

Umwelt, Innovation, Beschäftigung

02/2024

Teilbericht

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

Aktualisierte Ausgabe 2023

von:

Kai Ingwersen, Vivien-Sophie Gulden, Birgit Gehrke, Ulrich Schasse
unter Mitarbeit von Jakob Nikolas Feilcke

Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS), Hannover

Katrin Ostertag, Frank Marscheider-Weidemann, Oliver Rothengatter, Denis Stijepic
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Für Mensch & Umwelt



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

Umwelt 
Bundesamt

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 02/2024

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

Forschungskennzahl 3719 14 101 0

FB001428

Teilbericht

Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im interna- tionalen Vergleich

Aktualisierte Ausgabe 2023

von

Kai Ingwersen, Vivien-Sophie Gulden, Birgit Gehrke, Ulrich
Schasse

unter Mitarbeit von Jakob Nikolas Feilcke

Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS), Hannover

Katrin Ostertag, Frank Marscheider-Weidemann, Oliver
Rothengatter, 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
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

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

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:

Juli 2023

Redaktion:

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

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, April 2024

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

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

Aktuelle Entwicklungen zeigen eine weitere Zunahme der weltweiten Anstrengungen zum Schutz und zur Verbesserung von Umwelt und Klima. Mit dieser Entwicklung gehen nicht nur wachsende Kosten für Umweltschutz einher, sondern auch ein Bedeutungsgewinn der internationalen Innovationsanstrengungen für Umweltschutzlösungen. Diese Studie untersucht anhand verschiedener Indikatoren - zu Forschung und Entwicklung von Staat und Wirtschaft sowie zu Patentanmeldungen - die deutschen und internationalen Strukturen und Entwicklungen in der Umweltforschung. In Deutschland sowie weltweit sind die öffentlichen FuE-Budgets in diesem Bereich in der langfristigen Sicht deutlich gestiegen. Dabei sind klare strukturelle Verschiebungen zulasten von physischer Umweltforschung (Abfall, Wasser, Boden, Lärm) und zugunsten von Energie- und Klimaschutzforschung zu beobachten. Maßgeblicher Treiber dabei waren zunächst die erneuerbaren Energien, in der jüngeren Vergangenheit sind jedoch innovative Energieeffizienzlösungen und Speichertechnologien weltweit in den Fokus gerückt.

Bei der Ausrichtung seiner Wissensbasis auf die Ziele des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit gemessen an Patentanmeldungen gehört Deutschland international zu den führenden Ländern. Die Gruppe der führenden Länder verbreitert sich allerdings. Auch China weist inzwischen bei Umwelttechnologien einen sehr hohen Patentanteil auf, der den Anteil Deutschlands noch übersteigt. Klimaschutztechnologien (einschließlich Energieeffizienz) sind ein wesentlicher Pfeiler der Stärke Deutschlands auf dem Gebiet der Umwelttechnologien.

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

Current developments show a further increase in global efforts to protect and improve the environment and the climate. This development is accompanied not only by growing costs for environmental protection, but also by an increase in the importance of international innovation efforts for environmental protection solutions. This study examines German and international structures and developments in environmental research on the basis of various indicators - on research and development by government and industry, and on patent applications. In Germany as well as worldwide, public R&D budgets in this area have increased significantly over the long term. Clear structural shifts can be observed at the expense of physical environmental research (waste, water, soil, noise) and in favor of energy and climate protection research. Initially, the main drivers were renewable energies, but in the recent past, innovative energy efficiency solutions and storage technologies have moved into focus worldwide.

In terms of patent applications, Germany is one of the leading countries internationally when it comes to focusing its knowledge base on the goals of environmental protection and sustainability. However, the group of leading countries is widening. China now also has a very high proportion of patents for environmental technologies, even exceeding Germany's share. Climate protection technologies (including energy efficiency) are a key pillar of Germany's strength in the field of environmental technologies.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	13
Summary.....	24
1 Einleitung.....	35
2 Forschung und Entwicklung für den Umweltschutz.....	37
2.1 Staatliche Aufwendungen zur Förderung von Umweltschutz- und Energieforschung im internationalen Vergleich.....	37
2.1.1 Staatliche FuE-Ausgabenansätze für physische Umweltforschung und Energieforschung (OECD-GBARD).....	38
2.1.2 Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte im Energiebereich nach Trägern und Technologien (IEA-Statistik).....	43
2.1.3 Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland (UFORDAT).....	55
2.2 FuE und Innovationen der Wirtschaft im Umweltschutzbereich: Ausgewählte Ergebnisse im Überblick.....	62
2.2.1 Bedeutung von Umweltinnovationen für Unternehmen in Deutschland.....	62
2.2.2 Interne FuE-Ausgaben der US-amerikanischen Unternehmen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen.....	64
3 Patentanmeldungen im Umweltschutz.....	66
3.1 Methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Patentindikatoren.....	66
3.2 Ergebnisse der Patentindikatorik im Umweltschutz.....	67
3.2.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei potenziellen Umwelttechnologien.....	67
3.2.2 Patentanteile bei potenziellen Umweltschutztechnologien.....	77
3.2.3 Spezialisierungsmuster bei potenziellen Umweltschutztechnologien.....	80
3.3 Vertiefende Patentanalyse für den Bereich Energieeffizienz.....	83
3.3.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei Energieeffizienztechnologien.....	83
3.3.2 Patentanteile und Spezialisierungsmuster bei Energieeffizienztechnologien.....	86
3.4 Gesamtbild der Patentergebnisse für Deutschland.....	88
4 Quellenverzeichnis.....	90
A Methodischer Anhang.....	93
A.1 Technologielinien und umweltfreundliche Güter („adapted goods“) in der Patentanalyse.....	93
B Statistischer Anhang.....	96

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2021* in %: Umwelt, Energie und zivile FuE-Ausgaben insgesamt.....	14
Abbildung 2:	Staatliche RD&D-Budgets nach Energiebereichen 2019-2021 in Relation zum BIP (in ‰)	16
Abbildung 3:	Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2009-2011 und 2019-2021 in %.....	17
Abbildung 4:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Deutschland und der Welt.....	19
Abbildung 5:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien* (2016-2020)	20
Abbildung 6:	Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte).....	21
Abbildung 7:	Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2021* in %: Umwelt, Energie und zivile FuE-Ausgaben insgesamt.....	42
Abbildung 8:	Struktur staatlicher Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten 2009-2011 und 2019-2021	47
Abbildung 9:	Staatliche RD&D-Budgets nach Energiebereichen 2019-2021 in Relation zum BIP (in ‰)	49
Abbildung 10:	Struktur der Energieforschungsbudgets bei erneuerbaren Energien nach Teilsegmenten 2009-2011 und 2019-2021.....	51
Abbildung 11:	Struktur der Energieforschungsbudgets für Verbesserungen im Bereich Energieeffizienz 2009-2011 und 2019-2021	53
Abbildung 12:	Grundlegende Kennzahlen zu den in UFORDAT erfassten Forschungsvorhaben: Projekte, Projektvolumen und Fördervolumen 2009-2021.....	56
Abbildung 13:	Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2009-2011 und 2019-2021 in %.....	57
Abbildung 14:	Förderquoten nach Umweltbereichen 2009-2011 und 2019-2021.....	58
Abbildung 15:	Arten von Umweltinnovationen in Unternehmen in Deutschland 2012-2014 und 2018-2020, in %	63
Abbildung 16:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz und Teilbereiche	69
Abbildung 17:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien Ländervergleiche (Jahr 2000 = 100) – ohne Spitzenreiter (China, Südkorea und Dänemark).....	70
Abbildung 18:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien Ländervergleiche (Jahr 2000 = 100) – mit Spitzenreitern	71

Abbildung 19:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien – Weltweite Entwicklung	72
Abbildung 20:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien – Entwicklung in Deutschland	73
Abbildung 21:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft weltweit	74
Abbildung 22:	Entwicklung der Zahl der deutschen Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft	75
Abbildung 23:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter („adapted goods“)	76
Abbildung 24:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Klimaschutztechnologien (2016-2020).....	77
Abbildung 25:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien ⁽¹⁾ (2016-2020)	78
Abbildung 26:	Patentanteile ausgewählter Länder bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“) (2016-2020)	79
Abbildung 27:	Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich Umwelttechnologien (RPA-Werte).....	81
Abbildung 28:	Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte).....	82
Abbildung 29:	Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Energieeffizienztechnologien	85
Abbildung 30:	Patentanteile bei Energieeffizienztechnologien in den Jahren 2016-2020.....	86
Abbildung 31:	Spezialisierung Deutschlands in Energieeffizienztechnologien (RPA-Werte).....	87
Abbildung 32:	Patentanteile innerhalb der EU-28 für Umwelttechnologien und ihre Teilbereiche (2016-2020)	110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Umweltforschung und Energieforschung in den staatlichen FuE-Budgets ausgewählter OECD-Länder 2010-2021	40
Tabelle 2:	Umweltforschung nach durchführenden Einrichtungen: Strukturanteile 2009-2011 und 2019-2021 in %	59
Tabelle 3:	Projekte und Fördermittel nach Förderinstitutionen 2009-2011 und 2019-2021	61
Tabelle 4:	Anteil interner FuE-Ausgaben US-amerikanischer Unternehmen für Energie- und Umweltschutzanwendungen an allen internen FuE-Ausgaben 2010-2019.....	65
Tabelle 5:	Inhalte der Patentsuchstrategie für die einzelnen Umweltbereiche	93

Tabelle 6:	Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern96
Tabelle 7:	Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern100
Tabelle 8:	Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern104
Tabelle 9:	Umweltbereiche in UFORDAT im Überblick106
Tabelle 10:	Patentanteile ausgewählter Länder und der EU-28 im Bereich Klimaschutz (2016-2020)107
Tabelle 11:	Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien in Prozent (2016-2020)108
Tabelle 12:	Patentanteile ausgewählter Länder bei den neuen Energieeffizienzbereichen in Prozent (2016-2020)109

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
€	Euro
‰	Promille
Anm.	Anmerkung
AUS	Australien
AUT	Österreich
BEL	Belgien
BERD	Business Expenditure on Research and Development (Unternehmensausgaben für Forschung und Entwicklung)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin
BMEL	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn (frühere Bezeichnung des BMUV)
BMUV	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bonn
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin (frühere Bezeichnung des BMWK)
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
BRDIS	Business R&D and Innovation Survey
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAN	Kanada
CEPA	Classification of Environmental Protection Activities and Expenditure
CHN	China
CIS	Community Innovation Survey
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CReMA	Classification of Resource Management Activities
CWS	Center für Wirtschaftspolitische Studien des Instituts für Wirtschaftspolitik, Leibniz Universität Hannover
CZE	Tschechische Republik
d. h.	das heißt
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
DEN	Dänemark
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EEF	Energieeffizienz
EFI	Expertenkommission Forschung und Innovation

EFTA	Europäische Freihandelsassoziation (umfasst die Staaten Island, Liechtenstein, Norwegen und Schweiz)
EnEfG	Energieeffizienzgesetz
ESP	Spanien
EST	Estland
et al.	und andere
EU	Europäische Union
EU-14	Die EU-14 Staaten umfassen die Mitglieder der der EU-15 ohne das Vereinigte Königreich
EU-15	Zu den EU-15 Staaten gehören Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Vereinigtes Königreich, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweden und Spanien.
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaft
FIN	Finnland
FRA	Frankreich
FS-UNEP	Frankfurt School United Nations Environment Programme
FuE	Forschung und Entwicklung
Ful	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
HUN	Ungarn
IEA	International Energy Agency, Paris
inkl.	inklusive
IRL	Republik Irland
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe
ISL	Island
ITA	Italien
JPN	Japan
k. A.	keine Angabe
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KOR	Republik Korea (Südkorea)
MSR	Messen, Steuern, Regeln
MEX	Mexiko
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarde
n. a.	nicht ausgewiesen
NIW	Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung
NED	Niederlande
NOR	Norwegen

NSF	National Science Foundation, Alexandria, Virginia
NZL	Neuseeland
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
POL	Polen
POR	Portugal
R&D	Research and Development
RD&D	Research, Development and Demonstration
RPA	relativer Patentanteil
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
SME	Small and medium-sized enterprises
sonst.	sonstige
SUI	Schweiz
SVK	Slowakische Republik
SWE	Schweden
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UFORDAT	Datenbank des Umweltbundesamtes zu Forschungsvorhaben im Bereich Umweltschutz
US	United States
US-\$	United States Dollar
USA	United States of America
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Im Auftrag des Umweltbundesamts bearbeiten 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 gemeinsam das Projekt „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“. Darin werden regelmäßige Analysen und Fortschreibungen verschiedener Indikatoren zur Bewertung der internationalen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltwirtschaft durchgeführt. Dabei werden sowohl die Innovationsfähigkeit (Forschung und Patente) als auch die wirtschaftliche Bedeutung der Umweltwirtschaft in Deutschland und – soweit möglich – im internationalen Vergleich (Produktion, Umsatz, Beschäftigung, Außenhandel) betrachtet. Die Ergebnisse werden in verschiedenen, thematisch abgegrenzten Studien veröffentlicht.

Dieser Bericht befasst sich mit Indikatoren zur Messung der technologischen Leistungsfähigkeit oder Innovationsfähigkeit der Umweltwirtschaft, 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

Zu den Ausgaben der Wirtschaft für Forschung und Entwicklung (FuE) für die Produktion von Umweltschutzgütern und -dienstleistungen 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.

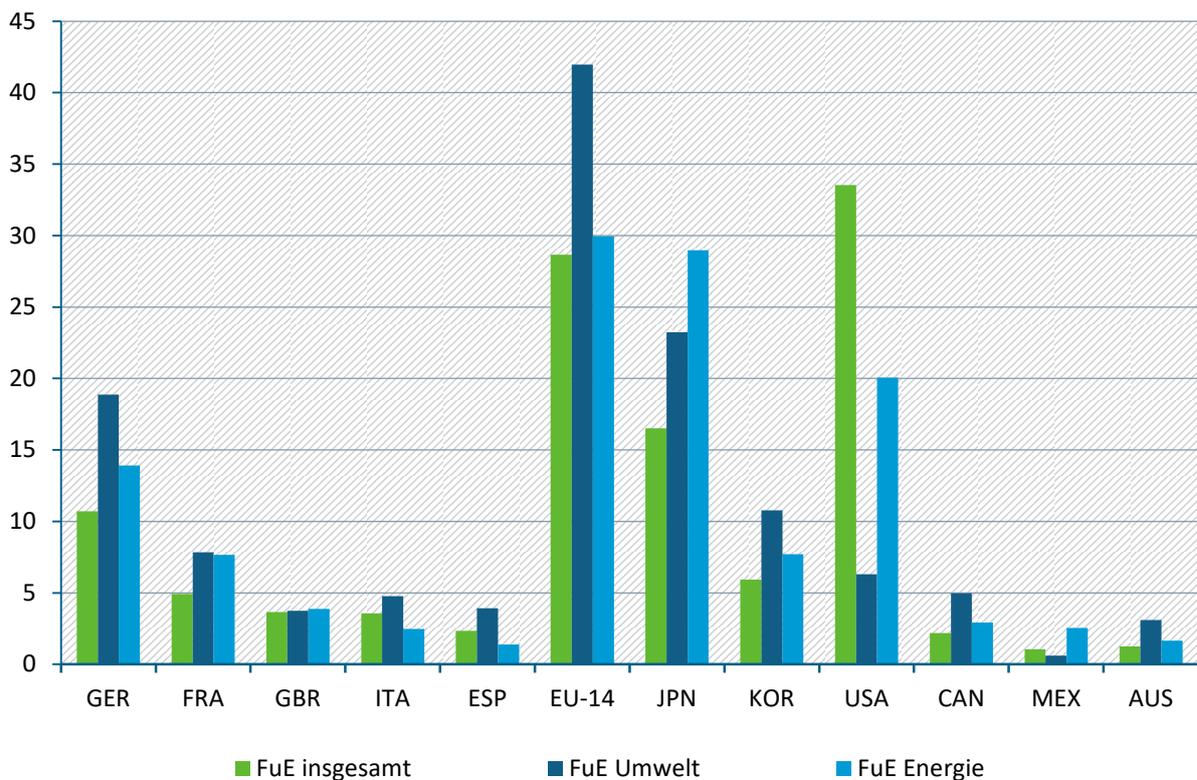
Die staatlichen FuE-Aufwendungen der OECD-Länder für den Umweltschutz beliefen sich 2021 auf schätzungsweise knapp 9 Mrd. US-\$. Damit ergibt sich eine weitere leichte Steigerung gegenüber dem bisherigen Spitzenwert aus 2020 (8,6 Mrd. US-\$), nachdem 2019 noch ein Rückgang gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen gewesen war. Strukturell haben für die OECD-Länder insgesamt im Zeitraum 2010 bis 2021 die Ausgaben für Umweltschutzzwecke weiter an Bedeutung gewonnen. Der Anteil der umweltschutzspezifischen FuE-Ausgaben an den gesamten FuE-Ausgaben der OECD lag 2021 bei 2,3 %.

In den europäischen Ländern lässt sich demgegenüber ein gegenteiliger Trend beobachten. Von 2010 bis 2019 sank der Anteil der staatlichen FuE-Ausgaben für Umweltschutz an den zivilen FuE-Ausgaben der EU-14 Länder¹ von 2,8 % (2010) auf 2,4 % (2019). Jedoch zeigt sich 2021 wieder ein deutlicher Anstieg auf 2,8 %. Für Deutschland und einige kleinere EU-14 Länder (Griechenland, Portugal) lässt sich der beschriebene Rückgang der staatlichen FuE-Ausgabenanteile von 2010 bis 2019 nicht feststellen. In Deutschland (2021: 3,4 %) genießt Umweltforschung gegenüber dem EU-14- und OECD-Durchschnitt unverändert klar überdurchschnittliche Priorität. Lediglich Griechenland (3,7 %), Portugal (4,3 %) und Irland (4,7 %) weisen höhere Umweltforschungsanteile im Jahr 2021 auf. Hingegen spielt der Umweltbereich im staatlichen FuE-Budget der USA eine unverändert geringe Rolle, ebenso am aktuellen Rand wieder für Japan, trotz kurzzeitiger Verbesserung.

¹ Die EU-14 umfasst die Gruppe der „traditionellen“ EU-Länder ohne Großbritannien.

Im Gegensatz zu der eher stagnierenden Entwicklung der Umweltforschung innerhalb Europas ist das Strukturgewicht der Energieforschung im Verlauf des letzten Jahrzehnts weiter gestiegen. 2021 lag nach aktuellen Schätzungen der Anteil der Energieforschung an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben der EU-14 Länder bei 5 %. In Deutschland betrug 2021 der Anteil 6,2 %. Auch zeigt sich in den OECD-Ländern die höhere und weiter gewachsene Bedeutung der Energieforschung im Vergleich zur Umweltforschung im Verlauf der letzten Dekade. Die Ausgabenanteile der Energieforschung der OECD-Länder lag 2010 bis 2021 zwischen 5,0 % und 6,1 %. Diese unterschiedliche Prioritätensetzung wird anhand der in Abbildung 1 dargestellten Anteile ausgewählter Länder und der EU-14 insgesamt an den OECD-weiten staatlichen FuE-Budgets für die Umwelt- und Energieforschung nochmals deutlich.

