geprüft, aber verworfen. Denn dies hätte zu großen Überlappungen mit den bisher schon betrachteten Umweltbereichen geführt. Eine gewisse inhaltliche Nähe ist aber gegeben und wird im Folgenden zusammen mit der Definition erläutert:

- **Energieeffizienz in Gebäuden und Geräten (EEF Gebäude+Geräte)**: Dieses Segment beinhaltet die Bereiche energieeffiziente Beleuchtung, Heizung/Klimatisierung, Technologien für ein effizientes endkundenseitiges Strommanagement und Haushaltsgeräte. Im Bereich der Beleuchtung, der Heizung/Klimatisierung und der Haushaltsgeräte lagen aus Vorprojekten schon Definitionen für die Patentsuche vor. Die Abfrageergebnisse dieser Definitionen wurden mit den Patentergebnissen der spiegelbildlichen Y02B Klassifikationen verglichen, indem ein aliquoter Teil der jeweiligen Patente der zwei Definitionen eingesehen wurden und ihre Passfähigkeit zum Bereich untersucht wurde. Wegen der überlegenen Passfähigkeit wurde die am Fraunhofer ISI vorliegende Definitionen für Haushaltsgeräte weiter beibehalten, während für die Beleuchtung und Heizung/Klima die jeweiligen Y02-Klassen verwendet wurden.

  EEF Gebäude+Geräte enthält viele Technologielinien aus dem Schlüsselaktionsfeld „New-technologies & services for consumers“ (vgl. Fiorini u. a. 2017b, S. 45 ff), ist aber insgesamt enger definiert, also näherungsweise ein Sub-Set des entsprechenden Schlüsselaktionsfelds.

- **Energieeffizienz im Energiesystem (EEF Energiesystem)**: Dieses Segment beinhaltet Y02E-Patente für eine effiziente elektrische Energieerzeugung, -übertragung oder –verteilung, für andere Energieumwandlungs- oder -managementsysteme, die THG-Emissionen reduzieren sowie für Enabling-Technologien wie Energiespeicher, Wasserstofftechnologien und Brennstoffzellen. Patente der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sind schon im bisherigen Segment Effiziente Energieumwandlung enthalten und werden hier nicht betrachtet.

  EEF-Prozesse haben Ähnlichkeiten mit dem Schlüsselaktionsfeld „Resilience & security of the energy system“, enthält aber zusätzliche Technologielinien, u. a. zu Wasserstofftechnologien.

- **Industrielle Querschnittstechnologien:** In diesem Segment werden Patente zu klassischen Querschnittstechnologien wie Dampferzeuger, Elektromotoren, Kühlung, Öfen, Trockner und Wärmetauscher untersucht.

  Industrielle Querschnittstechnologien beleuchten einen kleinen Ausschnitt aus dem Schlüsselaktionsfeld „Energy Efficiency in Industry“.

- **Energieeffiziente Mobilität:** Dieses Segment beinhaltet im Bereich der Straßenfahrzeuge energieeffizienten Antriebe, wie Batterieelektrische Fahrzeuge, Brennstoffzellen-Fahrzeuge und Hybrid-Fahrzeuge. Hierbei werden nicht nur Patente im Bereich der Fahrzeuge selbst, sondern auch die zentralen Technologiebereiche wie Batterien und Brennstoffzellen, Leistungselektronik, elektrischer Antriebsstrang, Rekuperation und hybride Fahrzeugkonzepte berücksichtigt. Auch Ladesysteme und mit Ladeinfrastruktur im Zusammenhang stehende Patente werden berücksichtigt. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Y02 Klassifikationen, die frühere Suchstrategien des ISI ergänzen. Neben energieeffizienten Antrieben im Straßenverkehr wurde der Bereich Schienenverkehr und -infrastruktur mit in die Suchstrategie zur energieeffizienten Mobilität integriert, da es sich beim Schienenverkehr im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern um eine energieeffiziente Fortbewegungsform handelt.

  Energieeffiziente Mobilität hat Überlappungen mit dem Schlüsselaktionsfeld „Competitive in the global battery sector (e-mobility)“.

3.3.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei Energieeffizienztechnologien

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für die neuen Energieeffizienz-Bereiche in Zusammenschau mit den schon bisher untersuchten Energieeffizienz-Bereichen dargestellt. Auffallend ist, dass weltweit betrachtet (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** oben) mit Ausnahme der industriellen Querschnittstechnologien alle Energieeffizienzbereiche eine dynamischere Entwicklung aufweisen als Technologien allgemein. Angeführt wird die Entwicklung der Patente durch die Energieeffizienztechnologien im Energiesystem. Unter diesen sind sowohl bei den weltweiten Patenten als auch bei den deutschen Patenten im Jahr 2018 ca. 70 % der Patente zu Energiespeichern. Dies macht die Dynamik plausibel, denn Energiespeicher spielen in der Energiewende mit dem Umstieg zu stärker fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen eine wichtige Rolle.

Im Bereich der energieeffizienten Mobilität zeigt die weltweite Entwicklung ein - im Vergleich zur allgemeinen technologischen Entwicklung - überdurchschnittliches Wachstum der transnati-

onalen Patentanmeldungen ab den frühen 2000er-Jahren. Diese überdurchschnittliche Entwicklung wird stark von den energieeffizienten Antrieben im Straßenverkehr bestimmt. Ein besonders hohes Wachstum ist im Zeitraum zwischen 2008 und 2011 zu beobachten. Nach 2011 findet ein leichter Rückgang statt, und erst ab 2016 steigen die Patentzahlen erneut an. Insgesamt fügt sich die energieeffiziente Mobilität damit recht stimmig in das Bild der Effizienztechnologien ein und zeigt einen ähnlichen Verlauf wie beispielsweise Energieeffizienzpatente im Energiesystem, wobei das überdurchschnittliche Wachstum erst zu einem etwas späteren Zeitpunkt einsetzt und etwas niedriger ausfällt.

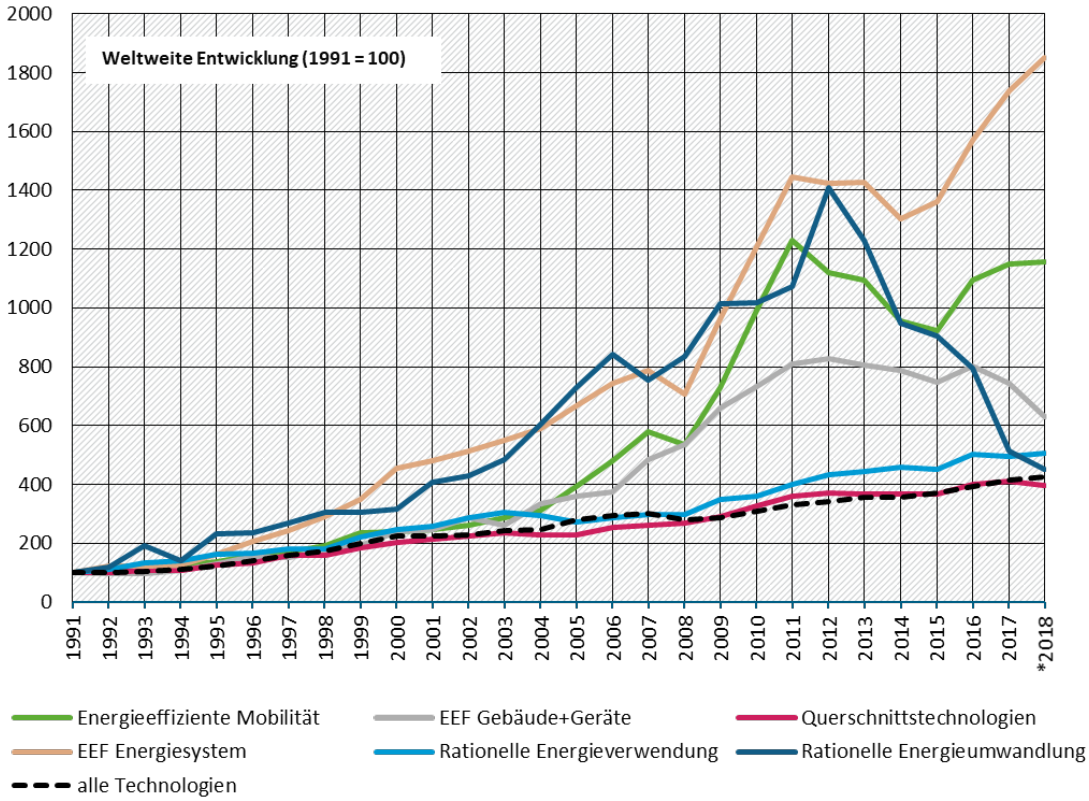
Mögliche Interpretationen für den aufgezeigten Verlauf könnte eine starke Förderung alternativer Antriebskonzepte in den 2000er Jahren sein, der leichte Rückgang nach 2011 könnte ggfs. durch eine gewisse Verunsicherung in der Industrie bezüglich des Technologiepfads und der erneute Anstieg mit einer deutlichen Entwicklung in Richtung Batterieelektrische Antriebe als zukunftsweisende Form für den Straßenverkehr erklärbar sein.

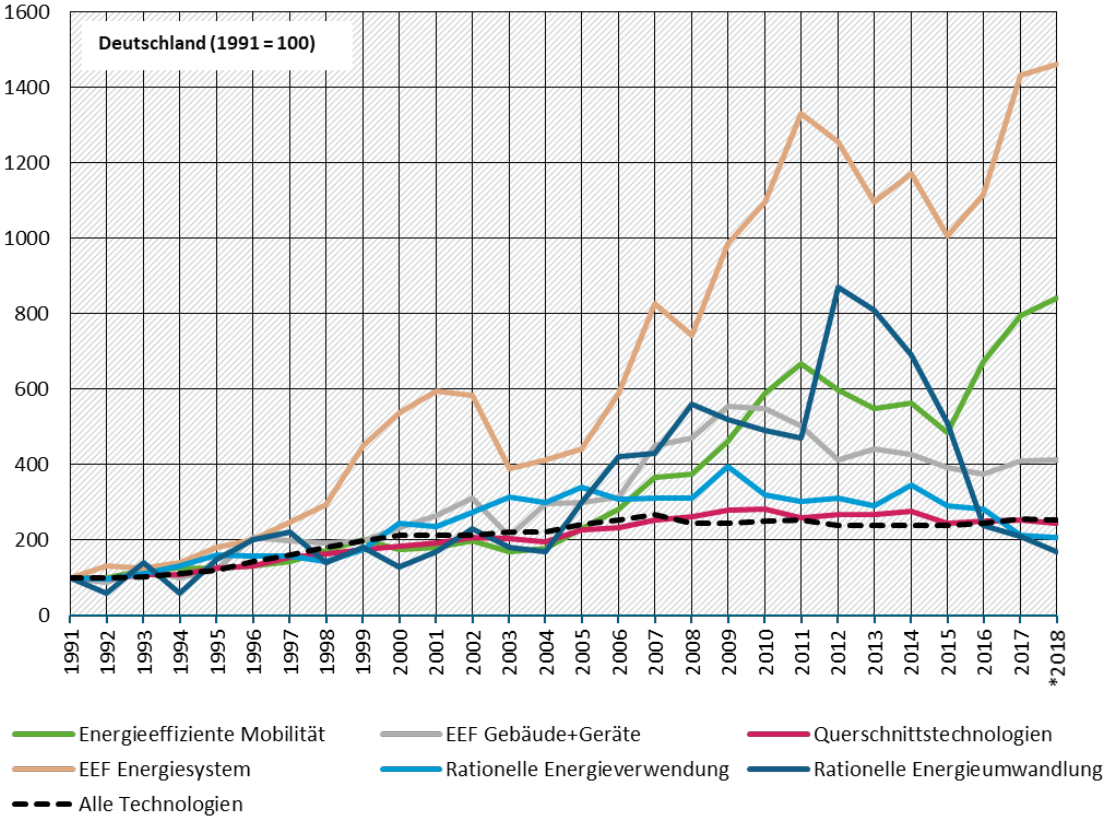
Der Blick auf Deutschland (unterer Teil der Abbildung 14) zeigt für die energieeffiziente Mobilität grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf wie die weltweite Entwicklung. Das Wachstum bis zum Jahr 2011 fällt jedoch weniger stark aus, dafür ist der erneute Anstieg ab 2016 stärker. Dies könnte darauf hindeuten, dass die deutschen Unternehmen zwar bereits vor 2011 durchaus wichtige Anteile an der Technologieentwicklung im Bereich energieeffizienter Mobilität hatten, aber ab 2016 ein erneuter Innovationsschub einsetzt mit dem Ziel, dass die Technologieführerschaft bei den verbrennungsmotorischen Technologien auch bei den energieeffizienten Antriebstechnologien fortgesetzt werden kann. Eine Studie des JRC deutet aber darauf hin, dass Deutschland auch bei Eisenbahntechnologien ein starker Player ist (van Balen u. a.. 2021). Die Rolle einzelner Technologielinien innerhalb der energieeffizienten Mobilität wird in der nächsten Aktualisierung vertieft untersucht.

Die Entwicklung bei Querschnittstechnologien ist ähnlich verhalten wie weltweit und bildet unter den neu betrachteten Energieeffizienzbereichen das Schlusslicht. Im Vergleich zum SETIS-Schlüsselaktionsfeld „Energy Efficiency in Industry“, aus dem die Querschnittstechnologien einen kleinen Ausschnitt darstellen, scheint es sich um einen weniger dynamischen Teilbereich zu handeln. Denn innerhalb des SETIS-Aktionsfelds verdoppeln sich die Patentzahlen immerhin zwischen 2000 und 2016[46]. Auch die Entwicklung der Anmeldezahlen bei Energieeffizienzpatenten in Gebäuden und Geräten ist in Deutschland verhalten. Insbesondere seit Anfang der 2010er-Jahre sind sie rückläufig bzw. zuletzt stagnierend. Mit einem Zuwachs von insgesamt rund 60 % seit dem Jahr 2000 wachsen sie aber stärker als das entsprechende (aber breiter definierte) SETIS-Schlüsselaktionsfeld „New technologies & services for consumers“, das über diesen Zeitraum nur um rund 20 % wächst.

[46] Siehe https://setis.ec.europa.eu/system/files/2021-04/ri-action-dashboard.xlsx (zuletzt abgerufen am 02.08.2021)

Abbildung 20: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Energieeffizienztechnologien