Abbildung 1: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2021* in %: Umwelt, Energie und zivile FuE-Ausgaben insgesamt



Lesehilfe: Der Anteil Deutschlands an den gesamten FuE-Budgets der OECD-Länder liegt 2021 bei 11 % (grüner Balken). Deutschlands Anteile an den OECD-weiten FuE-Budgets für Umweltforschung (dunkelblauer Balken) und Energieforschung (hellblauer Balken) sind demgegenüber merklich höher. Dies impliziert, dass beide Forschungsfelder in der öffentlichen FuE-Forschung in Deutschland vergleichsweise hoch gewichtet werden.

*2021 oder letztes verfügbares Jahr (Kanada 2019 (insgesamt) und 2016 (Umwelt und Energie) anstelle 2021, Südkorea und Großbritannien 2020 anstelle 2021). EU-14 und OECD insgesamt aufgrund fehlender Länderwerte geschätzt.

Quelle: OECD, Research and Development Statistics, Datenstand 09/2022. Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Offensichtlich ist, dass in Deutschland und den EU-14 Staaten insgesamt Umwelt- und Energieforschung überdurchschnittlich hohe Priorität genießen, wobei die Umweltforschung merklich stärker gewichtet wird als die Energieforschung. Diese wiederum hat für Japan und USA eine deutlich höhere Bedeutung als die Umweltforschung. Zudem wird erneut deutlich, dass sowohl Umwelt- als auch Energieforschung für die USA eine untergeordnete Rolle gegenüber den gesamten FuE-Ausgaben spielen. Der gegensätzliche Fall ist für Japan zu beobachten. Dort werden sowohl Umwelt- als auch Energieforschungsausgaben eine höhere Bedeutung zugeschrieben als

den FuE-Ausgaben insgesamt. In beiden Bereichen liegt Japan nach den EU-14 auf Platz zwei. Dabei ist der hohe Anteil im Energiebereich noch immer zu weiten Teilen auf die Bedeutung des Atomstroms und die damit verbundenen Ausgaben für Nuklearforschung zurückzuführen. Dennoch lässt sich auch für Japan eine zunehmende Bedeutung von staatlichen FuE-Förderprogrammen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz beobachten.

Öffentliche Förderung von FuE und Demonstrationsprojekten nach Energieträgern und Technologien

Vertiefende Erhebungen der Internationalen Energieagentur (IEA) zu den öffentlichen Haushaltsansätzen für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich ermöglichen einen differenzierten Blick auf die Ausgaben für verschiedene Energieträger und -technologien. Insgesamt zeigen sich seit Anfang des Jahrhunderts in allen hochentwickelten Ländern deutliche Verschiebungen zugunsten von Kernenergie und fossilen Energieträgern und zugunsten zukunftsorientierter, sprich nachhaltiger, ressourcenschonender Technologien (zur Abgrenzung vgl. die Legende in Abbildung 2).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 fließen im aktuellen Betrachtungszeitraum 2019-2021 durchschnittlich 82 % der öffentlichen Mittel für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte im Energiebereich in zukunftsorientierte Energietechnologien, und damit deutlich mehr als in der Vergleichsperiode 2009-2011 (62 %). Der deutsche Anteil liegt deutlich über dem Durchschnitt der übrigen EU-15³ (65 %). 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 95 bis 99 % erreichen Ungarn, Österreich, Schweden und die Niederlande. Diese Länder nehmen damit auch weltweit eine Vorreiterrolle ein. Bemerkenswert ist weiterhin die Entwicklung Norwegens, wo sich der Anteil für zukunftsorientierte Technologien zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen von 36 % auf 78 % verdoppelt hat. In den hochentwickelten Ländern außerhalb Europas weisen Korea und die USA mit 76 % die höchsten Anteile auf, allerdings mit einem leicht rückläufigen Trend. In Japan ist hingegen ein weiterer Anstieg der Mittel auf nunmehr 60 % zu beobachten. Ein Großteil der Staaten setzt bei einer zukunftsorientierten Forschung und Entwicklung überwiegend auf Energieeffizienz und Erneuerbare Energien.

Innerhalb der erneuerbaren Energien bilden Solar-, Wind- und Bioenergie in den meisten Ländern den Schwerpunkt der RD&D-Förderung. In Deutschland dominiert im Betrachtungszeitraum 2019-2021 die Solarenergie mit 41 %, gefolgt von Windenergie mit 31 % und Bioenergie mit 20 %. In der übrigen EU-15 wird zunehmend auf Windenergie gesetzt (19 %), während der Bereich Bioenergie (23 %) innerhalb der staatlichen RD&D-Budgets deutlich an Relevanz verloren hat (2009-2011: 38 %). Dies gilt auch für die USA, wo im Periodenvergleich eine Verschiebung der öffentlichen Forschungsförderung zugunsten von Solar- und Windenergie zu beobachten ist.

Die RD&D-Budgets zur Verbesserung von Energieeffizienz fließen in Deutschland in der aktuellen Betrachtungsperiode zu 39 % in den Bereich Gebäude, weitere 34 % in den Bereich Indust-

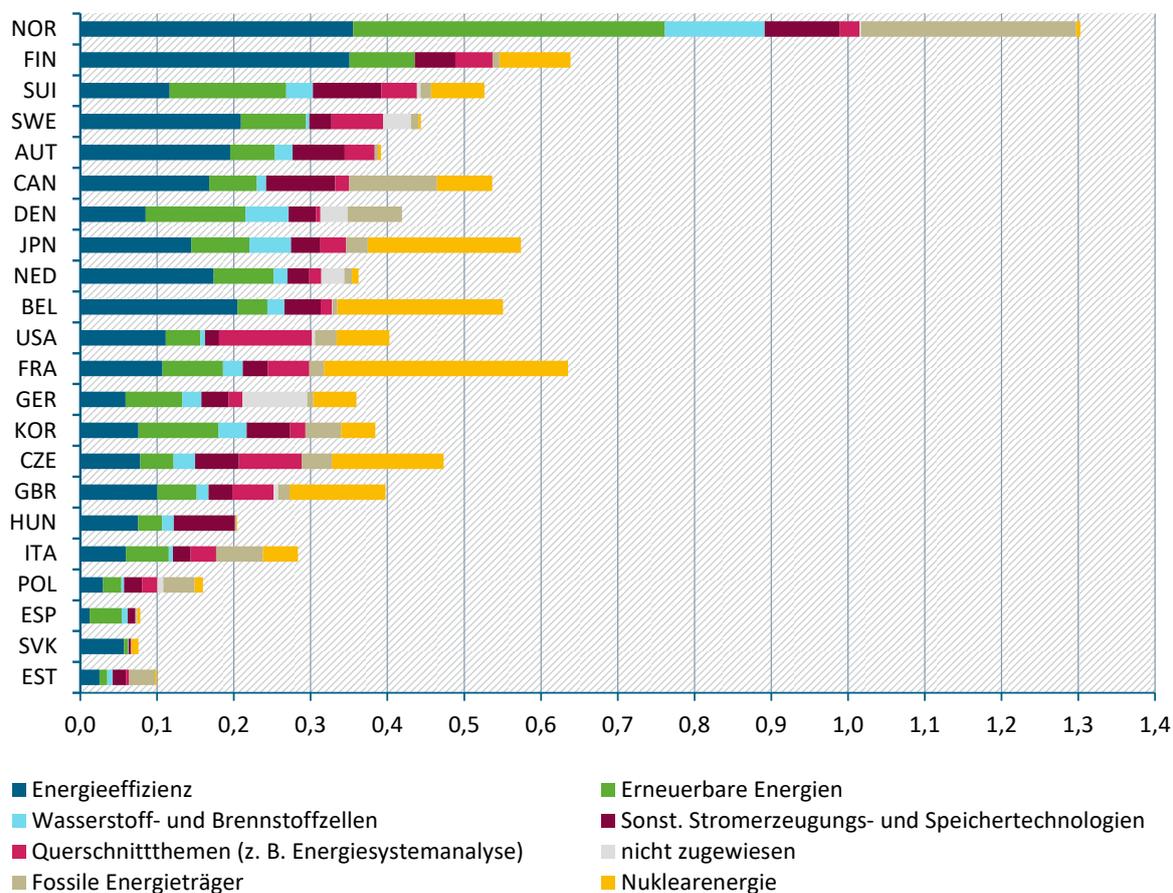
² Ausnahmen bilden u. a. Italien und Dänemark, die den Budgetanteil für fossile Energieträger erhöht haben.

³ Da hier die Dreijahresperioden 2009 bis 2011 sowie 2019 bis 2021 gegenübergestellt werden, wird bei dieser Analyse weiterhin die EU-15 (einschließlich Großbritannien) betrachtet.

rie, sowie zu 19 % in den Verkehr. Dahingegen ist in der übrigen EU-15 eine Abkehr vom Bereich Gebäude zu erkennen. Im Durchschnitt der übrigen EU-15 liegt der Fokus klar und zunehmend auf dem Verkehrsbereich (46 %). In den USA spielt der Verkehrsbereich eine noch größere Rolle (72,5 %).

Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung zukunftsorientierter Energieforschung in den einzelnen Ländern wird sichtbar, setzt man die budgetierten Mittel in Relation zum jeweiligen Bruttoinlandsprodukt (BIP). Für Deutschland ergibt sich im aktuellen Zeitraum für zukunftsorientierte Energietechnologien ein durchschnittlicher Anteil von 0,30 ‰ am BIP gegenüber 0,16 ‰ in der Vergleichsperiode 2009-2011. Im Vergleich zu anderen Staaten fällt die deutsche Quote weiterhin relativ niedrig aus. Insbesondere die Länder Skandinaviens und des Alpenraums stellen ein relativ größeres Budget für die zukunftsorientierte Energieforschung bereit (Abbildung 2).

Abbildung 2: Staatliche RD&D-Budgets nach Energiebereichen 2019-2021 in Relation zum BIP (in ‰)



Absteigend sortiert nach dem Anteil zukunftsorientierter Energietechnologie (Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen, nicht zugewiesen). Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

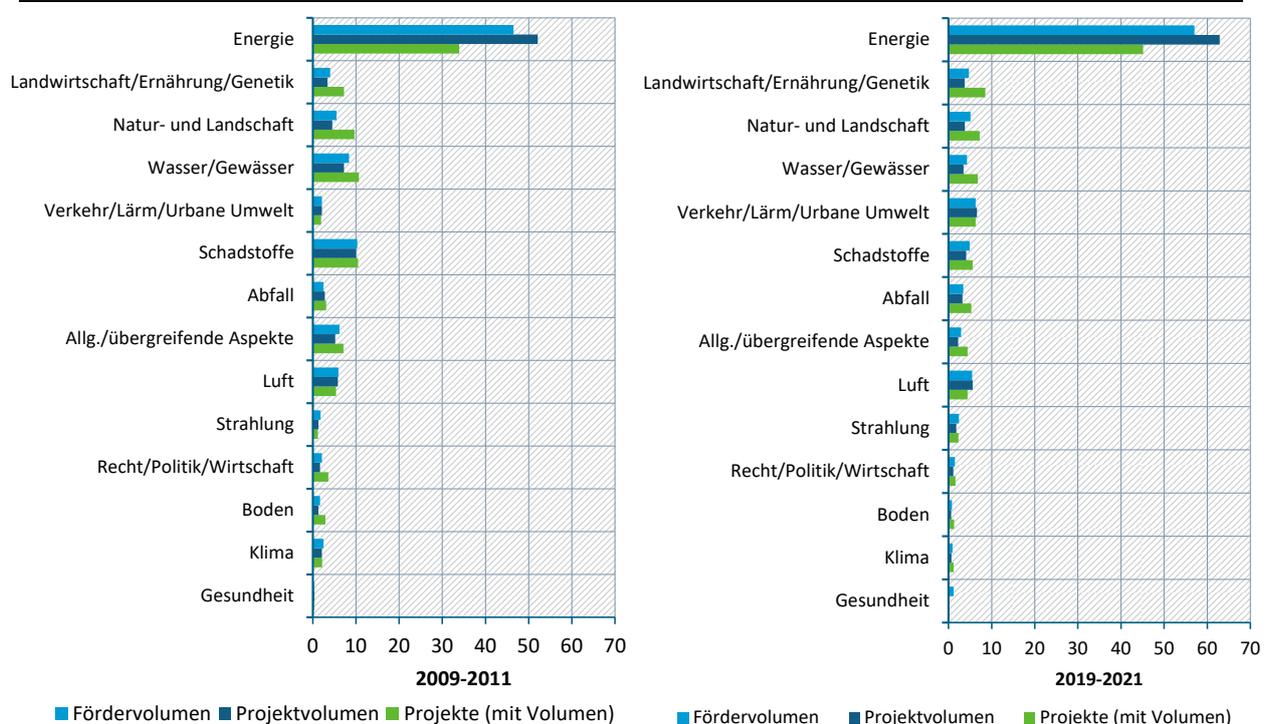
Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland

Um zusätzliche und detailliertere Informationen über die thematischen Schwerpunkte der Umweltschutzforschung und Forschungsförderung in Deutschland zu erhalten, wird in regelmäßigem Turnus die Umweltforschungsdatenbank UFORDAT des Umweltbundesamtes ausgewertet. In diesem Bericht wird erstmals die umgestellte UFORDAT-Klassifikation 2.0 angewendet. Die

Datenbank unterscheidet zwischen Projekt- und Fördervolumen sowie durchführenden und finanzierenden Institutionen sowie 24 Umweltthemen; diese wurden für die Analysen in 14 Umweltbereiche zusammengeführt, da auf mehrere Umweltthemen nur eine sehr geringe Anzahl an Forschungsvorhaben entfällt.

Die Auswertungen zeigen eine annähernde Verdoppelung der Forschungsprojekte zwischen den Betrachtungszeiträumen 2009 bis 2011 und 2019 bis 2021 bei gleichzeitig noch höherem Anstieg des durchschnittlichen Projekt- und Fördervolumens. Die durchschnittliche Förderquote liegt unverändert bei rund 70 %. Der Umweltbereich *Energie* machte im Durchschnitt des aktuellen Betrachtungszeitraums rund 46 % der neu begonnenen Forschungsvorhaben und vereinnahmt dabei zunehmend einen Großteil der Projektmittel, während die weiteren Umweltbereiche an Relevanz verlieren (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2009-2011 und 2019-2021 in %



Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Forschungsvorhaben mit Umweltbezug werden zunehmend von privaten Unternehmen auf den Weg gebracht. Die von Hochschulen umgesetzten Projekte haben kleinere Budgets als Projekte in der Wirtschaft, erhalten dafür aber vergleichsweise höhere Förderquoten. Der Bund konnte seine maßgebende Position als Forschungsförderer gemessen am Anteil der geförderten Projekte massiv ausbauen (von 67 % auf 96 %), was mit einer Ausweitung der Fördersumme von jahresdurchschnittlich 1,1 Mrd. Euro auf 2,9 Mrd. Euro verbunden ist.

Bedeutung von Umweltinnovationen für Unternehmen in Deutschland

In Deutschland erfahren Umweltinnovationen im Hinblick auf die ins Stocken geratene Energiewende sowie die durch den Krieg in der Ukraine hervorgerufene Gasmangellage eine hohe Relevanz. Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz haben auf allen Ebenen einen hohen Stellenwert für das Erreichen der energiepolitischen Zielsetzungen. Die Auswertung

des „Community Innovation Survey“ (CIS)⁴ offenbart, dass energiespar- und klimaschutzbezogene Umweltinnovationen im Betrachtungszeitraum 2018 bis 2020 für deutsche Unternehmen weiter an Gewicht gewonnen haben. Dabei stehen vorwiegend die Verringerung des Energieverbrauchs und die damit einhergehende Reduzierung von CO₂-Emissionen im Vordergrund.

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

In den USA wird im Rahmen des „Business Enterprise Research and Development Survey“ (BERD) die Höhe der FuE-Ausgaben für Energie- und Umweltschutzanwendungen ermittelt. Im Jahr 2019 haben US-Unternehmen 24,1 Mrd. US-\$ für Energieanwendungen sowie 10,4 Mrd. US-\$ für Umweltschutzzwecke aufgewendet. Hinzu kamen 3,5 Mrd. US-\$ aus externen Finanzierungsquellen. Seit 2010 haben interne FuE-Aufwendungen im Energie- und im Umweltschutzbereich innerhalb der gesamten FuE der US-Wirtschaft allerdings klar an Gewicht verloren. KMU weisen dabei fast durchgängig höhere Anteile ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen auf als große Unternehmen; wengleich sich dieser Anteil innerhalb weniger Jahre beinahe halbiert hat.