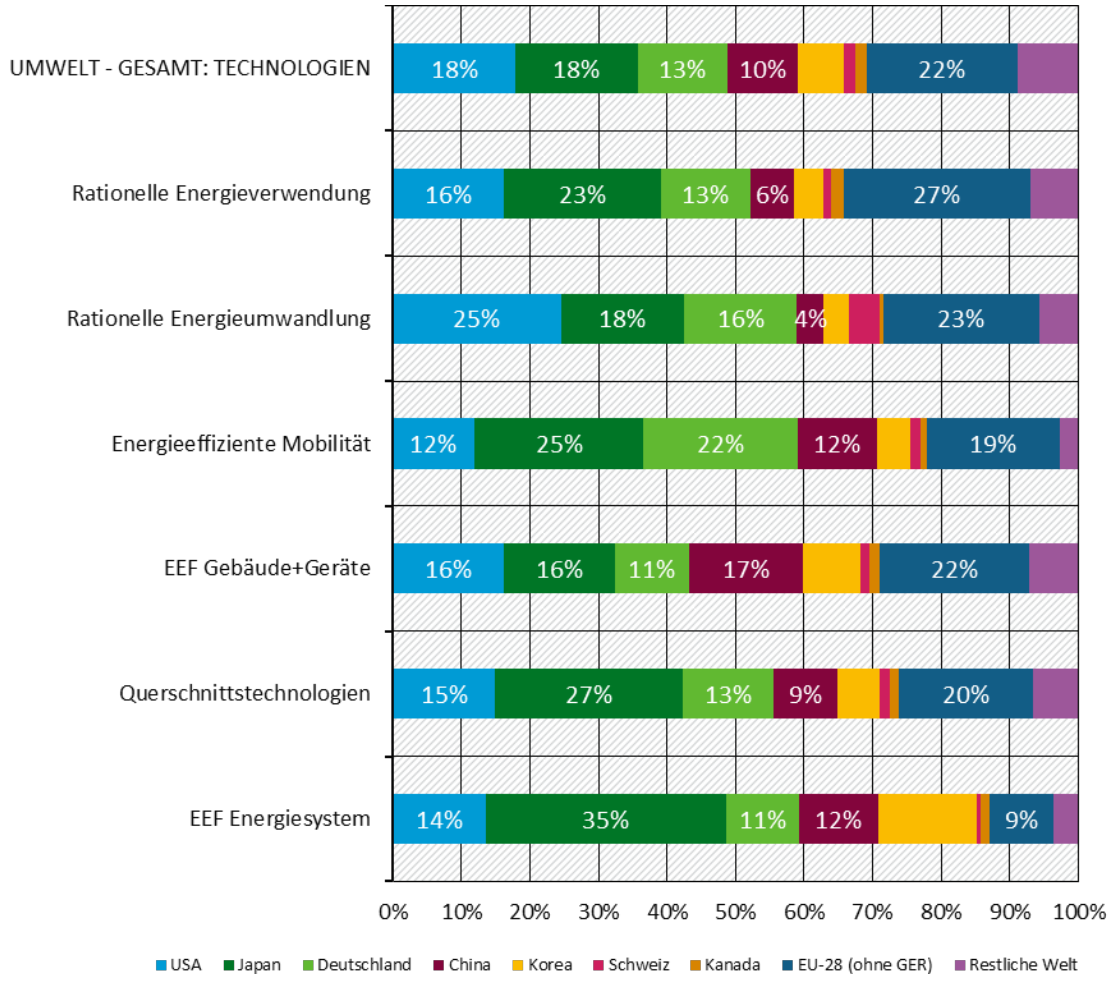


Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

3.3.2 Patentanteile und Spezialisierungsmuster bei Energieeffizienztechnologien

Bei den Patentanteilen im Bereich der Energieeffizienztechnologien zieht sich das oben für alle Umwelttechnologien gezeichnete Bild durch: Deutschland ist ein starker Player, zumeist auf Rang 3 hinter den USA und Japan (vgl. Abbildung 21 und Tabelle B. 7 im Anhang). Sein Patentanteil liegt insbesondere bei der energieeffizienten Mobilität sehr hoch - deutlich höher als sein Anteil an Umwelttechnologien insgesamt. Mit 22,4 % verzeichnet Deutschland hier im internationalen Vergleich den zweithöchsten Anteil an den transnationalen Patenten. Dies verdeutlicht die führende Rolle, die zu großen Teilen auf die Innovationsaktivitäten der deutschen Automobilhersteller und Zulieferer im Bereich der alternativen Antriebe zurückgeht. An erster Stelle steht mit fast 24,7 % Japan, das eine Vorreiterrolle im Bereich der alternativen Antriebe und den zugrundeliegenden Technologien eingenommen hat und auf eine aktive Förderpolitik in diesen Bereichen bereits seit den frühen 1990er Jahren zurückblicken kann. Zukünftig könnte der Anteil Deutschlands noch steigen, wenn sich der Trend fortsetzt, dass in Deutschland das Wachstum der Patentanmeldungen im Bereich energieeffizienter Mobilität seit 2016 dynamischer ausfällt als weltweit (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Innovationsstärke Deutschlands im Bereich energieeffizienter Mobilität wird auch beim Vergleich mit den anderen Energieeffizienztechnologien deutlich: in keinem der anderen Bereiche hat Deutschland einen größeren Anteil. Im Vergleich mit den Umwelttechnologien insgesamt, bei denen Deutschlands Patentanteil bei 13,1 % liegt, schneidet neben der effizienten Mobilität nur ein weiterer Energieeffizienzbereich deutlich besser ab. Dies ist die rationelle Energieumwandlung (vgl. auch Abschnitt 3.2.2).

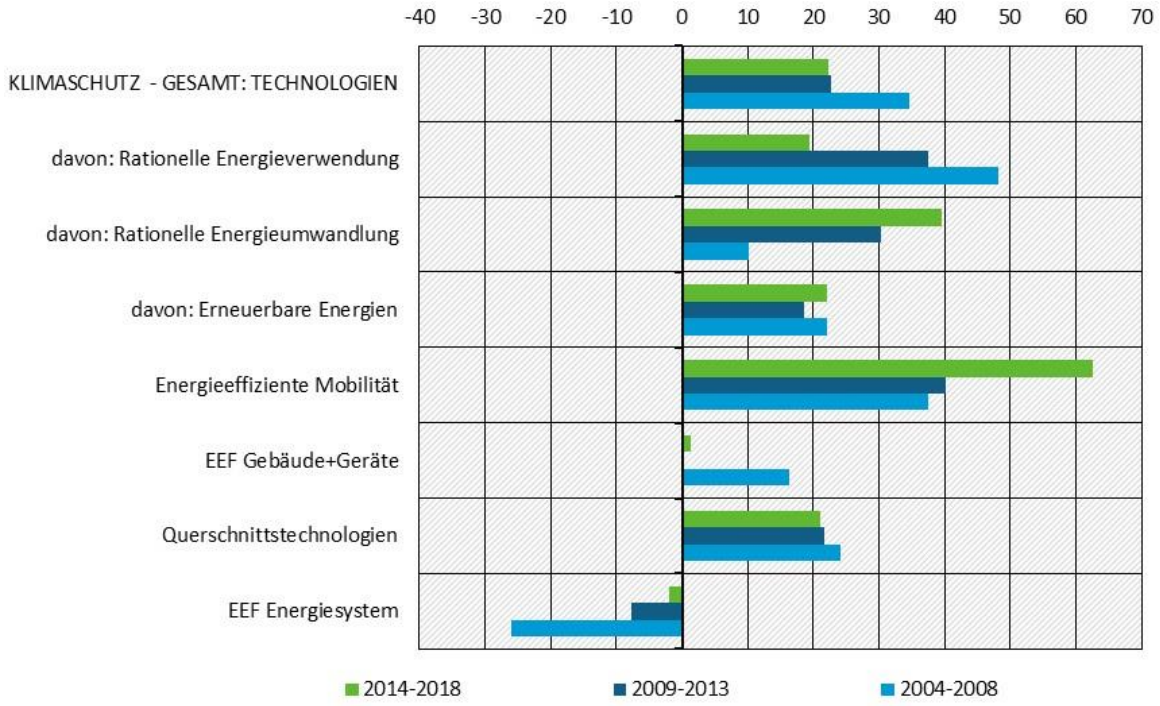
Abbildung 21: Patentanteile bei Energieeffizienztechnologien in den Jahren 2014 -2018



Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die Spezialisierungsmuster korrigieren den Einfluss der Größe eines Landes, der das Bild der Patentanteile entscheidend mitprägt. Durch den Vergleich mit dem Patentanteil Deutschlands bei allen Technologien wird nochmal deutlich, wo im Vergleich zum Gesamtaktivitätsniveau besonders hohe Patentaktivitäten zu beobachten sind. Am meisten sticht wieder der Bereich der energieeffizienten Mobilität hervor. Hier verdeutlichen die RPA-Werte das Bild, das sich bereits bei Betrachtung der Dynamik und der Patentanteile abgezeichnet hat: Deutschland hat eine ausgesprochene Stärke im Bereich energieeffizienter Mobilitätstechnologien. Diese Stärke konnte es insbesondere im jüngsten Betrachtungszeitraum ausbauen: während die RPA-Werte in den Zeiträumen 2004-2008 und 2009-2013 noch in vergleichbarer Größenordnung mit anderen Energieeffizienztechnologien waren, sind sie im Zeitraum 2014-2018 mit Abstand an erster Stelle.

Abbildung 22: Spezialisierung Deutschlands in Energieeffizienztechnologien (RPA-Werte)



Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Während die schon bisher betrachteten Klimaschutzbereiche insgesamt eine signifikant positive Spezialisierung Deutschlands zeigen (RPA > 20), ist das Bild bei den neu betrachteten Energieeffizienzbereichen jenseits von energieeffizienter Mobilität gemischt. Die Querschnittstechnologien sind ein weiterer Stützpfeiler der positiven Spezialisierung Deutschlands. Die Schwäche bei energieeffizienten Technologien für das Energiesystem konnte Deutschland in den letzten 10 Jahren ausgleichen und kommt hier jetzt auf ein durchschnittliches Niveau (RPA nahe null). Bei Gebäuden und Geräten ist die Performanz ebenfalls neutral.

3.4 Gesamtbild der Patentergebnisse für Deutschland

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass Deutschland gemessen an den Patentanmeldezahlen und den daraus ableitbaren Indikatoren auch weiterhin (eher) zu den führenden Nationen im Bereich der Umwelttechnologien zählt. Deutschland ist innerhalb der EU gemessen an seiner Zahl von Umweltpatenten mit Abstand der wichtigste Player, und kommt weltweit auf Rang 3, übertrumpft nur von der weitaus größeren Volkswirtschaft der USA und von Japan. Der Abwärtstrend der Zahl der jährlichen Patentanmeldungen konnte allerdings noch nicht gestoppt werden, und so bleibt die Dynamik bei Umwelttechnologien weiter hinter der Dynamik der allgemeinen technologischen Entwicklung zurück.

Mit Blick auf die EU-28 ist festzustellen, dass hier über Deutschland hinaus auch andere Länder sehr aktiv sind. Die EU-28 insgesamt hat mit Abstand den größten Patentanteil weltweit - deutlich höher als die USA, die von der Größe des Wirtschaftsraums her am ehesten vergleichbar wären. Damit erscheint die EU als ein Wirtschaftsraum, in dem die marktorientierte Technologieentwicklung von Umwelt- und Klimaschutztechnologien, wie sie sich in Patentaktivitäten niederschlägt, einen vergleichsweise hohen Stellenwert hat.

Bei den Herausforderungen der Bekämpfung des Klimawandels kann Deutschland auf seine ausgeprägten Spezialisierungsvorteile bei Klimaschutztechnologien bauen. Dabei sind die Innovationsaktivitäten bei Erneuerbaren Energien (insbesondere Windenergie) besonders ausgeprägt. Allerdings bleiben hier die Zuwachsraten der Patentanmeldungen in Deutschland im internationalen Vergleich zurück. Deutschland wird hier nicht nur von den Spitzenreitern China, Korea und Dänemark, sondern auch von einigen weiteren großen Playern - unter anderem Frankreich, USA und Großbritannien - übertrumpft.

Die erweiterte Betrachtung der Energieeffizienz zeigt, dass sich das Technologiefeld sehr heterogen, aber insgesamt über den Betrachtungszeitraum dynamischer entwickelt und eine stärkere Zunahme der Patentanmeldungen aufweist, als dies für Technologien insgesamt der Fall ist. Angeführt wird diese Entwicklung weltweit und auch in Deutschland vom Bereich „Energieeffizienz im Energiesystem“. Dieser Bereich wird stark von den Entwicklungen bei Energiespeichern geprägt. Bei der energieeffizienten Mobilität hat Deutschland ausgeprägte Stärken, die sich ein seinem hohen Patentanteil (Rang 2 weltweit) und einem hohen positiven Wert des Spezialisierungsindikators zeigen. Deutschlands Position beim Klimaschutz stellt sich also insgesamt positiv dar. Dagegen zeigen sich deutliche Schwächen in Technologiebereichen, die zur Klimaanpassung beitragen können und vom Klimawandel bereits heute deutlich betroffen sind: Bei Abwasser und Wassermanagement sind die Spezialisierungsindikatoren von Deutschland leicht bzw. deutlich negativ.

Für den Ausbau der Circular Economy sind die Entwicklungen im Recycling von besonderem Interesse. Deutschland hat mit gut 20 % aller Patente den weltweit höchsten Anteil an Patenten für das Recycling von Metallen und Mineralstoffen. Daraus ergibt sich ein hoher Spezialisierungsvorteil. Auch bei stoffstrom-unspezifischen Recyclingtechnologien ist Deutschland mit hohen Patentanteilen und signifikant positiver Spezialisierung sehr gut aufgestellt. Das betrifft zum Beispiel Technologien zur Zerkleinerung und Stofferkennung. Insgesamt scheint das Niveau der Recycling-Patentanmeldungen in Deutschland allerdings seit Ende der 2000er Jahre zu stagnieren.

Schließlich ist noch auf die überlegene Dynamik der umweltfreundlichen Güter gegenüber Umwelttechnologien hinzuweisen. Dies könnte mittelfristig zu einem Wandel im Öko-Innovationssystem beitragen, der in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte“ weist (vgl. Walz et al. 2019). Im Vergleich zu Umweltschutz allein durch

produktionsintegrierte Technologien könnte daraus ein noch höherer Beitrag zur Nachhaltigkeit entstehen. Allerdings ist diese Entwicklung bisher eng auf einen bestimmten Bereich begrenzt.

Mit Blick auf die kommenden Herausforderungen der Transformation zur Nachhaltigkeit gilt die Einschätzung aus Gehrke u. a. (2019, S. 104) jedoch weiterhin: „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

Breitinger, Jan C.; Dierks, Benjamin; Rausch, Thomas (2020): Weltklassepatente in Zukunftstechnologien. Die Innovationskraft Ostasiens, Nordamerikas und Europas. Bertelsmann Stiftung. Gütersloh. Online verfügbar unter https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/BST_Weltklassepatente_2020_DT.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2021.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019): Energieeffizienzstrategie 2050. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Energieeffizienz in Zahlen. Entwicklungen und Trends in Deutschland 2020. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2021): GreenTech made in Germany 2021. Umwelttechnik-Atlas für Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/greentech_atlas_2021_bf.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

Bundesregierung (2018): Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025. BMBF: Berlin. Online verfügbar unter https://www.hightech-strategie.de/hightech/shareddocs/Downloads/files/hts2025.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

Bundesregierung (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (2020-2023). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen (Kabinettsbeschluss, 17. Juni 2020). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/download/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-progress-iii/, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a0bcdc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

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.

EEA (2020): Trends and projections in Europe 2020. Tracking progress towards Europe‘s climate and energy targets. Copenhagen: European Environment Agency (EEA).

Europäische Union (2018): Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663 / 2009 and (EC) No 715 / 2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/ 22/ EC, 98/ 70/ EC, 2009/ 31/ EC, 2009/ 73/ EC, 2010/ 31/ EU, 2012/ 27/ EU and 2013/ 30/ EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/ 119/ EC and (EU) 2015/ 652 and repealing Regulation (EU) No 525 / 2013 of the European Parliament and of the Council. REGULATION (EU) 2018/ 1999 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018. Brüssel.

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 (2020): 2020 Report on the State of the Energy Union pursuant to Regulation (EU) 2018/1999 on Governance of the Energy Union and Climate Action. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 950. Brussels: European Commission.

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.

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.

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

Frankfurt School-UNEP Centre / BNEF (2019): Global Trends in Renewable Energy Investment 2019. Frankfurt School of Finance & Management gGmbH.

Frankfurt School-UNEP Centre / BNEF (2020): Global Trends in Renewable Energy Investment 2020. Frankfurt School of Finance & Management gGmbH.

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., 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).

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 (2017): Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Produktion, Umsatz und Außenhandel. Hr. vom Umweltbundesamt und BMUB. Dessau-Roßlau (Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 3/2017).

Gehrke, Birgit; Schasse, Ulrich; Ostertag, Katrin; Marscheider-Weidemann, Frank (2015): Innovationsmotor Umweltschutz. Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, BMUB (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 05/2015).

Gehrke, Birgit; Ingwersen, Kai; Schasse, Ulrich; Ostertag, Katrin; Marscheider-Weidemann, Frank; Rothengatter, Oliver (2019): Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich. Aktualisierte Ausgabe 2019. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 06/2019).

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.

International Energy Agency (2018b): World Energy Investment 2018. OECD / IEA.

International Energy Agency (2019): Technology Innovation to Accelerate Energy Transitions.

International Energy Agency (2020a): World Energy Investment 2020. OECD / IEA, July 2020.

International Energy Agency (2020b): Energy Technology RD&D Budgets, April 2020 Edition. Database Documentation. IEA, Paris.

International Energy Agency (2020c): Energy Technology RD&D Budgets Overview, Statistical Report, April 2020. IEA, Paris.

International Energy Agency (IEA) (2011): IEA Guide to Reporting Energy RD&D Budget/Expenditure Statistics. June 2011 edition. OECD/IEA, Paris.

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.

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.

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.

Pasimeni, F., Fiorini, A., Georgakaki, A. (2019): Assessing private R&D spending in Europe for climate change mitigation technologies via patent data. In: World Patent Information 59 (2019) 101927. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1016/j.wpi.2019.101927

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 https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-10115-10001, zuletzt geprüft am 30.03.2021.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2020): Renewables 2020. Global Status Report.

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).

Schasse, U., Gehrke, B., Belitz, H., Eckl, V., Stenke, G. (2020): Forschung und Entwicklung in Staat und Wirtschaft - Deutschland im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 2-2020. Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation.

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) (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.

van Balen, Mitchell; Pasimeni, Francesco; Georgakaki, Aliki (2021): Insights into railway innovation through patenting trends. Valenciennes: European Union Agency for Railsways (JRC, 124878).

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.

A Methodischer Anhang

A.1 Technologielinien und umweltfreundliche Güter („adapted goods“) in der Patentanalyse

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 lärmabsorbierende 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 Kunststoff- / Gummirecycling Metallrecycling Mineralstoffrecycling (Straßenbaustoffe)
„Adapted goods“	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	**CReMA 11B: Minimierung der Aufnahme von Waldressourcen**
Technologielinien	Papierrecycling
„Adapted goods“	keine

Kunststoff- / Gummi-recycling	**CReMA 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	**CReMA 14: Management mineralischer Rohstoffe**
Technologielinien	Metallrecycling Mineralstoffrecycling (Straßenbaustoffe)
„Adapted goods“	Phosphat aus sekundären Quellen (Phosphatrecycling aus Abwasser und aus Feststoffen, z. B. Schlacken)

Recycling von Metallen und mineralischen Abfällen	**CReMA 14: Management mineralischer Rohstoffe**
	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[47]	**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

[47] * = Suchstrategie auf Basis der Y02-Klassifikation des EPA / USPTO

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

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer ISI entnommen aus Gehrke u. a. 2019, 111 ff.