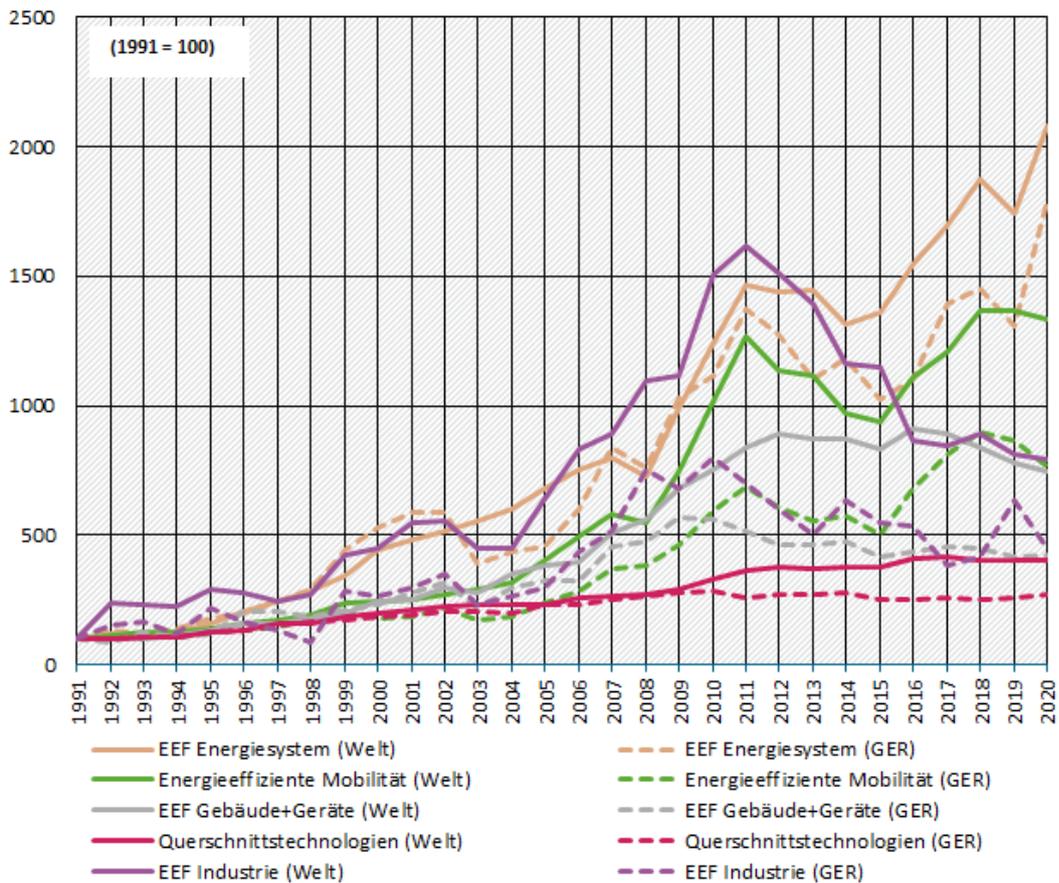
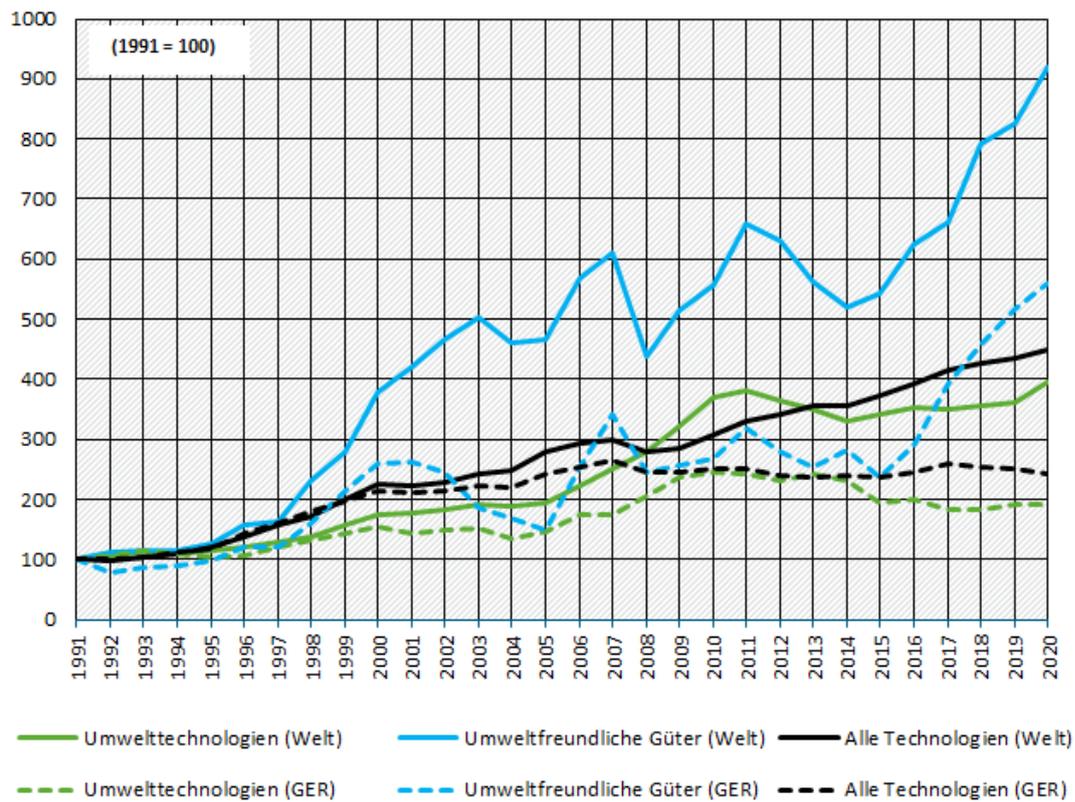
Patentindikatoren im Bereich Umweltschutz – Internationale Entwicklungen

Es gibt wenig Indikatoren, die geeignet sind, frühe Phasen des Innovationsgeschehens zu beschreiben. Zahlen zu Patentanmeldungen sind, wenn sie fundiert abgegrenzt und erhoben werden, eine wichtige und etablierte Basis zur Ableitung verschiedener Umweltinnovationsindikatoren. Das Fraunhofer ISI entwickelt seine Methodik hierzu ständig weiter. Relativ neu und das zweite Mal in diesem Bericht ausführlicher untersucht sind zusätzliche Technologien im Bereich Energieeffizienz.

Abbildung 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 einem Höchstwert 2011 und bleibt seit 2013 hinter der allgemeinen technologischen Dynamik zurück. Ein wesentlicher Faktor hinter dieser Entwicklung bleibt der stagnierende und zuletzt sinkende Trend bei Klimaschutztechnologien, insbesondere bei Erneuerbaren Energien. Neu ausgewiesenen Energieeffizienzbereiche sind in der aggregierten Betrachtung jedoch noch nicht berücksichtigt und in Abbildung 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, vergleiche Abbildung 4 (oben).

⁴ Die Innovationserhebung der Europäischen Union (Community Innovation Survey CIS) wird in zweijährigem Rhythmus vom Statistischen Amt der Europäischen Gemeinschaft (Eurostat) durchgeführt. Den deutschen Beitrag hierzu liefert die ZEW-Innovationserhebung.

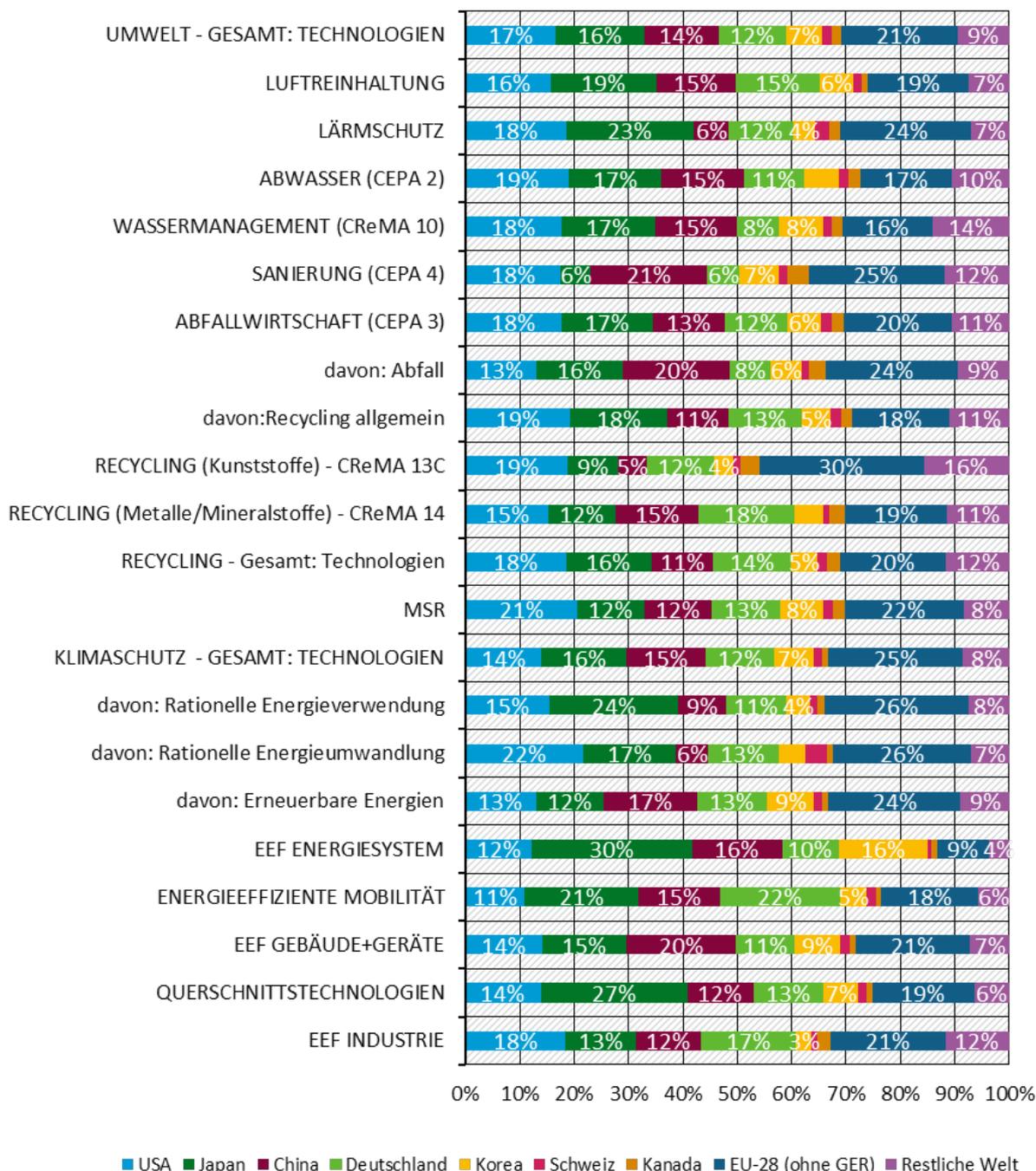
Abbildung 4: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Deutschland und der Welt



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Patentanteile von Ländern sind ein Indikator für ihre Beiträge zu der Innovationstätigkeit in ausgewählten Technologiebereichen und Zeiträumen. China hat in den letzten 10 Jahren erheblich an Anteilen bei Umwelttechnologien gewonnen und ist in der Regel auf den dritten Platz im Ländervergleich aufgerückt, je nach Technologiebereich auch auf den ersten Platz (s. Abbildung 5).

Abbildung 5: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien* (2016-2020)



*CEPA 3 inkl. „adapted goods“, Reihenfolge der einzelnen Länder nach Größe ihres Patentanteils bei „Umwelt-Gesamt: Technologien“

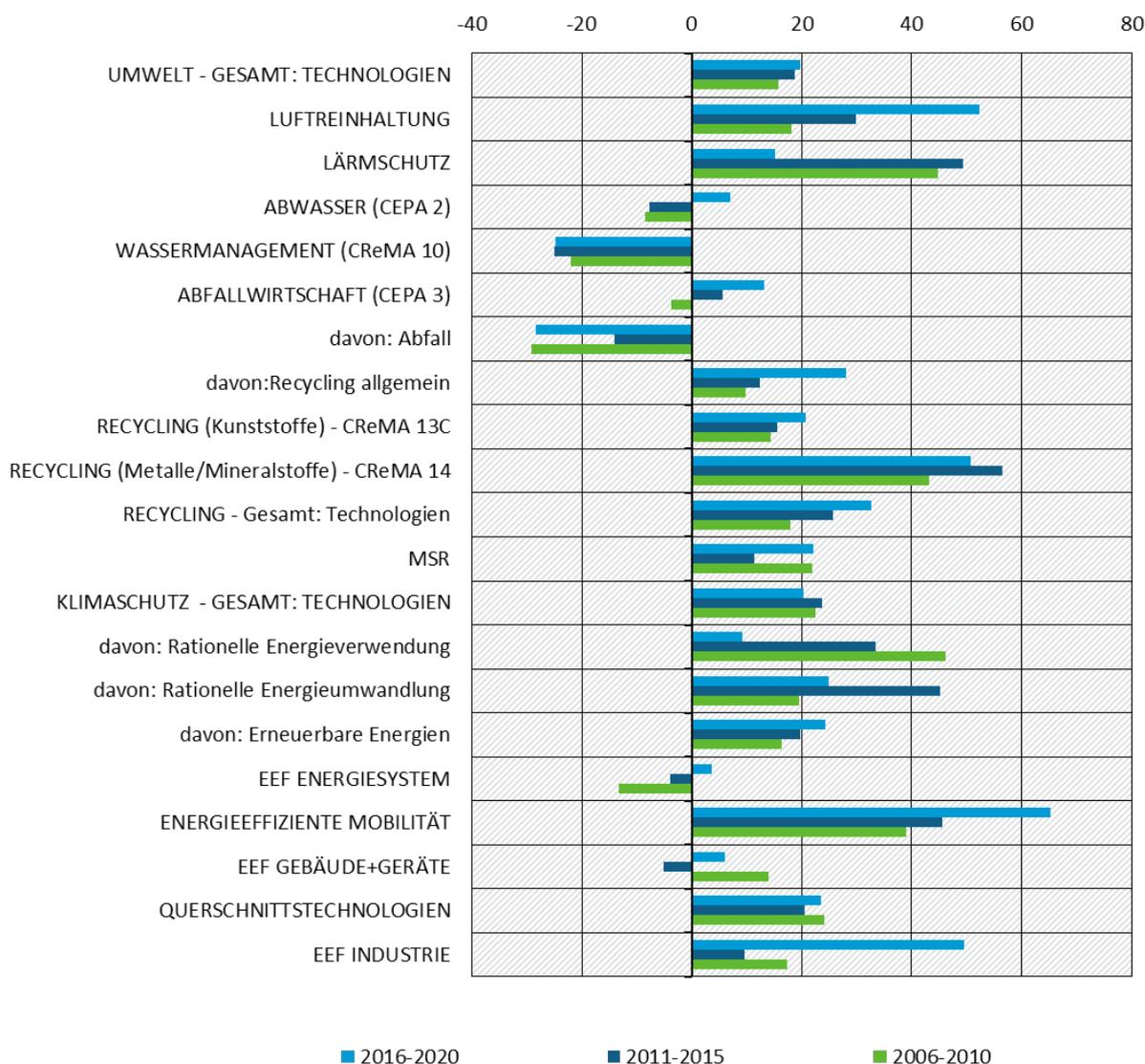
Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die EU-28 (einschließlich Deutschland) sind durchgängig der stärkste Player und immer 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..

Auch wenn die Patentanteile Deutschlands inzwischen häufig kleiner als die von China sind, hat Deutschland innerhalb der EU-28 den größten Anteil an den Umweltpatenten. Am größten ist der Anteil Deutschlands an den weltweiten Patenten bei energieeffizienter Mobilität mit 22 %, beim Recycling von Metallen und Mineralstoffen mit über 18 % und bei der Energieeffizienz in der Industrie mit 17 %. Die Länder mit den größten Patentanteilen bei Umwelttechnologien (USA, Japan, China) sind generell stark in technologischen Entwicklungen und nicht (signifikant) auf Umwelttechnologien spezialisiert.

Abbildung 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, – wird für Deutschland in Abbildung 6 nochmals detaillierter dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass Deutschland in der aktuellsten Periode 2016-2020 in fast allen Bereichen der Umwelttechnologien eine positive Spezialisierung aufweist. Negativ ist sie nur in den Bereichen Wassermanagement und Abfall. Für die Umwelttechnologien insgesamt zeichnet sich über die Fünfjahres-Perioden eine leichte Erhöhung des RPA ab, getragen vor allem von den Bereichen Energieeffiziente Mobilität, Luftreinhaltung, Energieeffizienz in der Industrie und Teilbereichen des Recyclings. Deutschland gehört jedoch nicht zu den am stärksten auf Umwelttechnologien spezialisierten Ländern. Dies sind viel eher Dänemark, Spanien, Australien und Norwegen.

Für einzelne Umweltbereiche lässt sich für Deutschland zusammenfassen:

- ▶ Der hohe Patentanteil von 22 % bei der energieeffizienten Mobilität lässt sich aus der hohen Dynamik der Patentanmeldungen erklären. Die in den letzten 15 Jahren immer höher gewordenen RPA Werte unterstreichen die ausgeprägte Spezialisierung auf energieeffiziente Mobilitätstechnologien.
- ▶ Die positive Spezialisierung auf Klimaschutz-Technologien insgesamt ist bei einem RPA-Wert von ca. 20 stabil. Alle Unterbereiche zeigen in der Periode 2016 - 2020 eine positive Spezialisierung; das gilt auch für die Energieeffizienz im Gebäude und die Energieeffizienz im Energiesystem, die in der Periode 2011 - 2015 negative RPA auswiesen.
- ▶ Die Bereiche Abfallwirtschaft und Recycling (Gesamt) sind insgesamt gegenüber unserem letzten Bericht (Gehrke u. a. 2022) wenig verändert mit einem leicht positiven Wert für die Abfallwirtschaft bzw. deutlich positiven RPA-Werten für die Bereiche Recycling allgemein und Recycling-Gesamt. Die besondere Stärke im Recycling von Metallen und Mineralstoffen bleibt, der RPA geht aber etwas zurück, beim Kunststoffrecycling steigen die Werte dagegen an.

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 kommt weltweit auf Platz 4, übertrumpft nur von der weitaus größeren Volkswirtschaft der USA, Japan und China. China hat dabei in den letzten 10 Jahren Korea und in den letzten 5 Jahren Deutschland überholt. Innerhalb der EU ist Deutschland gemessen an seiner Zahl von Umweltpatenten mit Abstand der wichtigste Player. Der Abwärtstrend der jährlichen Patentanmeldungen für Umwelttechnologien konnte gestoppt werden und die aktuelle Entwicklung zeigt sogar ein leicht besseres Bild als für alle Technologien zusammen.

Mit Blick auf die EU 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 oder China. Damit erscheint die EU als ein Wirtschaftsraum, in dem die Technologieentwicklung von Umwelt- und Klimaschutztechnologien, wie sie sich in Patentaktivitäten niederschlägt, einen vergleichsweise hohen Stellenwert hat.

Ein Blick auf die Spezialisierung bei den Patenten zeigt, dass Deutschland ausgeprägte Spezialisierungsvorteile bei Klimaschutztechnologien hat. Dabei ist die Patentaktivität bei Erneuerbaren

Energien (insbesondere Windenergie) besonders ausgeprägt. Allerdings bleiben die Zuwachsraten der Patentanmeldungen in Deutschland im internationalen Vergleich, vor allem gegenüber den Spitzenreitern China, Korea und auch Dänemark, deutlich zurück. Deutschland wird aber auch von einigen weiteren Playern – unter anderem Frankreich, USA und Großbritannien – übertroffen.

Eine genauere 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. Den größten Zuwachs haben weltweit und auch in Deutschland Patentanmeldungen im Bereich „Energieeffizienz im Energiesystem“, die stark von Anmeldungen zu Energiespeichern geprägt sind. Bei der energieeffizienten Mobilität hat Deutschland ausgeprägte Stärken, die sich an seinem hohen Patentanteil (Rang 1 weltweit) und dem von allen Bereichen höchsten Wert des Spezialisierungsindikators (RPA = 65) zeigen. Deutschland ist bei Patenten zum Klimaschutz gut aufgestellt, zeigt aber Schwächen beim Wassermanagement, welches zur Klimaanpassung nötig ist: Beim Wassermanagement (und auch Abfall) sind die Spezialisierungsindikatoren von Deutschland deutlich negativ.

Für eine Kreislaufwirtschaft sind Innovationen im Recycling besonders wichtig. Deutschland hat den weltweit höchsten Anteil an Patenten für das Recycling von Metallen und Mineralstoffen (mit gut 18 % aller Patente) und eine hohe Spezialisierung in diesem Bereich. Auch bei stoffstrom-unspezifischen Recyclingtechnologien weist Deutschland hohe Patentanteile und positive Spezialisierung auf. Das Niveau der Recycling-Patentanmeldungen in Deutschland insgesamt scheint allerdings seit Ende der 2000er Jahre zu stagnieren. Einzige Ausnahme sind hier Patente zum Kunststoffrecycling, deren Anzahl sich aufgrund der EU-Strategie für Kunststoffe von 2018 auf 2020 in Deutschland verdreifacht haben.

Die besondere Dynamik bei umweltfreundlichen Gütern (adapted goods) bleibt bestehen. Hier wachsen auch in den letzten Jahren die Patentanmeldungen deutlich stärker als der Durchschnitt der Patente und als Umwelttechnologien insgesamt. Dies könnte mittelfristig zu einem Wandel in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte“ hinweisen (vgl. Walz et al. 2019), wodurch ein noch höherer Beitrag zur Nachhaltigkeit entstehen könnte (Gehrke et al. 2022). Insgesamt bleibt die verlässliche Ausrichtung der technologischen Entwicklung und der Wissensbasis auf die Ziele des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeitsziele eine ständige Herausforderung für Deutschland und weltweit.