B Statistischer Anhang

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

	2007-2009	2012-2014	2017-2019	2007-2009	2012-2014	2017-2019
Deutschland						
Energieeffizienz	11,2	22,7	17,6	0,02	0,06	0,06
Erneuerbare Energien	26,5	32,0	23,1	0,05	0,09	0,07
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	5,3	2,9	2,9	0,01	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	1,6	7,5	11,6	0,00	0,02	0,04
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	15,3	3,6	5,8	0,03	0,01	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	15,6	0,00	0,00	0,05
Zukunftsorientierte Technologien insg.	59,9	68,7	76,6	0,12	0,19	0,25
Fossile Energieträger	5,8	3,9	3,5	0,01	0,01	0,01
Nuklearenergie	34,4	27,4	19,9	0,07	0,08	0,06
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,20	0,28	0,32
Frankreich						
Energieeffizienz	12,1	14,2	14,6	0,06	0,08	0,07
Erneuerbare Energien	10,0	13,3	11,6	0,05	0,08	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	5,4	2,9	2,5	0,03	0,02	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	2,2	2,5	4,0	0,01	0,01	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	1,0	4,5	9,2	0,01	0,03	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	30,7	37,4	41,9	0,16	0,22	0,21
Fossile Energieträger	14,0	8,2	3,4	0,07	0,05	0,02
Nuklearenergie	55,3	54,4	54,8	0,29	0,32	0,27
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,53	0,59	0,49
Vereinigtes Königreich						
Energieeffizienz	20,5	25,4	31,2	0,03	0,05	0,10
Erneuerbare Energien	36,8	20,4	12,9	0,04	0,04	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	5,7	4,5	1,6	0,01	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	5,4	7,0	10,1	0,01	0,01	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	6,9	12,9	8,1	0,01	0,03	0,03
nicht zugewiesen	0,0	0,0	6,0	0,00	0,00	0,02
Zukunftsorientierte Technologien insg.	75,3	70,1	69,9	0,09	0,14	0,23
Fossile Energieträger	7,3	13,5	4,0	0,01	0,03	0,01
Nuklearenergie	17,5	16,5	26,1	0,02	0,03	0,08
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,12	0,20	0,33
Italien						
Energieeffizienz	26,9	14,4	15,4	0,06	0,05	0,04
Erneuerbare Energien	18,0	20,2	19,5	0,04	0,07	0,05
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	6,4	2,3	2,3	0,01	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	14,3	21,0	12,0	0,03	0,07	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	2,8	8,7	10,2	0,01	0,03	0,03
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	68,4	66,6	59,3	0,15	0,23	0,15
Fossile Energieträger	8,8	17,0	20,2	0,02	0,06	0,05
Nuklearenergie	22,8	16,4	20,5	0,05	0,06	0,05
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,22	0,34	0,25
Spanien						
Energieeffizienz	11,3	17,3	14,2	0,01	0,02	0,01
Erneuerbare Energien	47,3	51,7	50,8	0,04	0,06	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,9	3,6	3,3	0,00	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	6,3	7,4	11,1	0,01	0,01	0,01
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,2	1,4	19,4	0,00	0,00	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	70,0	81,3	98,8	0,06	0,09	0,07
Fossile Energieträger	5,1	3,8	0,5	0,00	0,00	0,00
Nuklearenergie	24,9	14,9	0,6	0,02	0,02	0,00
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,09	0,11	0,08

2017/18 statt 2017-2019: Frankreich, Großbritannien, Italien, 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

	gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2007-2009	2012-2014	2017-2019	2007-2009	2012-2014	2017-2019
Dänemark						
Energieeffizienz	11,5	22,4	18,6	0,05	0,13	0,05
Erneuerbare Energien	48,2	44,3	41,8	0,20	0,26	0,12
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	21,2	14,2	11,5	0,09	0,08	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	10,0	10,7	21,3	0,04	0,06	0,06
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	5,3	4,2	0,9	0,02	0,02	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	2,0	0,00	0,00	0,01
Zukunftsorientierte Technologien insg.	96,2	95,8	96,0	0,39	0,56	0,27
Fossile Energieträger	3,1	1,9	2,3	0,01	0,01	0,01
Nuklearenergie	0,7	2,3	1,7	0,00	0,01	0,00
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,41	0,59	0,28
Schweden						
Energieeffizienz	40,3	41,9	47,0	0,13	0,15	0,17
Erneuerbare Energien	32,9	34,8	20,0	0,11	0,13	0,07
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	2,2	2,1	0,5	0,01	0,01	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	6,6	9,2	8,1	0,02	0,03	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	12,4	9,2	13,7	0,04	0,03	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,0	9,7	0,00	0,00	0,04
Zukunftsorientierte Technologien insg.	94,4	97,1	99,1	0,30	0,35	0,36
Fossile Energieträger	0,1	1,0	0,4	0,00	0,00	0,00
Nuklearenergie	5,5	1,9	0,5	0,02	0,01	0,00
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,32	0,36	0,37
Norwegen						
Energieeffizienz	4,8	27,3	28,2	0,03	0,28	0,33
Erneuerbare Energien	18,2	16,9	32,2	0,10	0,17	0,38
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	5,2	1,6	1,6	0,03	0,02	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,7	3,9	7,2	0,02	0,04	0,09
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	4,3	4,4	2,6	0,02	0,04	0,03
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,3	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	36,2	54,1	72,1	0,20	0,55	0,85
Fossile Energieträger	58,3	43,0	26,0	0,32	0,44	0,31
Nuklearenergie	5,5	2,9	1,8	0,03	0,03	0,02
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,56	1,02	1,18
Finnland						
Energieeffizienz	42,9	56,5	52,0	0,42	0,63	0,42
Erneuerbare Energien	20,8	17,8	19,1	0,20	0,20	0,16
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	10,7	8,3	5,3	0,10	0,09	0,04
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	15,5	8,1	7,9	0,15	0,09	0,06
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	89,9	90,6	84,4	0,87	1,01	0,69
Fossile Energieträger	3,4	2,7	0,9	0,03	0,03	0,01
Nuklearenergie	6,7	6,7	14,7	0,07	0,07	0,12
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,97	1,12	0,81
Niederlande						
Energieeffizienz	33,6	25,2	30,8	0,10	0,07	0,08
Erneuerbare Energien	31,0	45,8	41,9	0,09	0,12	0,10
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,8	0,3	3,9	0,01	0,00	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	5,0	9,9	7,3	0,02	0,03	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	3,4	8,4	3,3	0,01	0,02	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,7	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	77,8	89,5	88,0	0,23	0,24	0,22
Fossile Energieträger	13,5	5,5	8,6	0,04	0,01	0,02
Nuklearenergie	8,7	5,0	3,4	0,03	0,01	0,01
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,30	0,27	0,25

2017/18 statt 2017-2019: Dänemark, Finnland, Niederlande.

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

	gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2007-2009	2012-2014	2017-2019	2007-2009	2012-2014	2017-2019
Österreich						
Energieeffizienz	35,1	44,5	46,8	0,08	0,18	0,18
Erneuerbare Energien	36,8	23,2	15,4	0,08	0,09	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	3,2	4,1	4,5	0,01	0,02	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	7,1	20,7	21,0	0,02	0,08	0,08
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	10,2	3,9	10,1	0,02	0,02	0,04
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	92,4	96,5	97,9	0,21	0,38	0,37
Fossile Energieträger	2,1	1,8	1,0	0,00	0,01	0,00
Nuklearenergie	5,5	1,7	1,1	0,01	0,01	0,00
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,23	0,40	0,37
Schweiz						
Energieeffizienz	15,3	24,7	23,3	0,05	0,10	0,13
Erneuerbare Energien	22,7	26,9	30,3	0,08	0,11	0,17
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	8,1	10,4	6,6	0,03	0,04	0,04
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	10,7	8,8	14,3	0,04	0,04	0,08
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	7,6	6,6	8,8	0,03	0,03	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,2	0,4	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	64,4	77,6	83,7	0,21	0,32	0,48
Fossile Energieträger	7,9	4,5	2,6	0,03	0,02	0,02
Nuklearenergie	27,7	17,9	13,7	0,09	0,07	0,08
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,33	0,42	0,58
USA						
Energieeffizienz	18,3	19,2	17,5	0,08	0,07	0,06
Erneuerbare Energien	17,6	18,4	10,3	0,07	0,07	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	5,5	2,2	1,6	0,02	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	6,4	2,7	1,3	0,03	0,01	0,00
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	13,7	38,5	44,8	0,06	0,14	0,15
nicht zugewiesen	0,0	0,0	1,4	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	61,5	81,0	76,8	0,26	0,29	0,27
Fossile Energieträger	24,0	5,9	7,7	0,10	0,02	0,03
Nuklearenergie	14,5	13,0	15,5	0,06	0,05	0,05
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,42	0,36	0,35
Japan						
Energieeffizienz	11,4	12,0	22,8	0,09	0,08	0,12
Erneuerbare Energien	4,6	22,2	13,3	0,03	0,15	0,07
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	5,1	3,7	7,5	0,04	0,02	0,04
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,4	2,3	6,1	0,03	0,02	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,0	0,0	6,8	0,00	0,00	0,04
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	24,5	40,2	56,5	0,19	0,27	0,31
Fossile Energieträger	9,2	11,3	5,3	0,07	0,08	0,03
Nuklearenergie	66,3	48,5	38,2	0,51	0,33	0,21
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,76	0,68	0,55
Rep. Korea						
Energieeffizienz	18,2	15,8	24,9	0,08	0,08	0,09
Erneuerbare Energien	19,4	24,3	24,6	0,09	0,12	0,09
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	11,4	4,9	6,5	0,05	0,02	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	10,0	15,6	18,4	0,04	0,08	0,06
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	2,7	9,7	5,8	0,01	0,05	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	61,7	70,2	80,2	0,28	0,35	0,28
Fossile Energieträger	13,4	14,5	8,5	0,06	0,07	0,03
Nuklearenergie	24,9	15,3	11,3	0,11	0,08	0,04
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,45	0,49	0,35