Summary

On behalf of the Federal Environment Agency, 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 are collaborating on the project "Environmental Protection as an Economic Factor". In this project, regular analyses and updates of various indicators are carried out to assess the international performance of the German environmental economy. Both the innovative capacity (research and patents) and the economic importance of the environmental economy (production, turnover, employment, foreign trade) are considered in Germany and – as far as possible – internationally. The results are published in various studies on delimited topics.

This report deals with indicators for measuring the technological performance or innovation capability of the environmental economy, which refer to the resources for the research process (R&D expenditures) as well as the results of the research process (essentially patents).

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

There are very few meaningful or comparable results on business spending on research and development (R&D) for the production of environmental protection goods and services. Moreover, many of these results are based on estimates and often only shed light on some partial aspects of R&D and innovation activities (see below). For this reason, the international comparison analyses mainly refer to OECD publications. The member states' budget statistics published provide information on government spending on R&D in the program areas of environmental protection on the one hand and energy supply on the other. This makes it possible to at least estimate the weight given to these technology policy objectives within the overall allocation of funds in the individual countries.

Government R&D expenditure on environmental protection by OECD countries was estimated at just under US-\$ 9 billion in 2021. This represents a slight increase from the previous peak in 2020 (US-\$ 8.6 billion), following a year-on-year decline in 2019. Structurally, for OECD countries as a whole, spending on environmental protection purposes continued to grow in importance over the period 2010 to 2021. Environmental R&D spending accounted for 2.3 % of the total OECD R&D spending in 2021.

In contrast, the trend in European countries was the opposite. From 2010 to 2019, government R&D spending on environmental protection as a percentage of civil R&D spending in the EU-14⁵ countries decreased from 2.8 % (2010) to 2.4 % (2019). However, a significant increase to 2.8 % was seen again in 2021. The decline in the share of government R&D expenditure from 2010 to 2019, as described above, was not observed for Germany and some smaller EU-14 countries (Greece, Portugal). In Germany (2021: 3.4 %), environmental research continued to enjoy a significantly above-average status compared to the EU-14 and OECD averages. Only Greece (3.7 %), Portugal (4.3 %) and Ireland (4.7 %) had higher environmental research shares in 2021. By contrast, the environmental sector continued to play a minor role in the government R&D budget of the USA, and likewise for Japan, despite a brief improvement.

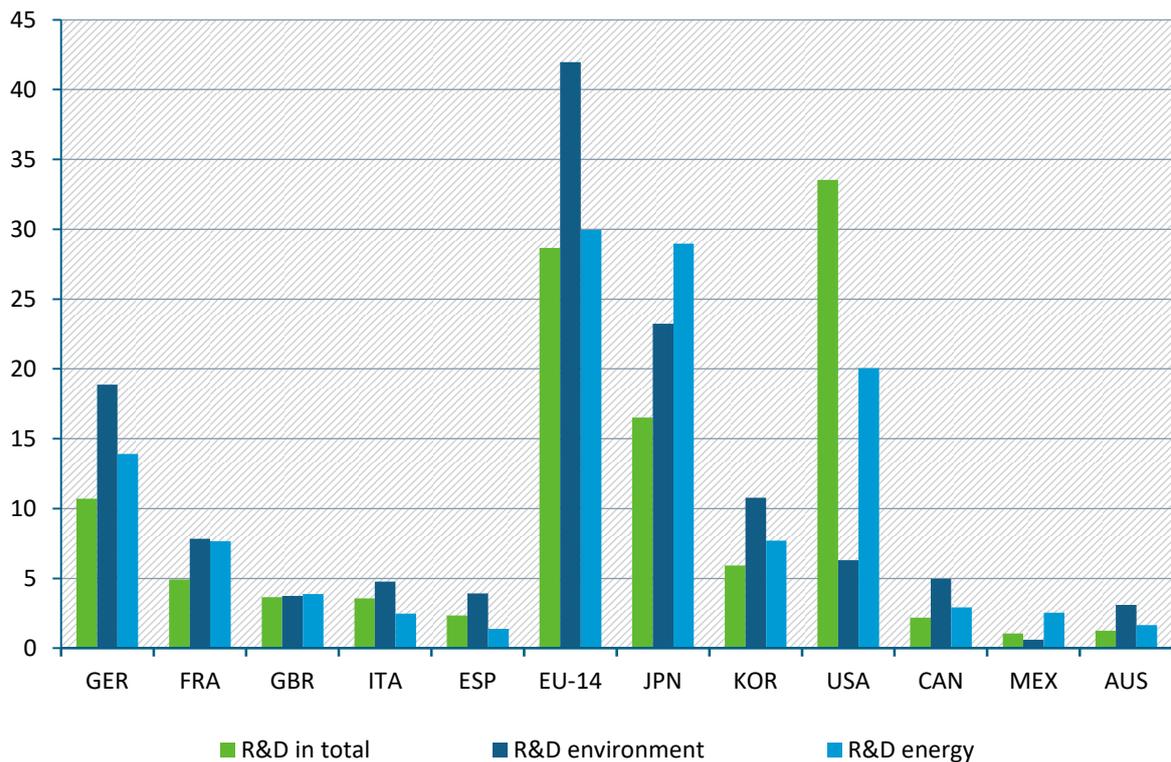
In contrast to the rather stagnant development of environmental research within Europe, the structural weight of energy research has continued to increase over the last decade. In 2021, according to current estimates, energy research accounted for 5 % of civil government R&D spending in the EU-14 countries. In Germany, the share was 6.2 % in 2021. The average for OECD

⁵ The EU-14 includes the group of "traditional" EU countries excluding Great Britain.

countries also showed an increased and still growing importance of energy research compared to environmental research over the last decade. The proportion of expenditure on energy research in the OECD countries ranged from 5.0 % to 6.1 % between 2010 and 2021.

This difference in prioritization is further illustrated by the shares of selected countries and the EU-14 as a whole in OECD-wide government R&D budgets for environmental and energy research, as shown in Figure 1.

Figure 1: Share of selected countries in the government R&D budgets of all OECD countries in 2021* in %: Environment, energy and total civil R&D



Aid to interpretation: Germany's share of the OECD countries' total R&D budgets in 2021 is 11% (green bar). In contrast, Germany's shares of the OECD-wide R&D budgets for environmental research (dark blue bar) and energy research (light blue bar) are noticeably higher. This implies that both research fields are comparatively highly weighted in public R&D research in Germany.

*2021 or latest available year (Canada 2019 (total) and 2016 (environment and energy) instead of 2021, South Korea and UK 2020 instead of 2021). EU-14 and OECD total estimated due to missing country values.

Source: OECD, Research and Development Statistics, data as of 09/2022. CWS calculations and estimates.

It is obvious that in Germany and the EU-14 countries as a whole, environmental and energy research enjoy above-average priority, with environmental research being weighted noticeably higher than energy research. The latter, in turn, has a significantly higher importance for Japan and the USA than environmental research. In addition, it is again clear that both environmental and energy research play a subordinate role for the USA relative to overall R&D spending.

The case is reversed in Japan. There, both environmental and energy research expenditures are attributed a higher importance than R&D expenditures as a whole. In both areas, Japan ranks second after the EU-14. The significant share for the energy sector is still largely due to the importance of nuclear power and the associated spending on nuclear research. Nevertheless, an increasing importance of government R&D support programs for renewable energies and energy efficiency can also be observed for Japan.

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

The International Energy Agency's (IEA) in-depth surveys on public budgets for energy research, development and demonstration (RD&D) provide a differentiated view of spending on various energy sources and technologies. Overall, since the beginning of the century, there have been clear shifts in all highly-developed countries in favour of nuclear energy and fossil fuels and in favour of future-oriented, i. e. sustainable, resource-conserving technologies (for delimitation, see the legend in Figure 2).⁶ Following the initial use of funds primarily for projects on renewable energies, energy efficiency, other power generation and storage technologies as well as cross-cutting topics (systemic innovations and basic research not assigned to individual sub-sectors) have moved more into focus over the course of the last 10 years.

In the period under review, (2019-2021), an average of 82 % of public funding for research and development and for demonstration projects in Germany flowed into future-oriented energy technologies, which is significantly more than in the reference period 2009-2011 (62 %). The German share was significantly higher than the average for the rest of the EU-15⁷ (65 %). However, there were also many European countries that spent their energy research budgets almost exclusively on research into future-oriented energy technologies. Hungary, Austria, Sweden and the Netherlands were among the leaders in Europe with shares between 95 % and 99 %. These countries therefore also play a pioneering role worldwide. The development in Norway is also remarkable, as the share of future-oriented technologies doubled from 36 % to 78 % between the two periods under review. Among the highly-developed countries outside Europe, Korea and the USA had the highest shares at 76 %, albeit with a slight downward trend. In Japan, on the other hand, there was a further increase to 60 %. The majority of countries were focusing their future-oriented research and development on energy efficiency and renewable energies (see Figure 2).

In terms of renewable energies, solar, wind and bioenergy were the main focus of RD&D funding in most countries. Solar energy dominated with 41 % in the 2019-2021 period under consideration, followed by wind energy with 31 % and bioenergy with 20 %. In the rest of the EU 15, the focus was increasingly on wind energy (19 %), while bioenergy (23 %) had become significantly less relevant within government RD&D budgets (2009-2011: 38 %). This also applied to the USA, where a shift in public research funding in favor of solar and wind energy was observed in the periods being compared.

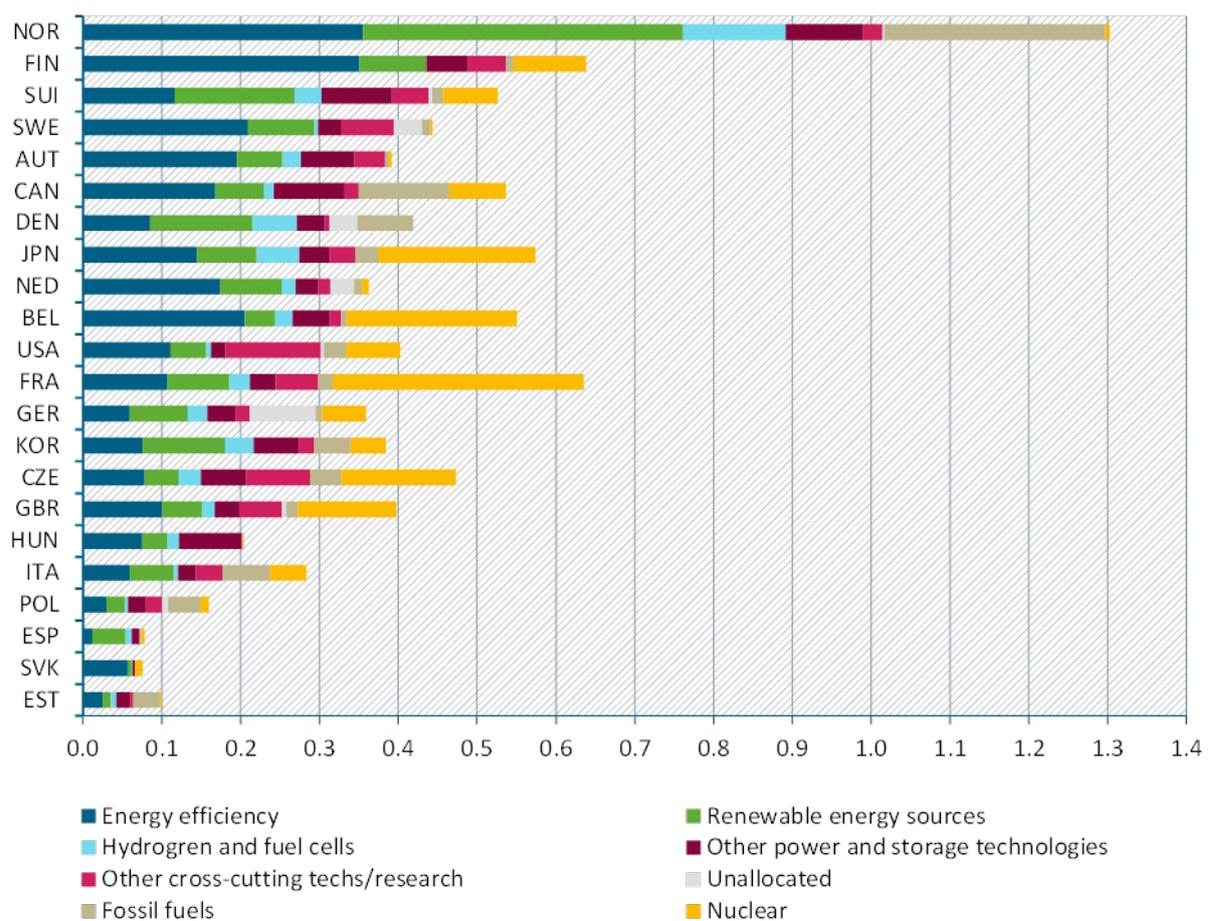
In Germany, 39 % of RD&D budgets for improving energy efficiency in the current period under review were allocated to buildings, another 34 % to industry, and 19 % to transport. In contrast, a shift away from the buildings sector was seen in the rest of the EU 15. On average in the rest of the EU 15, the focus was clearly and increasingly on transport (46 %). In the USA, the transport sector played an even greater role (72.5 %).

The overall economic significance of future-oriented energy research in the countries became apparent when the budgeted funds were put in relation to the respective gross domestic product (GDP). For Germany, the average share of future-oriented energy technologies in the current period is 0.30 ‰ of GDP, compared to 0.16 ‰ for the same period from 2009-2011. Compared to other countries, the German ratio is relatively low. In particular, the countries of Scandinavia and the Alpine region allocate a proportionately larger budget for future-oriented energy research (Figure 2).

⁶ The exceptions are Italy and Denmark, which have increased the share of fossil fuels.

⁷ As the three-year periods 2009 to 2011 and 2019 to 2021 are compared here, this analysis continues to consider the EU-15 (including Great Britain).

Figure 2: Public RD&D budgets by energy sector 2019 to 2021 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). Source: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets (Status: 5/2022). – Calculations by CWS.

Publicly funded environmental research in Germany

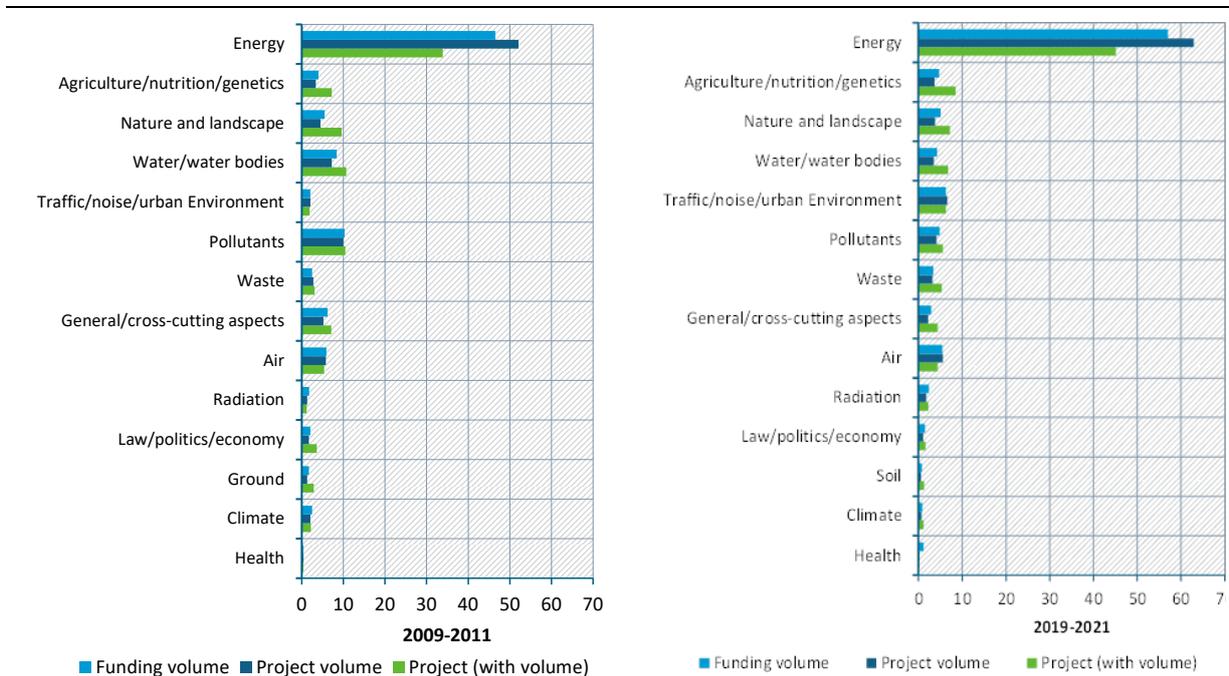
In order to obtain additional and more detailed information on the thematic foci of environmental protection research and research funding in Germany, the Federal Environment Agency's environmental research database UFORDAT is evaluated at regular intervals. In this report, the revised UFORDAT classification 2.0 is used for the first time. The database distinguishes between project and funding volumes as well as implementing and funding institutions and 24 environmental topics; these were merged into 14 environmental areas for the analyses, since only a very small number of research projects are allotted to cover several environmental topics.

The analyses showed an almost doubling of research projects (+90 %) from the 2009-2011 to the 2019-2021 period, with a simultaneous even higher increase in the average project and funding volume (+120 %). The average funding rate remained unchanged at around 70 %. On average, the environmental field of energy accounted for around 46 % of the newly started research projects in the current period under review and increasingly took up a large share of project funding, while the other environmental fields lost relevance (Figure 3).

Research projects with an environmental focus were increasingly being launched by private companies. Projects implemented by universities had smaller budgets than projects in industry, but received comparatively higher funding rates. The federal government was able to expand its

leading position as a research funder significantly (from 67 % to 96 %) by increasing in funding from an annual average of 1.1 billion euros to 2.9 billion euros.

Figure 3: Share of environmental fields in funded research projects 2009 to 2011 and 2019 to 2021



Source: Umweltbundesamt, UFORDAT (Status July 2022). – Calculations und estimates by CWS.

Importance of environmental innovations for companies in Germany

In Germany, environmental innovations are extremely relevant in view of the suspended energy transition and the gas shortage caused by the war in Ukraine. Measures to increase energy efficiency have a high priority at all levels in order to achieve energy policy objectives. The evaluation of the "Community Innovation Survey" (CIS)⁸ reveals that energy-saving and climate protection related environmental innovations continued to gain in importance for German companies in the period under review from 2018 to 2020. The focus here is primarily on reducing energy consumption and the associated reduction in CO₂ emissions.

Internal R&D spending by U.S. companies on energy-saving or environmental protection applications

In the U.S., the Business Enterprise Research and Development Survey (BERD) identifies the level of R&D spending on energy and environmental protection applications. In 2019, U.S. companies spent 24.1 billion USD on energy applications and 10.4 billion USD on environmental protection purposes. This was supplemented by 3.5 billion USD from external funding sources. Since 2010, however, internal R&D expenditures in energy and environmental protection have clearly become less important in terms of overall R&D in the U.S. economy. SMEs almost always dedicate a higher proportion of their total internal R&D expenditure on energy or environmental protection applications than large companies, although this proportion has almost halved within the space of a few years.