2017/18 statt 2017-2019: Österreich, 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

	gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2007-2009	2012-2014	2017-2019	2007-2009	2012-2014	2017-2019
Ungarn						
Energieeffizienz	93,0	81,1	64,1	0,73	0,27	0,13
Erneuerbare Energien	5,7	5,4	20,5	0,05	0,02	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	0,0	0,1	3,2	0,00	0,00	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	0,0	0,3	10,9	0,00	0,00	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,0	12,0	0,0	0,00	0,04	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	98,8	98,9	98,8	0,78	0,33	0,21
Fossile Energieträger	0,7	0,6	1,2	0,01	0,00	0,00
Nuklearenergie	0,5	0,5	0,0	0,00	0,00	0,00
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,79	0,33	0,21
Slowakische Rep.						
Energieeffizienz	6,4	9,2	59,1	0,02	0,03	0,02
Erneuerbare Energien	23,5	56,4	18,8	0,06	0,18	0,01
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	7,4	0,1	1,0	0,02	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	1,3	9,7	10,3	0,00	0,03	0,00
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	21,7	7,1	1,8	0,06	0,02	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	60,3	82,4	91,0	0,16	0,26	0,04
Fossile Energieträger	7,3	0,7	0,3	0,02	0,00	0,00
Nuklearenergie	32,3	16,9	8,6	0,08	0,05	0,00
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,26	0,31	0,04
Polen						
Energieeffizienz	36,5	25,2	18,5	0,05	0,06	0,02
Erneuerbare Energien	23,8	14,0	27,3	0,03	0,03	0,03
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	3,4	4,4	1,1	0,00	0,01	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	11,8	14,0	13,8	0,02	0,03	0,01
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,7	1,1	12,2	0,00	0,00	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,0	1,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	76,1	58,7	73,8	0,11	0,15	0,07
Fossile Energieträger	20,1	32,0	20,1	0,03	0,08	0,02
Nuklearenergie	3,9	9,3	6,1	0,01	0,02	0,01
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,14	0,25	0,10
Estland						
Energieeffizienz	n.a.	32,8	66,2	n.a.	0,49	0,32
Erneuerbare Energien	n.a.	3,8	12,4	n.a.	0,06	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	n.a.	1,7	5,4	n.a.	0,03	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	n.a.	58,2	5,8	n.a.	0,87	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	n.a.	0,1	6,2	n.a.	0,00	0,03
nicht zugewiesen	n.a.	0,0	0,0	n.a.	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	n.a.	96,6	95,9	n.a.	1,45	0,46
Fossile Energieträger	n.a.	2,6	2,6	n.a.	0,04	0,01
Nuklearenergie	n.a.	0,8	1,5	n.a.	0,01	0,01
Ingesamt	n.a.	100,0	100,0	n.a.	1,50	0,48
Kanada						
Energieeffizienz	13,2	11,3	25,0	0,06	0,07	0,11
Erneuerbare Energien	13,3	12,7	12,4	0,06	0,08	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	7,1	1,6	2,3	0,03	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	4,6	9,6	11,5	0,02	0,06	0,05
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	1,6	3,8	2,0	0,01	0,02	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Zukunftsorientierte Technologien insg.	39,9	39,0	53,2	0,19	0,24	0,24
Fossile Energieträger	26,7	51,9	31,9	0,13	0,32	0,14
Nuklearenergie	33,4	9,0	14,9	0,16	0,06	0,07
Ingesamt	100,0	100,0	100,0	0,48	0,62	0,45

2008/09 statt 2007-2009: Slowakei, Polen. – n.a.: nicht ausgewiesen.

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

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2007-2009	2017-2019	2007-2009	2017-2019
Deutschland				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,05	0,07
Solarenergie	42,8	41,0	0,02	0,03
Windernergie	18,8	28,1	0,01	0,02
Meeresenergie	0,7	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	15,1	13,6	0,01	0,01
Geothermische Energie	9,1	6,1	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,1	0,7	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	13,5	2,7	0,01	0,00
nicht zugewiesen	0,0	7,7	0,00	0,01
Frankreich				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,05	0,06
Solarenergie	39,5	41,8	0,02	0,02
Windernergie	1,4	4,8	0,00	0,00
Meeresenergie	0,8	5,9	0,00	0,00
Bioenergie	51,6	38,3	0,03	0,02
Geothermische Energie	4,7	3,9	0,00	0,00
Hydroelektrizität	1,3	1,4	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,8	2,8	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	1,0	0,00	0,00
Vereinigtes Königreich				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,04	0,04
Solarenergie	11,0	21,5	0,00	0,01
Windernergie	12,5	32,7	0,01	0,01
Meeresenergie	5,6	9,7	0,00	0,00
Bioenergie	37,2	21,1	0,02	0,01
Geothermische Energie	2,1	0,6	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	3,7	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,5	0,3	0,00	0,00
nicht zugewiesen	30,2	10,4	0,01	0,00
Italien				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,04	0,05
Solarenergie	69,4	28,4	0,03	0,01
Windernergie	5,7	2,0	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	20,8	11,3	0,01	0,01
Geothermische Energie	1,5	6,4	0,00	0,00
Hydroelektrizität	1,5	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,0	17,5	0,00	0,01
nicht zugewiesen	0,0	34,3	0,00	0,02
Spanien				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,04	0,04
Solarenergie	48,6	27,3	0,02	0,01
Windernergie	13,0	44,9	0,01	0,02
Meeresenergie	3,5	5,5	0,00	0,00
Bioenergie	32,0	7,2	0,01	0,00
Geothermische Energie	0,0	6,9	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,2	3,7	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,0	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	2,8	4,3	0,00	0,00

2017/18 statt 2017-2019: Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien.

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

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2007-2009	2017-2019	2007-2009	2017-2019
Dänemark				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,20	0,12
Solarenergie	13,8	9,7	0,03	0,01
Windernergie	31,3	70,1	0,06	0,08
Meeresenergie	8,5	0,4	0,02	0,00
Bioenergie	44,8	15,0	0,09	0,02
Geothermische Energie	1,5	4,5	0,00	0,01
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,1	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,3	0,00	0,00
Schweden				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,11	0,07
Solarenergie	12,4	14,9	0,01	0,01
Windernergie	8,8	6,4	0,01	0,00
Meeresenergie	2,7	9,8	0,00	0,01
Bioenergie	71,4	49,8	0,08	0,04
Geothermische Energie	0,0	0,4	0,00	0,00
Hydroelektrizität	3,4	4,2	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,4	0,1	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	14,5	0,00	0,01
Norwegen				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,10	0,38
Solarenergie	28,2	7,5	0,03	0,03
Windernergie	20,3	64,5	0,02	0,25
Meeresenergie	16,0	0,9	0,02	0,00
Bioenergie	14,1	12,7	0,01	0,05
Geothermische Energie	0,0	1,1	0,00	0,00
Hydroelektrizität	17,2	6,2	0,02	0,02
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,7	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	3,4	7,1	0,00	0,03
Finnland				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,20	0,16
Solarenergie	9,8	16,3	0,02	0,03
Windernergie	19,0	27,1	0,04	0,04
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	65,2	53,8	0,13	0,08
Geothermische Energie	0,0	0,0	0,00	0,00
Hydroelektrizität	3,4	0,6	0,01	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,4	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	1,3	2,2	0,00	0,00
Niederlande				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,09	0,10
Solarenergie	31,4	24,3	0,03	0,03
Windernergie	12,8	33,5	0,01	0,03
Meeresenergie	0,2	0,5	0,00	0,00
Bioenergie	55,3	24,9	0,05	0,03
Geothermische Energie	0,1	16,2	0,00	0,02
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,2	0,3	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,2	0,3	0,00	0,00

2017/18 statt 2017-2019: Dänemark, Finnland, Niederlande.

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

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2007-2009	2017-2019	2007-2009	2017-2019
Österreich				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,08	0,06
Solarenergie	20,9	40,5	0,02	0,02
Windernergie	2,3	2,0	0,00	0,00
Meeresenergie	0,4	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	68,1	38,4	0,06	0,02
Geothermische Energie	1,7	5,3	0,00	0,00
Hydroelektrizität	3,7	8,1	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	2,8	0,9	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	4,8	0,00	0,00
Schweiz				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,08	0,17
Solarenergie	55,9	43,3	0,04	0,08
Windernergie	3,2	3,4	0,00	0,01
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	18,7	22,3	0,01	0,04
Geothermische Energie	8,9	19,4	0,01	0,03
Hydroelektrizität	13,4	11,4	0,01	0,02
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,0	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,2	0,00	0,00
USA				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,07	0,04
Solarenergie	22,7	31,7	0,02	0,01
Windernergie	7,6	12,5	0,01	0,00
Meeresenergie	1,2	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	51,2	31,8	0,04	0,01
Geothermische Energie	13,1	10,7	0,01	0,00
Hydroelektrizität	1,4	13,4	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	2,9	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,00	0,00
Japan				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,03	0,07
Solarenergie	9,8	13,8	0,00	0,01
Windernergie	2,5	52,5	0,00	0,04
Meeresenergie	0,0	2,9	0,00	0,00
Bioenergie	19,7	16,3	0,01	0,01
Geothermische Energie	0,0	5,7	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,1	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	68,0	4,7	0,02	0,00
nicht zugewiesen	0,0	4,0	0,00	0,00
Rep. Korea				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,09	0,09
Solarenergie	52,2	40,3	0,05	0,03
Windernergie	23,9	20,4	0,02	0,02
Meeresenergie	2,8	2,2	0,00	0,00
Bioenergie	6,8	14,2	0,01	0,01
Geothermische Energie	4,1	2,6	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,8	4,4	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	9,4	15,7	0,01	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,1	0,00	0,00