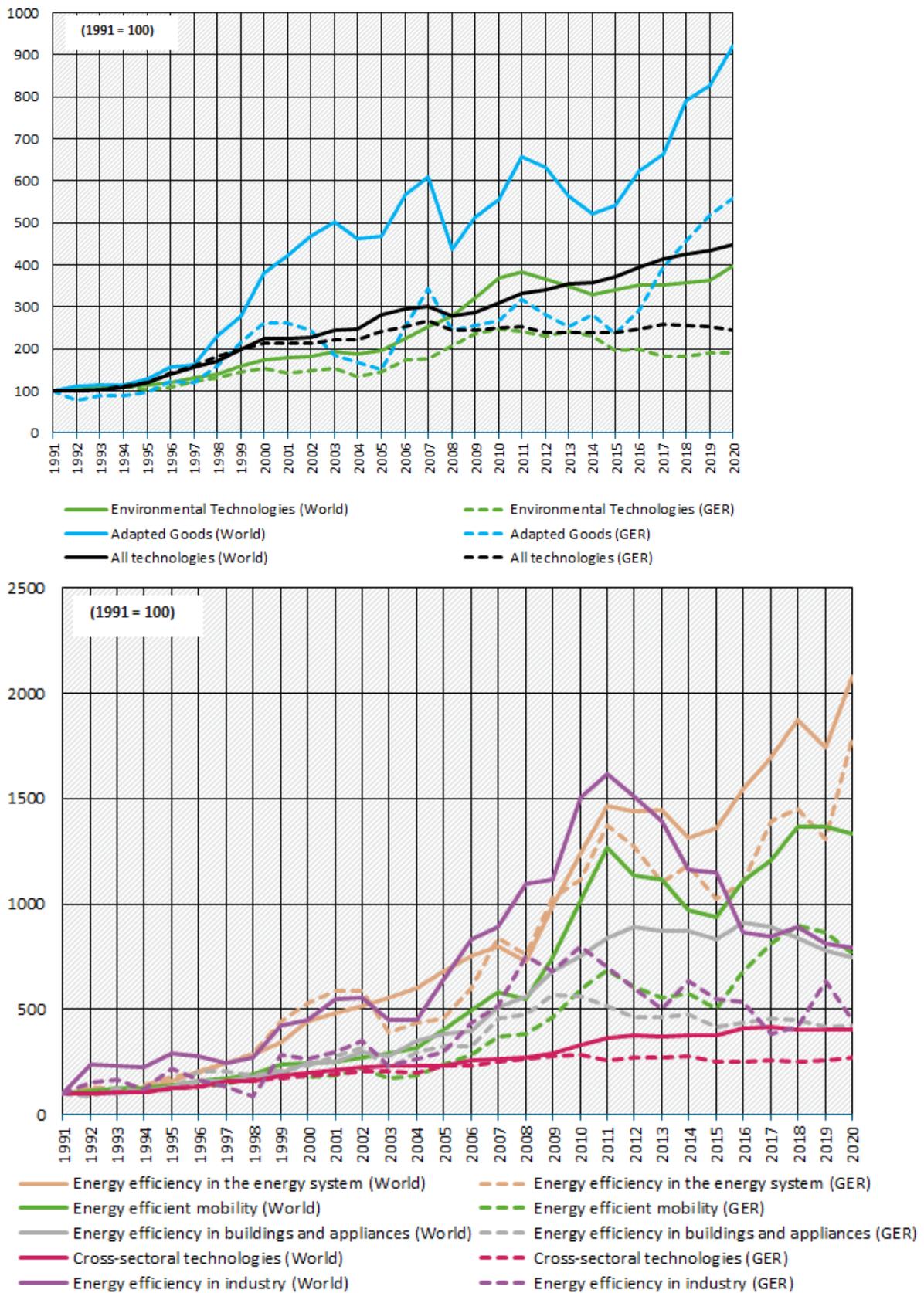
⁸ The European Union Innovation Survey (Community Innovation Survey CIS) is conducted every two years by the Statistical Office of the European Community (Eurostat). The German contribution is provided by the ZEW Innovation Survey.

Patent indicators in environmental protection – international developments

Few indicators are suitable for describing the early phases of the innovation process. Figures on patent applications, if they are well defined and collected, are an important and established basis for deriving various environmental innovation indicators. Fraunhofer ISI is constantly developing its methodology for this purpose. Newly added technologies in the field of energy efficiency are analysed in more detail for the second time in this report.

Figure 4 (upper diagram) compares the dynamics of environmental technologies and “adapted”, i. e. environmentally friendly, goods with the development of all technologies – both on a global level and within Germany. From a global perspective, the number of patent applications for environmental technologies has stagnated since their peak in 2011 and has been lagging behind the general technological momentum since 2013. A key reason for this development is that the trend in climate protection technologies, particularly renewable energies, continues to stagnate and has recently been declining. However, newly defined energy efficiency sectors are not yet included in the aggregated analysis and are shown separately in Figure 4 (lower diagram). They are very significant in terms of volume and are very dynamic, particularly in the areas of energy efficiency in the energy system and energy-efficient mobility. This is true in Germany, but even more so on a global level. The development of environmentally friendly goods has been much more dynamic than that of environmental technologies over the long term (since 1991), see Figure 4 (upper diagram).

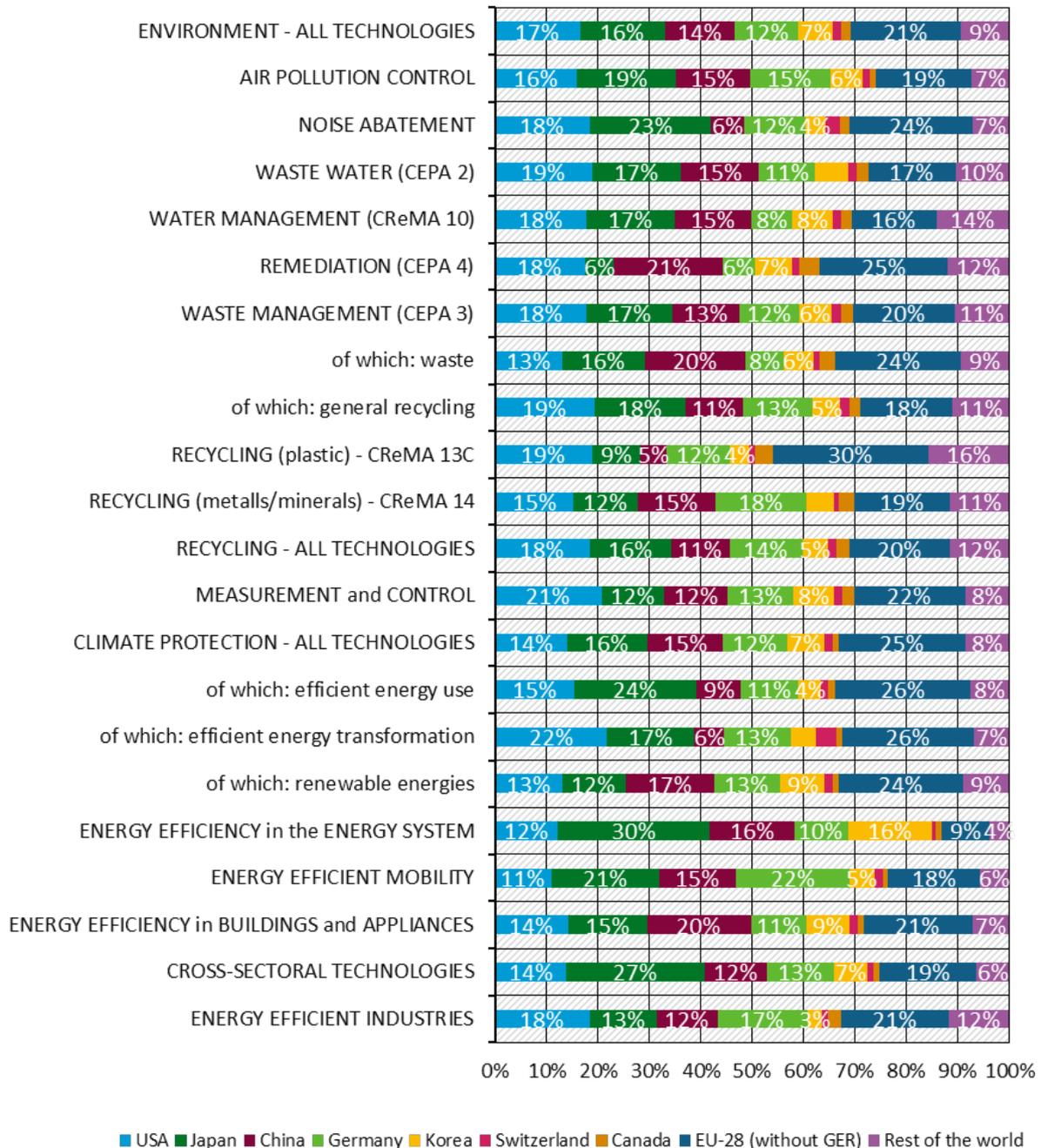
Figure 4: Trend in patent applications in Germany and globally



Source: Patstat 23a, Fraunhofer ISI calculations.

The patent shares of countries are an indicator of their contributions to innovation activity in selected technology areas and over certain periods of time. In the last 10 years, China has significantly increased its share of environmental technologies and has generally moved up to third place in the ranking of countries, or even to first place depending on the area of technology (see Figure 5).

Figure 5: Patent shares of selected countries in environmental technologies* (2016-2020)



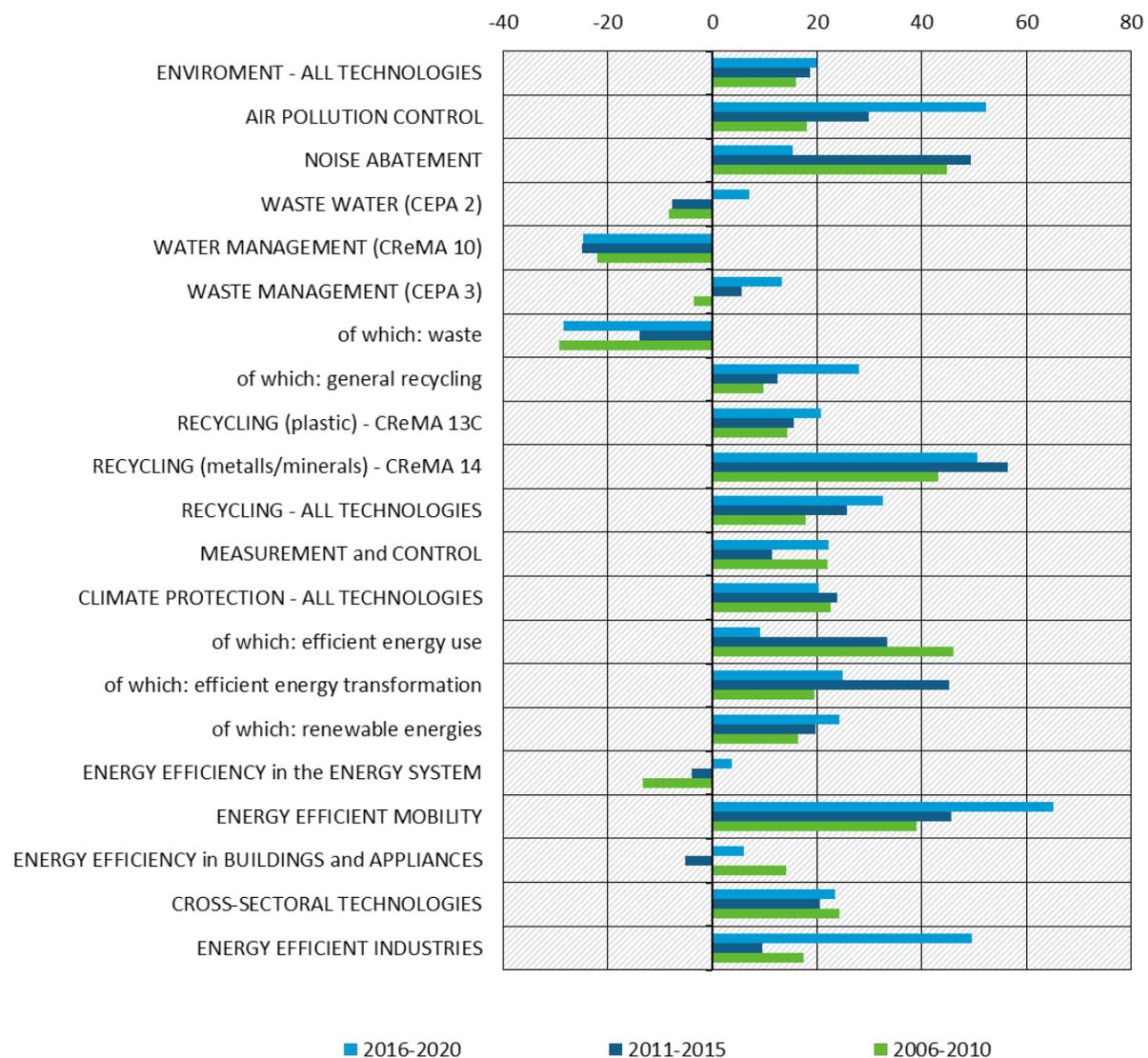
*CEPA 3 includes. „adapted goods“, individual countries sorted by their share in “Environment – All Technologies”
 Source: Patstat 23a, Fraunhofer ISI calculations.

The EU-28 (including Germany) are consistently the strongest player and consistently has a higher share of patents than the USA, although the USA far exceeds the EU-28 in terms of economy size (measured by GDP). The importance of the EU-28 is reflected in the combined total of all environmental technologies, as well as in all sub-areas with only one exception: Japan clearly

leads in the area of "energy efficiency in the energy system", in which electricity storage technologies play an important role.

Even though Germany's share of patents is now often smaller than that of China, Germany has the largest share of environmental patents within the EU-28. The largest share of German patents in worldwide patents is in energy-efficient mobility (22 %), recycling of metals and minerals (over 18 %) and energy efficiency in industry (17 %). The countries with the largest share of patents in environmental technologies (USA, Japan, China) are generally strong in technological developments and not (significantly) specialised in environmental technologies.

Figure 6: Germany's patent specialization in environmental technologies (RPA figures)



RPA = Relative patent share (specialisation measure): a positive (negative) value means that the respective patent share is above (below) the average of all environmental technologies - CEPA 3 incl. "adapted goods"; CEPA 4 and CReMA 11 are not statistically evaluated due to low absolute number of patents.

Source: Patstat 20s, Fraunhofer ISI calculations.

This view of specialisation 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 – is shown in more detail for Germany in Fig-

ure 6. It is easy to see that Germany is showing positive specialisation in almost all areas of environmental technologies in the most recent period from 2016-2020. It is only negative in the areas of water management and waste. For environmental technologies as a whole, there is a slight increase in the RPA over the five-year period, driven primarily by the areas of energy-efficient mobility, air pollution control, energy efficiency in industry and some areas of recycling. However, Germany is not among the countries most specialised in environmental technologies. Denmark, Spain, Australia and Norway are much more likely to specialise in this area. The key points for Germany regarding its specialisation in individual environmental areas are the following:

- ▶ The high patent share of 22% for energy-efficient mobility can be explained by the highly dynamic nature of applications for patents. The ever-increasing RPA values over the last 15 years underline the pronounced specialisation in energy-efficient mobility technologies.
- ▶ The positive specialisation in climate protection technologies as a whole is stable at an RPA value of approx. 20. All sub-areas show a positive specialisation in the period from 2016- 2020; this also applies to energy efficiency in buildings and energy efficiency in the energy system, which showed negative RPAs in the period from 2011-2015.
- ▶ The areas of waste management and recycling (total) have changed little overall compared to our last report (Gehrke et al. 2022), with a marginally positive value for waste management and clearly positive RPA value for the areas of recycling in general and recycling overall. The particular strength remains in the recycling of metals and minerals, but the RPA is falling slightly, while the values for the recycling of plastics are rising.

Patent indicators in environmental protection – the overall picture of Germany

Overall, the results show that Germany continues to be one of the leading nations in the field of environmental technologies, measured by the number of patent applications and the indicators that can be derived from them. Germany ranks fourth in the world, trumped only by the much larger economies of the USA, Japan and China. China has overtaken Korea in the last 10 years and Germany in the last 5 years. Within the EU, Germany is by far the most important player in terms of the number of environmental patents. The downward trend in annual patent applications for environmental technologies has been halted and the current trend even shows a slightly better picture than for all the technologies combined.

In the EU, other countries besides Germany are also very active in this area. The EU-28 as a whole has by far the largest share of patents worldwide – significantly higher than the USA or China. The EU therefore appears to be an economic area in which the technological development of environmental and climate protection technologies, as reflected in patent activity, is comparatively important.

An examination of the specialisation of patents shows that Germany has a distinct advantage in the area of climate protection technologies. Patent activity in renewable energies (especially wind energy) is particularly pronounced. However, the growth rates of patent applications in Germany are significantly lower compared to other countries, especially China, Korea and Denmark. Germany is also outperformed by several other players, including France, the USA and the UK.

A more detailed look at energy efficiency reveals that the technology field is developing very heterogeneously, but overall more dynamically over the period under review and shows a stronger increase in patent applications than is the case for all technologies as a whole. Patent applications in the field of "energy efficiency in the energy system", which are strongly characterised by

applications for energy storage systems, have seen the greatest growth both globally and in Germany. Germany has pronounced strengths in energy-efficient mobility, which is reflected in its high share of patents (ranked first worldwide) and the highest value for the specialisation indicator of all areas (RPA = 65). Germany is well positioned in terms of patents for climate protection, but shows weaknesses in water management, which is necessary for climate adaptation: Germany's specialisation indicators for water management (and waste) are well into the negative range.

Innovations in recycling are particularly important for a circular economy. Germany has the world's highest proportion of patents for the recycling of metals and minerals (with a good 18% of all patents) and a high level of specialisation in this area. Germany also has a high proportion of patents and positive specialisation in non-specific recycling technologies. However, the overall level of recycling patent applications in Germany seems to have stagnated since the end of the 2000s. The only exception here are patents for the recycling of plastics, whose number tripled in Germany from 2018 to 2020 due to the EU strategy for plastics.

The exceptional growth in environmentally friendly goods (adapted goods) continues. In recent years, patent applications in this area have also grown significantly faster than the average number of patents and environmental technologies as a whole. In the medium term, this could lead to a shift towards the eco-innovation type "sustainable products and value creation concepts" (cf. Walz et al. 2019), which could result in an even greater contribution to sustainability (Gehrke et al. 2022). Overall, the reliable alignment of technological development and the knowledge base with environmental protection and sustainability goals remains a constant challenge for Germany as well as the rest of the world.

1 Einleitung

Die gegenwärtigen Ereignisse (Corona-Pandemie, Ukraine-Krieg) haben die Bedeutung um die Notwendigkeit eines wirtschaftlichen Transformationsprozesses weiter in den Fokus gerückt. Die weltpolitische und -wirtschaftliche Lage dient dabei als Beschleuniger der Energiewende und des Klimaschutzes, denn eine Vielzahl westlicher Länder investieren derzeit stark in die Unabhängigkeit von fossilen Energieimporten und zugleich die Versorgungssicherheit durch die Nutzung von erneuerbaren Energien (Von Hirschhausen 2022). Die Erreichung der hochgesteckten Umwelt- und Klimaschutzziele ist durch die aktuellen Ereignisse wieder greifbar geworden und damit verstärkt in das Bewusstsein der Menschen gerückt. Die beschleunigte Energiewende unterstreicht die Notwendigkeit, umweltpolitische Erfordernisse mit innovationspolitischen Fragestellungen zu verknüpfen. Neue Technologien sind zur Erreichung der ehrgeizigen Umwelt- und Klimaschutzziele unabdingbar. Energie- und Ressourceneffizienz werden auch weiterhin zentrale Themen der Zukunft darstellen, welche durch Forschung und Entwicklung für den Umweltschutz angegangen werden müssen.

Mit dem geänderten Klimaschutzgesetz von 2021 hat die Bundesregierung die Klimaschutzvorgaben verschärft und sich selbst damit noch einmal höhere Umwelt- und Klimaschutzziele gesetzt. Darüber hinaus wurden mit dem Energieeffizienzgesetz (EnEfG) erstmals sektorübergreifende Rahmenbedingungen zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland festgelegt (BMWK 2023). Überdies unterstreichen weitere politische Strategien den hohen Stellenwert der Umweltinnovationen in der deutschen und europäischen Politik. So wurde 2021 die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie angepasst (Bundesregierung 2021a). Zudem adressieren das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (Bundesregierung 2020), der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz 2.0 (BMW 2019) sowie die Zukunftsstrategie Forschung und Innovation (Bundesregierung 2023) explizit Umweltinnovationen. Im europäischen Kontext hebt der European Green Deal die Bedeutung von Umweltinnovationen für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung hervor.

Um diese ambitionierten Zielsetzungen zu erreichen, werden neue Klima- und Umweltschutztechnologien benötigt. Das forcierte Streben nach innovativen Umwelt- und Klimaschutzlösungen kann als Chance angesehen werden, da diesen aufgrund der weltweiten steigenden Nachfrage nach Umweltschutzgütern ein enormes Wachstumspotenzial zugesprochen wird (Bücheler et al. 2021). Wie aus den nachfolgenden Auswertungen erkennbar ist, investieren eine Vielzahl an Staaten bereits in bedeutendem Maße in die Forschung und Entwicklung von Umweltschutzgütern. Aus deutscher Sicht gilt es daher, die Wettbewerbsfähigkeit bei Umweltschutzgütern schnellstmöglich auszubauen bzw. zu stärken, sodass Produktions- und Beschäftigungspotenziale im Inland generiert und gehalten werden können.

Vor diesem Hintergrund führt das Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS)⁹ 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.¹⁰ Dabei stehen FuE-Ausgaben als wesentliche Input-Indikatoren in den Forschungsprozess im Mittelpunkt. Komplementär werden Daten zu Patentanmeldungen

⁹ Das CWS hat beginnend mit den Vorgängerstudien (Gehrke et al. 2022, Gehrke et al. 2018, Gehrke & Schasse 2017) die früheren Arbeiten des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (NIW) fortgesetzt.

¹⁰ 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.

herangezogen, die als Output-Indikatoren für den Forschungsprozess das Bild abrunden.¹¹ Je nach Verfügbarkeit kommen Informationen zu Innovationen mit Umweltnutzen hinzu.

Abschnitt 2 liefert aus verschiedenen Perspektiven differenzierte Auswertungen 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. In Abschnitt 2.2 werden die Relevanz von Innovationen mit Umweltnutzen für Unternehmen in Deutschland sowie die FuE-Aufwendungen der US-Wirtschaft für Umwelt- und Energiezwecke vorgestellt.¹²

Ergänzt wird das Bild im Abschnitt 3 durch eine Betrachtung der Patentanmeldungen für Umwelttechnologien und umweltfreundliche Güter (adapted goods). Dabei werden verschiedene Umweltbereiche unterschieden und im Detail betrachtet. Technologien im Bereich Energieeffizienz werden in einem separaten Abschnitt vertieft, um ihre Bedeutung für den Klimaschutz besser herauszuarbeiten. Die Analyse vergleicht die technologische Dynamik zwischen verschiedenen Technologiefeldern. Zusätzlich werden Ländervergleiche angestellt. Dazu werden Patentanteile und Spezialisierungsmuster identifiziert und das Ranking von Deutschlands diskutiert.

Die verschiedenen Facetten der Innovationsfähigkeit Deutschlands im Umweltbereich werden unter Heranziehung verschiedener statistischer Datenquellen mit jeweils eigenen Klassifikationen untersucht. Daraus können sich bei der Definition von für den Umweltschutz relevante Themen- und Technologiefeldern Unschärfen ergeben. Insofern sind die Felder, die in der FuE-Analyse untersucht werden, nicht völlig deckungsgleich mit den Umweltbereichen in der Patentanalyse (vgl. dazu ausführlich in Gehrke et al. 2019). Die in den Unterkapiteln erläuterten Indikatoren werden anhand ihrer jeweiligen Abgrenzungen interpretiert.

Es sei angemerkt, dass in diesem Bericht vor allem die Zahlen gegenüber dem Innovationsmotor 2021 (Gehrke et al. 2022) auf das derzeit aktuellste verfügbare Jahr aktualisiert wurden. Sofern sich die Situation nicht oder nicht bedeutend geändert hat, können die Interpretationen der Datenlage und einzelne Textpassagen den Darstellungen in Gehrke et al. 2022 sehr ähnlich sein.

¹¹ Zur Herleitung der Indikatoren für die Messung des technologischen Wandels vgl. Grupp (1997) und Johnstone et al. (2008).

¹² Abweichend zu den Vorgängerstudien können aufgrund eines bisher nicht aktualisierten Datenstands keine neuen Entwicklungen der weltweiten öffentlichen und privaten FuE-Aufwendungen für erneuerbare Energien (FS-UNEP/BNEF) sowie der Forschungs- und Innovationsausgaben von Unternehmen in Europa in energiebezogenen Schlüsselaktionsfeldern (SET Plan key actions) vorgestellt werden.

2 Forschung und Entwicklung für den Umweltschutz

Zunächst wird in Abschnitt 2.1 anhand von verschiedenen amtlichen und halbamtlichen Datenbanken ein internationaler Vergleich der öffentlichen FuE-Aufwendungen für Umweltschutz- und Energieforschung vorgenommen. Anschließend folgt ein vertiefender Blick auf geförderte Umweltschutzprojekte in Deutschland. Abschnitt 2.2 widmet sich aktuellen Befunden zu FuE und Innovationen von Unternehmen im Umweltschutzbereich. Hierzu ist die Datenlage für Deutschland wie auch für den internationalen Vergleich weiterhin sehr eingeschränkt. Die verfügbaren Studien befassen sich teilweise ausschließlich mit ausgewählten Technologien im Energiebereich, sind methodisch nicht vergleichbar und liefern oft nur Querschnitte, wodurch keine Zeitreihenuntersuchung möglich ist.

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

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 2.1.1 die staatlichen Ausgaben für Umweltschutz- und Energieforschung, jeweils insgesamt, analysiert. In Abschnitt 2.1.2 werden die öffentlichen Haushaltsausgaben im Energiebereich für Forschung und Entwicklung nach unterschiedlichen Teilsegmenten betrachtet. Abschnitt 2.1.3 untersucht Strukturen und Entwicklungen der deutschen Forschungsförderung im Umweltschutzbereich auf Grundlage vorliegender Projektdaten.

Die staatlichen Ausgaben für Umweltschutz- und Energieforschung sind dabei ein Indiz dafür, wie stark die Innovationspolitik ökonomische Impulse im Bereich der Technologieentwicklung gibt, die über die Marktchancen hinausgehen (BMBF 2023; IEA 2019). Staatliche FuE-Aufwendungen werden gemäß der klassischen Innovationstheorie im besonderen Maße zur Finanzierung risikoreicher Grundlagen- und vorwettbewerblicher Forschung verwendet, für die private Mittel aus der Wirtschaft nicht bzw. nur unzureichend zur Verfügung stehen (vgl. Griliches 1980). Als Datenquelle für die hier vorgelegte international vergleichende Analyse werden die OECD-Statistiken zu den staatlichen FuE-Ausgabenansätzen mit sozioökonomischer Zielsetzung herangezogen. Darunter finden sich neben anderen öffentlichen Gütern wie Gesundheit und Verteidigung auch Informationen zu den gesamten staatlichen FuE-Ausgaben für Umweltforschung einerseits und Energieforschung andererseits.

Im Zuge der globalen Herausforderungen im Klimaschutzbereich steht die Energieforschung in besonderem Maße im Fokus. Deshalb werden für differenziertere Analysen zu diesem Aspekt die Daten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu den öffentlichen Haushalten für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte im Energiebereich (Energy Technology RD&D Budgets)¹³ genutzt. Dort werden, anders als in der OECD-Statistik, die Ausgaben für Energieforschung in sieben Teilsegmente unterteilt. Somit lässt sich zwischen Mitteln für zukunftsweisende Technologien (wie Energieeinsparung, Energieeffizienz, Erneuerbare Quellen), fossile Energieträger (wie Kohle, Gas und Öl) und Nuklearenergie unterscheiden. Damit bietet sich ein grober Überblick über die weltweiten Strukturen und Entwicklungen der betrachteten Forschungsfelder.

Aktuelle Trends der deutschen Forschungsförderung im Umweltschutzbereich werden anhand von Projektdaten nach klassifizierten Umweltbereichen betrachtet. Dabei steht der Betrachtungszeitraum 2019-2021 im Fokus der Analyse. Die Daten stammen aus der Umweltforschungsdatenbank (UFORDAT) des Umweltbundesamtes.

¹³ Die IEA erfragt die Informationen jährlich von den zuständigen nationalen Stellen. Vgl. IEA (2011).

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

Für die Entwicklung und den Einsatz von Umwelttechnologien nimmt der Staat eine wichtige Rolle ein. Dies gilt besonders für das Festlegen von Rahmenbedingungen für Innovationen und deren Diffusion anhand von Normen und Standards in der Umweltpolitik. Darüber hinaus verfolgt der Staat eigenständige umweltpolitische Ziele, die unabhängig von der technologischen Leistungsfähigkeit der Wirtschaft sind. Hierzu gehört auch seine Vorsorgefunktion, durch die Impulse für die technologische Leistungsfähigkeit der Wirtschaft gesetzt werden können. Grundsätzlich dienen Fortschritte in Wissenschaft und Forschung dazu, die umweltpolitischen Optionen der jeweiligen Gesellschaft als auch die technologischen Optionen ihrer Unternehmen zu erweitern.

Welche Bedeutung einzelne Volkswirtschaften Umweltschutz innerhalb ihrer technologiepolitischen Zielsetzung beimessen, wird anhand der staatlichen Unterstützung von FuE-Programmen für den Umweltschutz deutlich (vgl. Legler et al. 2006). Die Analyse basiert auf der internationalen harmonisierten FuE-Statistik „Government Budget Allocations for R&D“ (GBARD) der OECD. Darin werden – unterschieden nach sozioökonomischen Zielen – die zivilen staatlichen Ausgaben für FuE der jeweiligen Länder ausgewiesen. Erfasst werden u. a. die Ziele „Umweltschutz“ und „Energie“. Dabei sind unter dem Ziel „Umweltschutz“ alle staatlichen FuE-Ausgabenansätze subsummiert, die einer „unzerstörten physischen Umwelt“ dienen. Im Detail umfasst dies Ausgaben in den Bereichen Luft, Wasser, Abfall, Boden, Lärm und Strahlenschutz. Zu dem Ziel „Energie“ zählen alle staatlichen FuE-Ausgaben, die die Produktion, Speicherung, Verteilung und rationelle Nutzung jeglicher Form von Energie umfassen.¹⁴ Zu beachten ist jedoch, dass diese Statistik nur die Zahl der Programme und Projekte mit Hauptzweck Umweltschutz beinhaltet. Damit unterschätzt die Statistik die staatlichen Anstrengungen dahingehend, dass Fortschritte beim Umweltschutz ebenso als sogenanntes Nebenprodukt technologischer FuE auftreten können.

Im Jahr 2021 beliefen sich die staatlichen FuE-Aufwendungen der OECD-Länder für den Umweltschutz auf schätzungsweise knapp 9 Mrd. US-\$. Damit ergibt sich eine weitere leichte Steigerung gegenüber dem bisherigen Spitzenwert aus 2020 (8,6 Mrd. US-\$), nachdem 2019 noch ein Rückgang gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen gewesen war.¹⁵

Zwar fehlen für einige größere Länder wie Kanada, Südkorea, Großbritannien und Neuseeland noch Angaben für das Jahr 2021, so dass sich noch keine Aussage über das genaue Ausgabenvolumen aller OECD-Länder treffen lässt. Die bereits vorliegenden Daten für 28 Länder indizieren jedoch eine weitere Ausweitung der OECD-weiten öffentlichen Forschungsausgaben für den Umweltschutz, der damit gleichzeitig auch relativ an Bedeutung gewonnen hat.

Für eine genauere Betrachtung der einzelnen Länder und der OECD-Länder insgesamt werden die staatlichen FuE-Aufwendungen für Umweltschutz in Relation zu den gesamten zivilen

¹⁴ 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 et al. 2020, Tab. 2.1.2).

¹⁵ Für die GBARD-Daten (früher GBOARD: Government Budget Outlays and Appropriations for R&D) ergeben sich für die letzten Jahre immer wieder Revisionen, so dass die in diesem Bericht zugrundeliegenden Daten von denen in den Vorgängerberichten (Gehrke et al. 2022) abweichen können.

FuE-Ausgaben¹⁶ gesetzt (Tabelle 1).¹⁷ Strukturell haben für die OECD-Länder insgesamt über den Zeitverlauf von 2010-2021 die Ausgaben für Umweltzwecke an Bedeutung gewonnen. Für die Ländergruppe EU-14¹⁸ war zunächst eine rückläufige Entwicklung zu beobachten. So sank der Anteil der staatlichen FuE-Ausgaben für Umweltschutz an den zivilen FuE-Ausgaben von 2,8 % (2010) auf 2,4 % (2019). Am aktuellen Rand ist jedoch ein deutlicher Anstieg auf nun wieder 2,8 % zu verzeichnen. Somit hat auch in den nunmehr EU-14 Ländern die Bedeutung wieder zugenommen. Hierfür zeichnen insbesondere Frankreich, aber auch Deutschland, Schweden, Irland und Finnland verantwortlich, wohingegen Länder wie Spanien, Belgien und Österreich ihre hohen FuE-Ausgabenanteile für Umweltschutzzwecke verringert haben. Ein ähnlicher Verlauf wie für die EU-14 ist für die EU-15 Länder zu beobachten, wenngleich deren Quote 2021 (2,7 %) noch immer etwas niedriger ist als 2010 (2,9 %), weil Großbritannien seine umweltschutzspezifischen staatlichen FuE-Ausgaben seit 2017 anteilig zurückgefahren hat (vgl. Tabelle 1).

Für die großen Länder außerhalb der EU lässt sich eine unterschiedliche Entwicklung beobachten. Die USA verzeichnen nach wie vor rückläufige Anteile der Umweltforschung an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben. Am aktuellen Rand betrug dieser lediglich 0,6 % (2021). Damit schneiden die USA im internationalen Vergleich deutlich unterdurchschnittlich ab. Dem gegenüber setzt sich für Südkorea der seit 2016 bestehende überdurchschnittliche Anteilsanstieg weiter fort: Im letzten verfügbaren Jahr 2020 lag der Anteil bei bereits 3,8 %. Japan hatte nach der Katastrophe von Fukushima die Umweltforschung deutlich ausgeweitet. Seit 2019 ist der Anteil jedoch wieder gesunken und ist mit zuletzt 2,6 % wieder unter den EU-Durchschnitt zurückgefallen.

Für Deutschland zeigt sich am aktuellen Rand mit 3,4 % (2021) erneut ein überdurchschnittlicher Umweltschutzanteil. Damit liegt Deutschland gemessen an diesem Strukturindikator in Europa (EU-14: 2,8 %) in der Spitzengruppe. Lediglich Griechenland (3,7 %), Portugal (4,3 %) und Irland (4,7 %) weisen höhere Umweltforschungsanteile im Jahr 2021 auf (Tabelle 1). Außerhalb der EU verzeichnet neben Korea (s. o.) auch Australien (2021: 4,8 %) überdurchschnittliche Anteile der Umweltschutzforschung an den staatlichen FuE-Ausgaben.¹⁹

Im Gegensatz zu der insgesamt eher stagnierenden Bedeutung der Umweltschutzforschung an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben innerhalb Europas, ist das Strukturgewicht der Energieforschung im Verlauf des letzten Jahrzehnts weiter gestiegen. Die Anteile der Energieforschung in den EU-14 sowie EU-15 Ländern wuchsen stetig an und erreichten 2017 einen Spitzenwert von 5,4 % (EU-14) und 5,2 % (EU-15) (Gehrke et al. 2022). Dies ist insbesondere der Gewichtungsverschiebung von der Umweltforschung hin zur Energieforschung zuzuschreiben. Besonders der Bereich Energieeffizienz hat deutlich an Bedeutung gewonnen (vgl. Abschnitt 2.1.2). In den Folgejahren sank der Anteil der Energieforschung an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben der EU-15 (bzw. EU-14) wieder, jedoch konnte 2021 nach aktuellen Schätzungen wieder die 5,0 % (EU-14 als auch EU-15) erreicht werden (Tabelle 1).

¹⁶ Um die teils horrenden Unterschiede in der Bedeutung militärischer Forschung innerhalb der gesamten staatlichen FuE-Budgets auszublenden, werden als Referenz ausschließlich die gesamten zivilen FuE-Ausgaben herangezogen. Siehe dazu ausführlich Legler & Krawczyk (2009).

¹⁷ Israel bleibt in der Summe der OECD-Länder jeweils unberücksichtigt, da das Land nicht zwischen militärischen und zivilen Zwecken bei der Angabe von staatlichen FuE-Ausgaben unterscheidet.

¹⁸ Ab 2020 nur noch EU-14 ohne Großbritannien. Rückwirkende Berechnung EU-14 für den gesamten Zeitraum 2010-2021 ohne Großbritannien.

¹⁹ Auch für Neuseeland fallen die verfügbaren Werte ausgesprochen hoch aus; hier bezieht sich der aktuellste Wert jedoch auf das Jahr 2017 (7,1 %).