2017/18 statt 2017-2019: Österreich, 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

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2007-2009	2017-2019	2007-2009	2017-2019
Ungarn				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,05	0,04
Solarenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Windernergie	2,1	0,0	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	97,9	0,0	0,04	0,00
Geothermische Energie	0,0	0,0	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,0	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	100,0	0,00	0,04
Slowakische Rep.				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,06	0,01
Solarenergie	43,7	25,3	0,03	0,00
Windernergie	26,6	0,0	0,02	0,00
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	18,1	17,3	0,01	0,00
Geothermische Energie	11,1	46,4	0,01	0,00
Hydroelektrizität	0,5	1,4	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,0	7,7	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	1,8	0,00	0,00
Polen				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,03	0,03
Solarenergie	22,4	34,3	0,01	0,01
Windernergie	2,1	11,3	0,00	0,00
Meeresenergie	0,0	0,1	0,00	0,00
Bioenergie	42,3	34,7	0,01	0,01
Geothermische Energie	0,1	0,9	0,00	0,00
Hydroelektrizität	29,3	3,6	0,01	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,3	5,8	0,00	0,00
nicht zugewiesen	3,5	9,4	0,00	0,00
Estland				
Erneuerbare Energien	n.a.	100,0	n.a.	0,06
Solarenergie	n.a.	28,4	n.a.	0,02
Windernergie	n.a.	0,0	n.a.	0,00
Meeresenergie	n.a.	0,0	n.a.	0,00
Bioenergie	n.a.	7,4	n.a.	0,00
Geothermische Energie	n.a.	0,0	n.a.	0,00
Hydroelektrizität	n.a.	0,7	n.a.	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	n.a.	0,0	n.a.	0,00
nicht zugewiesen	n.a.	63,5	n.a.	0,04
Kanada				
Erneuerbare Energien	100,0	100,0	0,06	0,06
Solarenergie	17,3	25,0	0,01	0,01
Windernergie	7,5	4,0	0,00	0,00
Meeresenergie	5,5	2,6	0,00	0,00
Bioenergie	50,4	46,0	0,03	0,03
Geothermische Energie	1,6	4,2	0,00	0,00
Hydroelektrizität	11,7	13,5	0,01	0,01
sonstige erneuerbare Energiequellen	6,1	1,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	3,8	0,00	0,00

2008/09 statt 2007-2009: Slowakei, Polen. – n.a.: nicht ausgewiesen.

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

Tabelle B. 3: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrations-projekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2007-2009	2017-2019	2007-2009	2017-2019
Deutschland				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,02	0,06
Industrie	24,0	29,7	0,01	0,02
Gebäude	31,5	23,3	0,01	0,01
Verkehr	3,0	11,0	0,00	0,01
sonstige Energieeffizienz	41,6	18,6	0,01	0,01
nicht zugewiesen	0,0	17,4	0,00	0,01
Frankreich				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,06	0,07
Industrie	11,5	7,2	0,01	0,01
Gebäude	22,9	15,3	0,01	0,01
Verkehr	59,3	64,7	0,04	0,05
sonstige Energieeffizienz	6,4	12,8	0,00	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,00	0,00
Vereinigtes Königreich				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,03	0,10
Industrie	4,6	1,2	0,00	0,00
Gebäude	21,6	12,3	0,01	0,01
Verkehr	32,3	71,3	0,01	0,07
sonstige Energieeffizienz	0,1	1,9	0,00	0,00
nicht zugewiesen	41,3	13,3	0,01	0,01
Italien				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,06	0,04
Industrie	11,0	20,8	0,01	0,01
Gebäude	54,8	14,5	0,03	0,01
Verkehr	18,5	15,4	0,01	0,01
sonstige Energieeffizienz	15,8	20,2	0,01	0,01
nicht zugewiesen	0,0	29,1	0,00	0,01
Spanien				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,01	0,01
Industrie	23,7	65,3	0,00	0,01
Gebäude	40,1	11,6	0,00	0,00
Verkehr	10,2	1,5	0,00	0,00
sonstige Energieeffizienz	0,0	12,6	0,00	0,00
nicht zugewiesen	26,0	9,0	0,00	0,00
Dänemark				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,05	0,05
Industrie	22,5	16,5	0,01	0,01
Gebäude	55,6	65,5	0,03	0,03
Verkehr	2,3	3,2	0,00	0,00
sonstige Energieeffizienz	19,6	13,7	0,01	0,01
nicht zugewiesen	0,0	1,1	0,00	0,00
Schweden				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,13	0,2
Industrie	20,4	29,0	0,03	0,0
Gebäude	13,4	16,3	0,02	0,0
Verkehr	60,4	51,0	0,08	0,1
sonstige Energieeffizienz	5,7	3,6	0,01	0,0
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,00	0,0
Norwegen				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,03	0,33
Industrie	42,9	45,8	0,01	0,15
Gebäude	29,2	19,0	0,01	0,06
Verkehr	25,8	28,7	0,01	0,10
sonstige Energieeffizienz	2,1	0,3	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	6,2	0,00	0,02
Finnland				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,42	0,42
Industrie	46,6	29,9	0,19	0,13
Gebäude	24,1	20,9	0,10	0,09
Verkehr	22,7	38,6	0,09	0,16
sonstige Energieeffizienz	6,6	10,6	0,03	0,04
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,00	0,00
Niederlande				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,1	0,08
Industrie	34,8	46,1	0,0	0,04
Gebäude	34,7	23,5	0,0	0,02
Verkehr	2,8	8,6	0,0	0,01
sonstige Energieeffizienz	27,7	21,8	0,0	0,02
nicht zugewiesen	0,1	0,0	0,0	0,00

2017/18 statt 2017-2019: Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien, Dänemark, Finnland, Niederlande.

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

	[illegible]		[illegible]	
	2007-2009	2017-2019	2007-2009	2017-2019
Österreich				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,08	0,18
Industrie	17,5	11,3	0,01	0,02
Gebäude	45,9	21,6	0,04	0,04
Verkehr	27,0	39,9	0,02	0,07
sonstige Energieeffizienz	9,5	22,3	0,01	0,04
nicht zugewiesen	0,0	4,9	0,00	0,01
Schweiz				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,05	0,13
Industrie	15,6	14,3	0,01	0,02
Gebäude	38,5	40,0	0,02	0,05
Verkehr	24,2	33,6	0,01	0,05
sonstige Energieeffizienz	21,7	11,5	0,01	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,6	0,00	0,00
USA				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,08	0,06
Industrie	36,6	23,8	0,03	0,01
Gebäude	11,7	17,4	0,01	0,01
Verkehr	49,5	58,4	0,04	0,04
sonstige Energieeffizienz	2,2	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,4	0,00	0,00
Japan				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,09	0,12
Industrie	34,7	54,6	0,03	0,07
Gebäude	27,5	7,1	0,02	0,01
Verkehr	16,1	12,1	0,01	0,02
sonstige Energieeffizienz	21,6	2,4	0,02	0,00
nicht zugewiesen	0,0	23,8	0,00	0,03
Rep. Korea				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,08	0,09
Industrie	61,3	16,6	0,05	0,01
Gebäude	20,8	15,1	0,02	0,01
Verkehr	16,5	18,2	0,01	0,02
sonstige Energieeffizienz	1,4	34,4	0,00	0,03
nicht zugewiesen	0,0	15,7	0,00	0,01
Ungarn				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,73	0,13
Industrie	47,9	27,8	0,35	0,04
Gebäude	12,5	54,8	0,09	0,07
Verkehr	30,4	7,5	0,22	0,01
sonstige Energieeffizienz	9,2	8,9	0,07	0,01
nicht zugewiesen	0,0	1,0	0,00	0,00
Slowakische Rep.				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,02	0,0
Industrie	21,1	13,2	0,00	0,0
Gebäude	66,2	18,0	0,01	0,0
Verkehr	3,8	45,4	0,00	0,0
sonstige Energieeffizienz	8,9	23,3	0,00	0,0
nicht zugewiesen	0,0	0,1	0,00	0,0
Polen				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,05	0,02
Industrie	31,3	8,8	0,02	0,00
Gebäude	9,5	26,4	0,00	0,00
Verkehr	53,8	22,8	0,03	0,00
sonstige Energieeffizienz	4,6	35,7	0,00	0,01
nicht zugewiesen	0,9	6,3	0,00	0,00
Estland				
Energieeffizienz insg.	n.a.	100,0	n.a.	0,32
Industrie	n.a.	13,5	n.a.	0,04
Gebäude	n.a.	15,6	n.a.	0,05
Verkehr	n.a.	7,7	n.a.	0,02
sonstige Energieeffizienz	n.a.	44,8	n.a.	0,14
nicht zugewiesen	n.a.	18,4	n.a.	0,06
Kanada				
Energieeffizienz insg.	100,0	100,0	0,1	0,11
Industrie	35,1	31,3	0,0	0,04
Gebäude	24,4	17,0	0,0	0,02
Verkehr	26,2	35,9	0,0	0,04
sonstige Energieeffizienz	14,3	10,7	0,0	0,01
nicht zugewiesen	0,0	5,2	0,0	0,01