Tabelle 1: Umweltforschung und Energieforschung in den staatlichen FuE-Budgets ausgewählter OECD-Länder 2010-2021

Land	Umweltforschung										Energieforschung							
	Anteil staatlicher Umweltforschungsausgaben an zivilen staatlichen FuE-Ausgaben in %					Anteil staatl. Umweltforschungsausgaben am BIP in ‰					Anteil staatl. FuE-Ausgaben für Energie an den zivilen staatl. FuE-Ausgaben in %					Anteil staatl. FuE-Ausgaben für Energie am BIP in ‰		
	2010	2015	2019	2020	2021	2010	2019	2020	2021	2010	2015	2019	2020	2021	2010	2019	2020	2021
GER	2,9	3,0	2,8	2,8	3,4	0,25	0,27	0,29	0,35	4,0	4,9	6,0	6,0	6,2	0,34	0,56	0,63	0,65
FRA	3,0	3,6	1,6	2,0	3,2	0,21	0,10	0,14	0,20	7,8	7,7	7,8	7,9	8,0	0,55	0,48	0,53	0,50
GBR	3,7	2,7	1,9	1,9	n.a.	0,17	0,10	0,10	n.a.	1,0	3,0	4,7	4,7	n.a.	0,05	0,23	0,25	n.a.
ITA	3,0	2,6	2,5	3,0	2,4	0,18	0,14	0,20	0,16	3,7	3,7	3,0	3,3	3,2	0,22	0,17	0,22	0,21
BEL	2,4	2,0	1,1	0,6	0,7	0,16	0,07	0,05	0,04	1,6	1,3	1,6	1,7	1,9	0,11	0,11	0,12	0,13
NED ²	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,06	0,05	0,06	0,06	2,2	2,4	3,4	2,1	2,2	0,15	0,24	0,16	0,17
DEN	2,0	2,1	0,9	1,2	1,2	0,20	0,08	0,12	0,11	6,2	3,3	3,3	3,6	6,6	0,61	0,29	0,35	0,61
IRL	1,7	1,0	1,2	1,9	4,7	0,08	0,03	0,05	0,10	3,6	1,0	1,4	0,9	1,3	0,17	0,03	0,02	0,03
GRE	0,9	3,1	5,8	4,2	3,7	0,03	0,40	0,37	0,33	3,2	1,9	2,5	2,2	2,9	0,10	0,17	0,20	0,26
ESP	4,3	3,8	3,9	3,1	3,1	0,33	0,20	0,19	0,18	3,5	2,6	2,6	2,6	2,7	0,27	0,13	0,16	0,16
POR	2,6	4,8	4,6	4,3	4,3	0,14	0,16	0,16	0,16	1,6	2,4	1,9	2,1	2,1	0,09	0,07	0,08	0,08
SWE	1,9	1,5	1,8	1,8	2,4	0,15	0,13	0,14	0,18	5,1	4,2	4,4	4,6	3,8	0,39	0,31	0,34	0,29
FIN	1,5	1,1	2,4	3,0	2,8	0,17	0,19	0,29	0,25	9,9	9,0	3,4	2,9	2,8	1,06	0,27	0,27	0,24
AUT	1,8	0,7	0,5	2,7	0,8	0,14	0,04	0,24	0,07	1,2	3,4	2,1	3,5	2,6	0,09	0,16	0,31	0,23
EU-15	2,9	2,7	2,3	2,4	2,7	0,20	0,15	0,18	0,19	4,2	4,4	4,8	4,8	5,0	0,29	0,32	0,36	0,36
EU-14¹	2,8	2,7	2,4	2,5	2,8	0,20	0,16	0,19	0,21	4,6	4,6	4,9	4,9	5,0	0,33	0,33	0,38	0,38
SUI	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,03	0,03	0,04	0,04	0,7	0,8	0,6	0,6	0,9	0,05	0,06	0,06	0,09
NOR	2,5	2,6	2,8	3,1	2,8	0,20	0,28	0,35	0,25	4,4	2,6	2,7	2,6	2,3	0,35	0,27	0,29	0,21
ISL	3,0	0,0	0,0	n.a.	n.a.	0,28	n.a.	n.a.	n.a.	1,0	0,7	0,4	n.a.	n.a.	0,09	0,04	n.a.	n.a.
CZE	2,8	2,3	2,1	2,1	2,1	0,02	0,13	0,14	0,13	3,8	4,5	4,6	4,5	4,4	0,21	0,28	0,30	0,27
POL ²	6,6	6,8	0,5	1,2	0,6	0,22	0,02	0,05	0,02	2,1	2,0	0,3	1,0	0,4	0,07	0,01	0,04	0,01
SVK	2,1	2,9	3,1	3,0	3,3	0,08	0,12	0,12	0,13	1,6	1,7	0,9	2,3	1,4	0,06	0,03	0,09	0,05
HUN	2,5	2,2	4,0	4,3	3,1	0,09	0,11	0,23	0,12	1,3	3,1	3,0	2,6	5,8	0,05	0,08	0,14	0,22
EST	10,5	7,8	0,7	1,4	0,9	0,72	0,04	0,09	0,06	3,1	2,3	0,1	0,1	0,4	0,21	0,01	0,01	0,03
CAN	4,3	3,9	n.a.	n.a.	n.a.	0,26	n.a.	n.a.	n.a.	9,8	6,1	n.a.	n.a.	n.a.	0,59	n.a.	n.a.	n.a.
USA	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,04	0,02	0,03	0,02	4,0	4,7	5,6	5,1	5,2	0,17	0,21	0,22	0,20
MEX	1,4	1,1	1,1	1,2	1,1	0,04	0,02	0,03	0,02	24,1	18,8	17,4	15,0	11,0	0,71	0,34	0,31	0,22
JPN ³	1,1	2,0	3,3	2,6	2,6	0,08	0,33	0,44	0,39	12,8	11,4	8,7	5,4	8,2	0,88	0,87	0,90	1,21
KOR	2,4	2,9	3,7	3,8	n.a.	0,21	0,33	0,40	n.a.	9,8	9,5	6,7	6,3	n.a.	0,88	0,61	0,66	n.a.
AUS	4,2	4,1	3,7	3,5	4,8	0,20	0,13	0,15	0,18	5,1	5,2	5,1	4,5	6,4	0,24	0,19	0,19	0,23
NZL	11,5	9,8	n.a.	n.a.	n.a.	0,58	n.a.	n.a.	n.a.	1,6	1,2	n.a.	n.a.	n.a.	0,08	n.a.	n.a.	n.a.
OECD	2,1	2,2	2,1	2,2	2,3	0,12	0,11	0,14	0,13	6,1	5,9	5,7	5,0	5,7	0,33	0,31	0,33	0,34

n. a.: nicht ausgewiesen bzw. nicht berechenbar. – 1) nur noch EU-14 ohne GBR; 2) 2012 statt 2010; 3) Bruch in der Zeitreihe ab 2016; 4) 2011 statt 2010. Werte für EU-15/14 (jeweils einschließlich Luxemburg) und OECD insgesamt aufgrund fehlender Länderwerte für mehrere Jahre geschätzt.

Quelle: OECD, Research and Development Statistics, Datenstand 09/2022. Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Die für Deutschland vormals ähnlich hohen Anteile für Umweltforschung und Energieforschung (vgl. Gehrke et al. 2018) zeigen nun deutliche Unterschiede zugunsten der Energieforschung auf. Lag 2010 die Divergenz noch bei rund einem Prozentpunkt (Umwelt: 2,9 %, Energie: 4,0 %), so ist dieser am aktuellen Rand fast doppelt so hoch (Umwelt: 3,4 %, Energie: 6,2 %).

Ein noch deutlicherer Unterschied zwischen den Umwelt- und Energieforschungsanteilen an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben ist für die OECD-Länder insgesamt zu erkennen. 2010 bis 2021 stieg der Anteil der Ausgaben für Umweltforschung der OECD-Länder von 2,1 % auf 2,3 % leicht an. Dem gegenüber sanken die Ausgabenanteile der Energieforschung im gleichen Zeitraum von 6,1 % auf 5,7 %. Damit bestätigt sich auch im Durchschnitt der OECD-Länder die höhere Bedeutung der Energieforschung im Vergleich zur Umweltforschung. Anders als bei Deutschland ist der Abstand zwischen beiden Quoten OECD-weit aber nicht größer geworden.

Die auf Länderebene unterschiedliche Gewichtung und somit Bedeutung der Umwelt- und Energieforschung wird noch deutlicher, werden die spezifischen staatlichen Forschungsausgaben in Relation zum jeweiligen Bruttoinlandprodukt (BIP) betrachtet. Mit diesem Vorgehen, werden auch die Differenzen in der Finanzierung von FuE insgesamt zwischen den einzelnen Ländern berücksichtigt.

Grundsätzlich zeigen sich auch in dieser Betrachtung die Niveauunterschiede der Länder, die sich bei den Anteilen an den zivilen staatlichen FuE-Ausgaben ergeben haben. Im Detail werden jedoch Unterschiede in den gefundenen Mustern deutlich (Tabelle 1). So rangierte Deutschland im EU14-Ländervergleich bei Umweltforschungsausgaben 2021 auf dem vierten Platz, liegt bei der Betrachtung der Anteile der Umweltforschung am BIP mit 0,35 ‰ auf dem ersten Platz knapp vor Griechenland (0,33 ‰), aber deutlich vor den anderen EU-14 Ländern. Auch bezogen auf den Anteil der Energieforschungsausgaben am BIP befindet sich Deutschland seit 2019 auf Platz eins (2021: 0,65 ‰) gefolgt von Dänemark (0,61 ‰) und Frankreich (0,50 ‰).

Im Bereich der Umweltforschungsausgaben am BIP liegt am aktuellen Rand neben Deutschland und Griechenland nur noch Finnland über dem EU-14 Durchschnitt von 0,21 ‰. 2020 waren zusätzlich zu Deutschland, Finnland und Griechenland auch Italien und Österreich überdurchschnittlich positioniert. Ein anderes Bild zeigt sich für die Energieforschungsausgaben am jeweiligen BIP. Waren es 2020 nur Deutschland und Frankreich, die über dem EU-14 Durchschnitt lagen, kam 2021 auch Dänemark dazu.

Ein Vergleich mit den Anteilen der Umweltschutz- und Energieforschungsausgaben am jeweiligen BIP von Ländern außerhalb der EU-14 verdeutlicht, dass Japan und Südkorea in beiden Bereichen (Umwelt und Energie) klar überdurchschnittliche und auch höhere Indikatorwerte als Deutschland aufweisen. Bei der Energieforschung ergeben sich für Japan durchweg die höchsten Anteile vor Deutschland, Dänemark und Frankreich. Im Bereich der Umweltforschung zeigt zusätzlich Norwegen überdurchschnittliche und teils höhere Anteile als Deutschland.

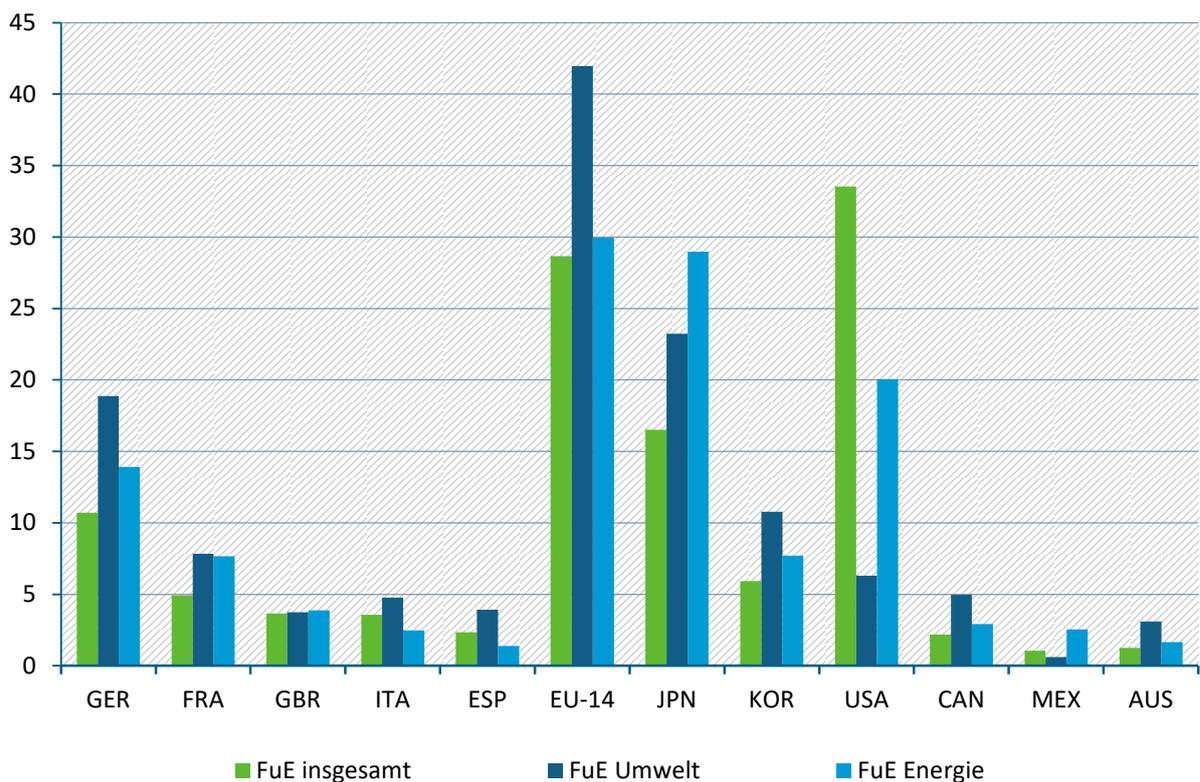
Anhand von Abbildung 7 lassen sich die Anteile ausgewählter Länder bzw. der EU-14 insgesamt an den OECD-weiten staatlichen FuE-Budgets für die Umwelt- und Energieforschung ablesen. Der Vergleich mit den entsprechenden Anteilen an den zivilen FuE-Ausgaben insgesamt (grüner Balken) macht deutlich, in welchen Ländern Umwelt- bzw. Energieforschung besonders hohe oder eher geringe Bedeutung im Vergleich zu anderen sozioökonomischen Zielen hat.

Den höchsten Anteil an den gesamten zivilen FuE-Ausgaben der OECD-Länder erzielen deutlich die USA (33,5 %), gefolgt von den EU-14 Staaten (28,7 %) und Japan (16,5 %). Deutschland stellt mit 10,7 % fast ein Drittel des EU-14-Budgets. In der Umweltforschung liegen die EU-14 Staaten (42,0 %) klar an der Spitze. Bei länderweiser Betrachtung rangieren Japan (23,2 %) und Deutschland (18,9 %) klar vorn. Die USA fallen mit lediglich 7 % deutlich zurück. Auch bei der

Energieforschung rangieren die EU-14 auf Platz 1 (30 %). Hier ist der Abstand zu Japan (29 %) und den USA (21 %) aber deutlich geringer.

Offensichtlich ist, dass in Deutschland und den EU-14 Staaten insgesamt Umwelt- und Energieforschung überdurchschnittlich hohe Priorität genießen, wobei die Umweltforschung merklich stärker gewichtet wird als die Energieforschung. Diese wiederum hat für Japan und USA eine deutlich höhere Bedeutung als die Umweltforschung. Zudem wird erneut deutlich, dass sowohl Umwelt- als auch Energieforschung für die USA eine untergeordnete Rolle gegenüber den gesamten FuE-Ausgaben spielen.

Abbildung 7: Anteil ausgewählter Länder an den staatlichen FuE-Budgets aller OECD-Länder 2021* in %: Umwelt, Energie und zivile FuE-Ausgaben insgesamt



Lesehilfe: Der Anteil Deutschlands an den gesamten FuE-Budgets der OECD-Länder liegt 2021 bei 11 % (grüner Balken). Deutschlands Anteile an den OECD-weiten FuE-Budgets für Umweltforschung (dunkelblauer Balken) und Energieforschung (hellblauer Balken) sind demgegenüber deutlich höher. Dies impliziert, dass beide Forschungsfelder in der öffentlichen FuE-Forschung in Deutschland vergleichsweise hoch gewichtet werden.

*2021 oder letztes verfügbares Jahr (Kanada 2019 (insgesamt) und 2016 (Umwelt und Energie) anstelle 2021, Südkorea und Großbritannien 2020 anstelle 2021). EU-14 und OECD insgesamt aufgrund fehlender Länderwerte geschätzt.

Quelle: OECD, Research and Development Statistics, Datenstand 09/2022. Berechnungen und Schätzungen des CWS.

Der gegensätzliche Fall ist für Japan zu beobachten. Dort werden – ähnlich wie in Deutschland und den EU-14 insgesamt – sowohl Umwelt- als auch Energieforschungsausgaben eine höhere Bedeutung zugeschrieben als den FuE-Ausgaben insgesamt. In beiden Bereichen liegt Japan nach den EU-14 auf Platz zwei. Dabei ist der hohe Anteil im Energiebereich noch immer zu weiten Teilen auf die Bedeutung des Atomstroms und die damit verbundenen Ausgaben für Nuklearforschung zurückzuführen. Dennoch lässt sich auch für Japan eine zunehmende Bedeutung von

staatlichen FuE-Förderprogrammen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz beobachten (vgl. Abschnitt 2.1.2).²⁰

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

Im folgenden Kapitel werden staatliche Haushaltsansätze ausgewählter OECD-Länder für Forschung und Entwicklung sowie für Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich ausgewertet. Die gezielte Förderung von FuE- und Demonstrationsprojekten dient insbesondere der technologischen Weiterentwicklung im Energiebereich. Staatliche Fördermaßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien sind hierbei nicht enthalten. Die Angaben werden von der Internationalen Energieagentur (IEA) bereitgestellt und beruhen auf Erhebungen bei öffentlichen Einrichtungen ihrer Mitgliedsländer.

Die IEA-Förderdaten ermöglichen einen differenzierten und langfristigen Einblick in die Ausgabenstruktur 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, so dass 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 2009-2011 sowie 2019-2021 betrachtet.

Zu Beginn wird der Stellenwert zukunftsorientierter Energietechnologien (erneuerbare Energieträger, Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittstechnologien)²¹ gegenüber fossilen Energieträgern und der Kernenergie innerhalb der staatlichen Energieforschungsbudgets einzelner Länder bzw. Ländergruppen untersucht. Ausgehend von der Größen- und Anteilsentwicklung zurückliegender Jahre wird die Kategorie „nicht zugewiesen“ ebenfalls den zukunftsorientierten Technologien zugeordnet. Auf diese entfallen in einzelnen Ländern (insbesondere Deutschland, aber auch Dänemark, Schweden, Niederlande, Polen) seit 2014 merkliche Teile des Gesamtbudgets, während die Ausgaben für klar definierte zukunftsorientierte Energietechnologien tendenziell zurückgegangen sind.

Im Anschluss erfolgt eine Einordnung der gesamtwirtschaftlichen Relevanz der staatlichen RD&D Budgets sowie ein vertiefender Blick auf die strukturelle Zusammensetzung bei erneuerbaren Energieträgern und bei Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz.

Strukturanteile und Wachstumsraten der Energieforschungsbudgets nach Teilssegmenten

Die in dieser Studie betrachteten OECD-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 makroökonomische Schocks beeinflusst wird.

In Deutschland liegt der Förderanteil der *zukunftsorientierten Technologien* im aktuellen Betrachtungszeitraum 2019-2021 bei durchschnittlich 82 % (davon 23 % „nicht zugewiesen“) (Tabelle 6 Anhang). Dies bedeutet eine Steigerung um 20 Prozentpunkte gegenüber dem Betrachtungszeitraum von 2009-2011 (62 %). Lag die übrige EU-15²² (ohne Deutschland, Luxemburg,

²⁰ Vgl. dazu auch den Vorgängerbericht Gehrke et al. (2022).

²¹ Die Forschung zu Querschnittsthemen (cross-cutting) beinhaltet hierbei „systemische Innovationen“ und nicht einzelnen Teilbereichen zugeordnete Grundlagenforschung.