2008/09 statt 2007-2009: Slowakei, Polen. - 2017/18 statt 2017-2019: Österreich, Rep. Korea. – n.a.: nicht ausgewiesen.
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: Patentanteile ausgewählter Länder und der EU-28 im Bereich Klimaschutz (2014-2018)

	Erneuerbare Energien	Rationelle Energieumwandlung	Rationelle Energieverwendung	Klimaschutz (Alle Technologien)
Japan	15,4%	18,0%	23,0%	17,4%
USA	14,9%	24,5%	16,1%	15,6%
Deutschland	13,5%	16,3%	13,1%	13,5%
China	12,4%	3,9%	6,2%	10,5%
Korea	8,6%	3,9%	4,3%	7,3%
Frankreich	4,5%	3,2%	10,9%	6,1%
Dänemark	6,4%	2,2%	1,5%	4,1%
Großbritannien	3,5%	4,0%	2,2%	3,2%
Italien	1,9%	3,1%	3,0%	2,2%
Schweiz	1,9%	4,3%	1,2%	1,8%
Kanada	1,2%	0,7%	1,8%	1,3%
Restliche Welt	16,0%	15,8%	16,6%	17,0%
EU-28	37,2%	39,0%	40,3%	38,2%

Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle B. 6: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien in Prozent (2014-2018)

	Deutsch-land	USA	Japan	China	Korea	Schweiz	Kanada	EU-28 (ohne GER)	Restl. Welt
Umwelt (alle Technologien)	13,1	17,9	17,8	10,2	6,7	1,6	1,8	21,9	8,9
Luftreinhaltung	16,0	17,0	22,6	10,6	6,0	1,2	1,2	18,2	6,3
Lärmschutz	14,6	19,7	23,2	4,6%	3,4	2,7	1,8	23,2	6,9
Abwasser (CEPA 2)	10,7	20,5	19,2	10,6	6,7	1,5	2,3	17,9	10,5
Wassermanagement (CReMA 10)	8,0	17,3	18,5	14,0	9,0	1,6	1,9	16,8	12,9
Sanierung (CEPA 4)	8,2	20,8	6,7	13,5	7,7	1,1	4,5	24,7	12,9
Abfallwirtschaft (CEPA 3)	12,6	19,4	17,4	9,0	6,2	2,0	2,2	20,3	10,9
davon: Abfall	9,4	13,8	14,5	14,5	6,5	1,9	2,8	26,9	9,7
davon: Recycling allgemein	13,9	21,3	19,1	7,2	5,7	1,8	2,0	17,9	11,1
Kunststoffrecycling (CReMA 13C)	10,1	15,3	10,4	6,0	4,1	1,4	3,4	31,9	17,5
Metall/Mineralstoffrecycling (CReMA 14)	20,8	15,7	12,7	10,6	5,0	1,7	2,8	19,8	11,1
Recycling (alle Technologien)	15,0	19,7	17,2	7,8	5,4	1,7	2,2	19,4	11,6
MSR	12,8	22,8	12,5	9,9	7,3	1,4	1,8	23,7	7,8
Klimaschutz (alle Technologien)	13,5	15,6	17,4	10,5	7,3	1,8	1,3	24,6	8,0
davon: Rationelle Energieverwendung	13,1	16,1	23,0	6,2	4,3	1,2	1,8	27,3	6,9
davon: Rationelle Energieumwandlung	16,3	24,5	18,0	3,9	3,9	4,3	0,7	22,6	5,7
davon: Erneuerbare Energien	13,5	14,9	15,4	12,4	8,6	1,9	1,2	23,8	8,5

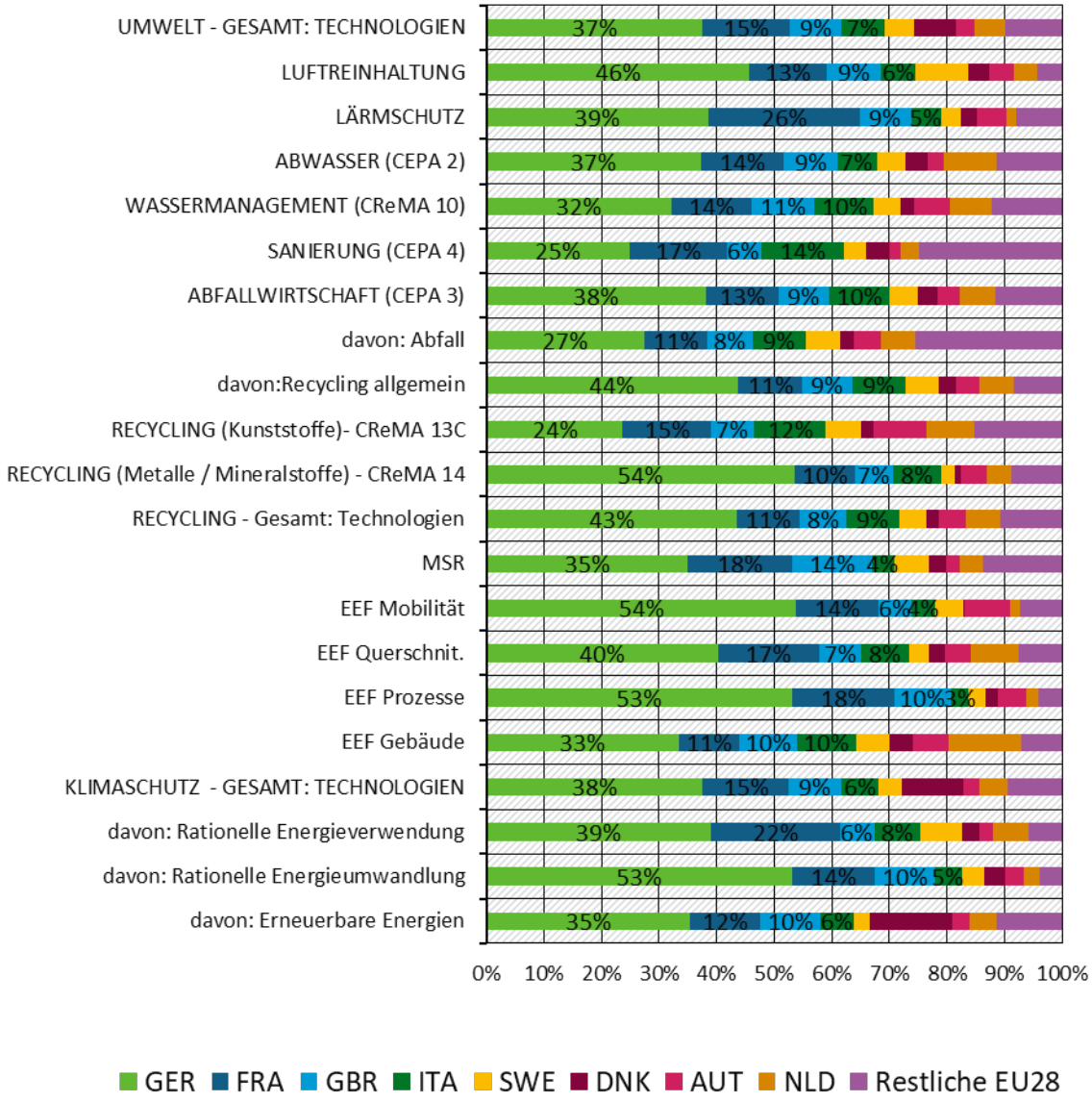
Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Tabelle B. 7: Patentanteile ausgewählter Länder bei den neuen Energieeffizienzbereichen-in Prozent (2014-2018)

	Deutsch-land	USA	Japan	China	Korea	Schweiz	Kanada	EU-28 (ohne GER)	Restl. Welt
EEF Energiesystem	10,5	13,5	35,1	11,7	14,2	0,7	1,2	9,3	3,6
Querschnittstechnologien	13,3	14,9	27,3	9,2	6,2	1,5	1,3	19,7	6,6
EEF Gebäude+Geräte	10,9	16,2	16,1	16,6	8,3	1,3	1,5	21,7	7,3
Energieeffiziente Mobilität	22,4	11,9	24,7	11,7	4,9	1,5	0,9	19,3	2,8

Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung B. 1: Patentanteile innerhalb der EU-28 für Umwelttechnologien und ihre Teilbereiche (2014-2018)



Quelle: Patstat 20s, Berechnungen des Fraunhofer ISI.