²² Da der Austritt Großbritanniens aus der EU während des hier betrachteten 3-Jahreszeitraums 2019-2021 vollzogen wurde, werden im Vergleich zu Deutschland neben den USA und Japan weiterhin die „übrige EU-15“ (inklusive Großbritannien) betrachtet. Für

Griechenland) im ersten Betrachtungszeitraum noch gleichauf, konnte sie den Förderanteil zukunftsorientierter Technologien nicht steigern (2019-2021 65 %; Abbildung 8:). Die Bedeutung zukunftsorientierter Technologien in vielen EU-Staaten ist auf einem hohen Niveau geblieben: Ungarn (99 %), Österreich (98 %) und Schweden (97 %) wenden nahezu ihr gesamtes Energieforschungsbudget für nachhaltige Technologien auf und nehmen damit eine weltweite Vorreiterrolle ein. Spanien (92 %) und Dänemark (83 %) sind gegenüber 2009-2011 ein wenig zurückgefallen, wohingegen die Niederlande (95 %) aufgeholt haben. Ihnen folgen weitere europäische Staaten mit ebenfalls großer Zukunftsorientierung wie Finnland und die Schweiz mit einem Anteil von jeweils 84 %. Eine beachtliche Wandlung der öffentlichen Forschungsausgaben für nachhaltige Energieformen wurde in Norwegen vollzogen. Zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen wurde eine Verdoppelung der Anteile für zukunftsorientierte Technologien von 36 % auf 78 % erreicht. Die Förderung fossiler Brennstoffe – bis zum Jahr 2012 noch bei über 60 % – wurde dabei auf 22 % abgesenkt (Tabelle 6).

Außerhalb Europas gehen Südkorea und die USA mit einem Anteil von jeweils 76 % zukunftsorientierter Technologien voran. In den USA ist der Anteil seit Mitte der 2010er Jahre allerdings leicht rückläufig. Dahingegen erhöhte Kanada die Förderung zukunftsorientierter und nachhaltiger Energietechnologien zwischen den Betrachtungszeiträumen deutlich auf nunmehr 65 %, womit eine leichte Abkehr der Forschungsförderung fossiler Brennstoffe erkennbar wird. Infolge der Nuklearkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 begann Japan ernsthaft einen Fokus auf nachhaltige Energieforschung zu setzen; nach einem sukzessiven Anstieg liegt dessen Anteil im Betrachtungszeitraum 2019-2021 bei 60 %.

In den weiteren großen Ländern Europas zeigt sich ein heterogenes Bild: In Frankreich liegt der Anteil für zukunftsorientierte Technologien bei nur 47 %, da der Anteil für Nuklearenergie traditionell rund die Hälfte des Energieforschungsbudgets ausmacht. Im Vereinigten Königreich (65 %) und Italien (62 %) sind die Anteile für zukunftsorientierte Technologien im jüngsten Betrachtungszeitraum sogar gesunken. Während in Italien der Anteil fossiler Energieträger auf 21 % gesteigert wurde, hat das Vereinigte Königreich deren Förderanteile für Nuklearenergie seit Mitte der 2010er Jahre massiv angehoben (auf 31 %). In Polen wurden nach einer zwischenzeitlichen Phase verminderter Förderung die Anteile für zukunftsorientierte Technologien dahingegen wieder stetig erhöht und erreichen im Betrachtungszeitraum 2019-2021 nun 68 % (Tabelle 6).

Teilsegmente zukunftsorientierter Technologien

Die Fokussierung auf Teilsegmente zukunftsorientierter Technologien unterscheidet sich zwischen den Staaten deutlich. In Deutschland flossen im ersten Betrachtungszeitraum (2009- 2011) insgesamt 32 % des staatlichen Energieforschungsbudgets in *erneuerbare Energien*. Aufgrund des hohen Anteils „nicht zugewiesener Mittel“ ab dem Jahr 2014 (s. o.) fallen die den einzelnen Teilsegmenten zuzurechnenden Quoten in den Folgejahren niedriger aus. Demzufolge ist die aktuelle Tendenz bei erneuerbaren Energien für die Periode 2019 bis 2021 rückläufig. Ungeachtet dessen gehört Deutschland mit geschätzten 20 % weiterhin zu den Staaten mit einem vergleichsweise großen Schwerpunkt auf erneuerbare Energien (Tabelle 6). In den übrigen EU-15 hatte sich der Anteil der erneuerbaren Energien über längere Zeit um 20 % bewegt. Dieser ist im aktuellen Beobachtungszeitraum allerdings zugunsten anderer zukunftsorientierter Technologien auf 16 % geschrumpft (Abbildung 8:).

Die Investitionsanteile im Bereich der erneuerbaren Energien in den weiteren Ländern sind zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen überwiegend rückläufig oder konstant geblieben. In

Luxemburg und Griechenland liegen in der IEA-Statistik allerdings keine Daten vor, so dass sich der Durchschnittswert für die übrige EU-15 aus den Daten für 12 Länder errechnet.

den Staaten der Europäischen Freihandelsassoziation (EFTA) Norwegen und der Schweiz sind positive Trends hin zu den erneuerbaren Energien auszumachen. Norwegen, welches gegenwärtig eine radikale Transformation der staatlichen RD&D Budgets in Richtung zukunftsorientierte Technologien unternimmt (s. o.), erhöhte den Anteil von 20 % auf 31 %. Für die Schweiz, welche ebenfalls eine Abkehr von fossilen Brennstoffen und der Nuklearenergie vollzieht, vergrößerte sich der Anteil derweilen leicht von 26 % auf 29 %. Darüber hinaus zeigt Ungarn eine deutliche Ausweitung dieses Segments (5→15 %), ist damit aber noch immer relativ schwach vertreten. Ein beständig hoher Anteil für erneuerbare Energien wird hingegen in Spanien (54 %) aufgebracht. Neben Deutschland reduzierten auch Dänemark (48→31 %), Schweden (40→19 %), das Vereinigte Königreich (28→13 %), Österreich (30→15 %), die USA (22→11 %) sowie die Niederlande (36→22 %) ihre Anteile im Bereich der erneuerbaren Energien im größeren Ausmaß (Tabelle 6). Im Falle Dänemarks, Schwedens und der Niederlande können zudem – wenn auch weniger ausgeprägt als für Deutschland – Verschiebungen in die Rubrik „nicht ausgewiesen“ den Rückgang bei erneuerbaren Energien etwas überzeichnen. Keine nennenswerten Verschiebungen gab es dahingegen in Südkorea (26→27 %), Italien (21→20 %), Polen (19→15 %), Finnland (19→13 %), Japan (12→13 %), Frankreich (14→12 %), Kanada (15→12 %) und in Belgien (8→7 %) (Tabelle 6).

Der Anteilsrückgang der erneuerbaren Energien innerhalb des energiebezogenen RD&D Budgets in vielen 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. Allein durch den Ausbau von Erneuerbaren Energien wird es Deutschland und den anderen EU-Ländern nicht gelingen, ihre ambitionierten Emissionsreduktionsziele zu erreichen. Innovative Technologien und Geschäftsmodelle können helfen, die kostengünstige Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien und dessen sektorübergreifenden Einsatz zu forcieren (insbesondere in Gebäuden, Verkehr und Industrie) sowie Potenziale in der Energieeffizienz zu erschließen (Bundesregierung 2021b, EFI 2019, Gatzert et al. 2019).

Für *Energieeffizienz* werden in Deutschland seit 2010 weniger als ein Fünftel der Forschungsausgaben für Energie veranschlagt. Die nicht zugewiesenen Mittel der letzten Jahre lassen den Anteil im Betrachtungszeitraum 2019-2021 jedoch geringer erscheinen (16 %). Deutschland zählt damit zu den Schlusslichtern bei den Energieforschungsausgaben für Energieeffizienz. Insbesondere die skandinavischen sowie nordamerikanischen Länder vollzogen über die letzten Jahre hinweg eine starke Mittelfokussierung auf die Erforschung der Energieeffizienz: Norwegen (6→27 %), Dänemark (12→20 %), Schweden (38→47 %) und Finnland (49→55 %), ebenso die USA (21→28 %), Kanada (13→31 %), Japan (9→25 %) und Belgien (22→37 %) erhöhten ihre Mittelkonzentration. Die Spitzengruppe beim Energieforschungsbudget für Energieeffizienz umfasst folglich Finnland (55 %), Österreich (50 %), die Niederlande (48 %) und Schweden (47 %). Die durchschnittliche Quote für die übrigen EU-15-Staaten (EU-15 ohne Deutschland) stieg in diesem Zusammenhang jedoch nur geringfügig auf 27 % an, da sich in den größeren Volkswirtschaften kaum Anteilsverschiebungen ergaben (Abbildung 8:). Innerhalb der EU gibt es auch Länder, die den vormalig hohen Anteil für Energieeffizienz im jüngsten Betrachtungszeitraum anderen Forschungssegmenten zuordnen: Ungarn (94→37 %) setzt zunehmend auf sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, während Polen (36→19 %) und das Vereinigte Königreich (36→25 %) vermehrt auf Querschnittstechnologien setzen (Tabelle 6).

Der nachhaltige Trend zeigt sich auch bei den konventionellen Energieträgern: In Deutschland wurde der Anteil zur Förderung *fossiler Brennstoffe* zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen von 5 % auf 2 % reduziert. Deutschland befindet sich damit auf Augenhöhe mit Finnland, Belgien, Österreich und Ungarn (jeweils 1 %), Spanien und Schweden (2 %) sowie Frankreich, den Niederlanden und der Schweiz (jeweils 3 %). Hierbei ist insbesondere die Reduzierung der

Anteile für fossile Brennstoffe durch Frankreich hervorzuheben (12→3 %), aber auch die durch das Vereinigte Königreichs (10→4 %) und die Niederlande (8→3 %). In der Summe der übrigen EU-15 ist folglich ein Anteilsrückgang festzustellen (9→4 %), obgleich Dänemark (3→17 %) und Italien (15→21 %) entgegen dem Trend eine zunehmende Fokussierung der Forschungsmittel auf diesen Energieträger verzeichnen. Neben Italien zählen weiterhin Polen (25 %), Norwegen (22 %) und Kanada (21 %) zu den Staaten mit den höchsten Forschungsausgaben für fossile Brennstoffe. 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 61 % auf 22 % gedrittelt wurden. Außerhalb Europas zeichnen sich u. a. die USA durch eine drastische Anteils Kürzung für die Forschung fossiler Brennstoffe von 21 % auf 6 % aus. Auch Kanada (33→21 %) und Japan (9→5 %) folgen dem internationalen Trend und fördern zunehmend nachhaltige Energietechnologien (Tabelle 6).

Der Förderanteil für die *Nuklearforschung* innerhalb der übrigen EU-15 ist zwischen den Betrachtungszeiträumen 2009-2011 und 2019-2021 angestiegen (von 24 auf 31 %) (Abbildung 8:). Bis auf die Ausnahme weniger Staaten ist dennoch eine geringere Gewichtung von der Nukleartechnik zu erkennen: So reduzierten in Europa u. a. Belgien (61→39 %) und Deutschland (33→16 %) ihre Anteile des Energieforschungsbudgets für die Nuklearforschung beträchtlich (Tabelle 6). Viele europäische Staaten haben ihre öffentliche Forschungsförderung für Nuklearenergie bereits nahezu eingestellt. Der Anteil in Deutschland ist im Ländervergleich dennoch 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 den übrigen EU-15 eine Anteilssteigerung gab, ist, dass Länder wie Frankreich, das Vereinigte Königreich, Italien und Finnland aufgrund ihrer großen Forschungsvolumina für die Gesamtentwicklung eine tragende Rolle innehaben: Während Italien (18→16 %) seinen Anteil für Nukleartechnik annähernd beibehielt, vergrößerten Frankreich (42→50 %), Großbritannien (13→31 %) und Finnland (6→15 %) diese teils deutlich. Der in vielen europäischen Ländern zumindest bis 2021²³ rückläufige Trend bei der Förderung von Nuklearenergieforschung ist auch in Übersee sichtbar. In Japan, wo noch immer 35 % des Energieforschungsetats für Nuklearenergie verausgabt wird, kann dennoch eine Halbierung früherer Anteile festgestellt werden (64 %). Eine vergleichbare Reduzierung zeigt sich für Kanada (24→13 %), während das Gewicht in den USA (14→17 %) und Südkorea (16→12 %) annähernd unverändert blieb (Tabelle 6).

Die Abkehr von fossilen Energieträgern und der Kernenergie und der zeitgleichen Zuwendung zu erneuerbaren Energiequellen verlangt die Förderung innovativer Energieerzeugungs- und Speichertechnologien, um die notwendige Flexibilität der Energieversorgung räumlich und zeitlich gewährleisten zu können. Innerhalb der RD&D-Budgets wird zwischen Wasserstoff- und Brennstoffzellen sowie sonstigen Stromerzeugungs- und Speichertechnologien unterschieden (Tabelle 6).

23 Die durch den Ukraine-Krieg hervorgerufene Unsicherheit der Energieversorgung in den (europäischen) Ländern sorgt für ein Umdenken in der Energiepolitik dieser Staaten.

Abbildung 8: Struktur staatlicher Energieforschungsbudgets nach Teilsegmenten 2009-2011 und 2019-2021



* EU-15 ohne Deutschland, Luxemburg, Griechenland.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Deutschland investiert im aktuellen Betrachtungszeitraum durchschnittlich 10 % des Energieforschungsbudgets in *sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien*, wie z. B. die elektrische Energieumwandlung, die Elektrizitätsübertragung und -verteilung, sowie Energiespeicherung, und hält damit in den letzten Jahren ein konstantes Niveau. Auch in den übrigen EU-15 nehmen sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien zuletzt nur eine untergeordnete Position ein (7 %). Unter diesen Staaten widmen sich allein Österreich (17 %) und Spanien (13 %) vermehrt diesem Segment. International nimmt Ungarn (39 %) eine Vorreiterrolle ein, gefolgt von Kanada, Österreich und der Schweiz (je 17 %) sowie Polen und Südkorea (je 15 %). Die Mehrheit an Staaten fördert sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien mit Anteilen von 5 bis 9 % (Tabelle 6).

Wenig bedeutsam ist gegenwärtig die Erforschung und Entwicklung von *Wasserstoff- und Brennstoffzellen*. Wurde in den übrigen EU-15 im aktuellen Betrachtungszeitraum 2019-2021 ein durchschnittlicher Anteil von 4 % erreicht, befindet sich Deutschland mit 7 % leicht oberhalb dieses Durchschnitts. In Europa setzen allein Dänemark (13 %), Spanien und Norwegen (beide 10 %) derweilen höhere Prioritäten in die Förderung von Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung als Deutschland. Einen ähnlich hohen Anteil wie Deutschland erzielen Österreich (6%), die Schweiz (7%) und Ungarn (8%). In Übersee setzen insbesondere Südkorea (10 %) und Japan (10 %) auf die Erforschung von Wasserstoff- und Brennstoffzellen (Tabelle 6).

Die USA sind hinsichtlich der Spezialisierung auf den Bereich der *Querschnittsthemen* (z. B. Energiesystemanalyse) unangefochtener Spitzenreiter. Die US-Amerikaner fördern dieses breite Forschungsfeld bereits seit mehreren Jahren mit einem Drittel ihres Forschungsetats. Deutschland hingegen bleibt mit einem derzeitigen Anteil von 5 % weit hinter vielen anderen (europäischen) Staaten zurück. Der Durchschnitt der übrigen EU-15 Staaten liegt im aktuellen Betrachtungszeitraum bei ca. 10 %, wobei es unter diesen Ländern umfangreiche Anteilsverschiebungen gegenüber dem ersten Betrachtungszeitraum gab: Während Schweden (10→15 %), das Vereinigte Königreich (4→14 %), Italien (8→12 %) und Frankreich (4→9 %) neuerdings einen leichten Schwerpunkt auf dieses Forschungssegment legen, nahmen derweilen Finnland (16→8 %) und Spanien (5→0 %) eher etwas Abstand von diesem Forschungsfeld. Nicht unerwähnt sollte die Anteilssteigerung für Querschnittsthemen in Polen (1→13 %) bleiben (Tabelle 6).

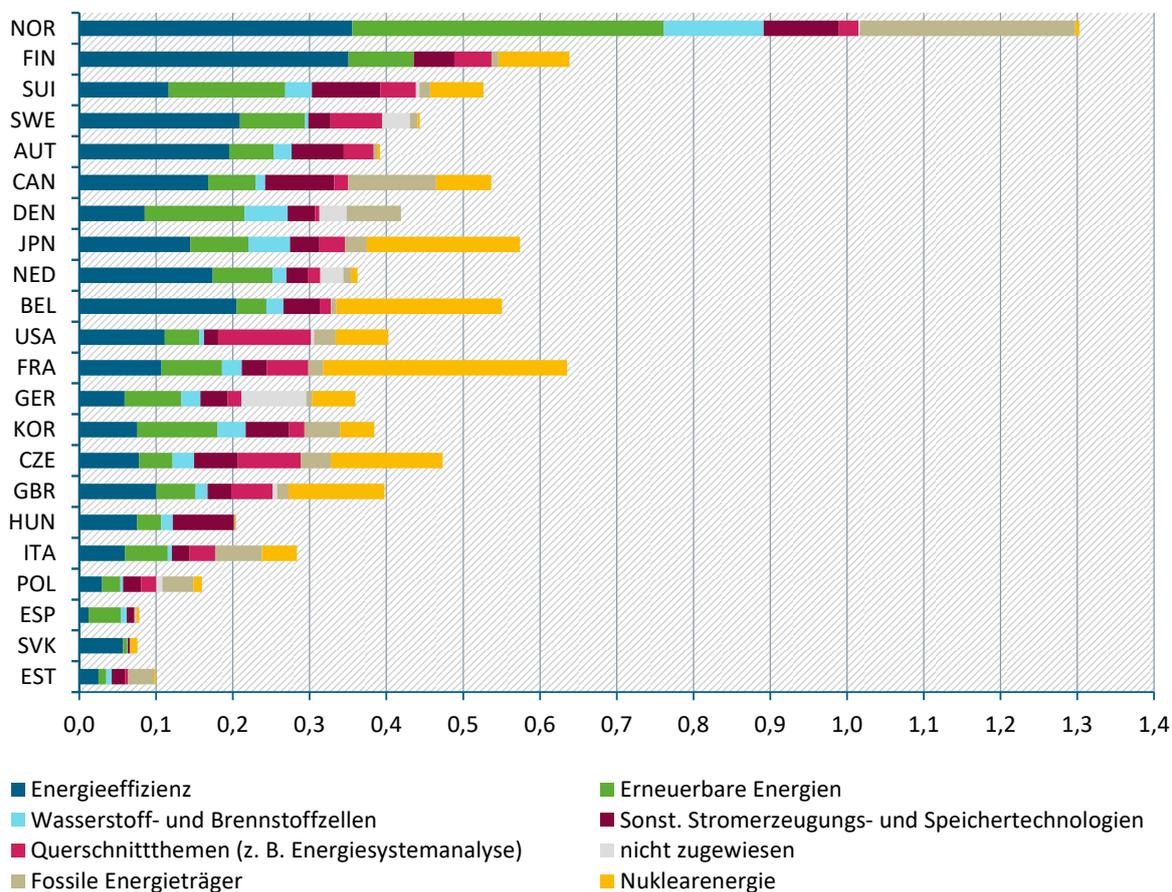
Gesamtwirtschaftliche Einordnung: in Relation zum BIP

Die öffentlichen Haushaltsansätze für Forschung und Entwicklung im Energiebereich weisen in den betrachteten Staaten unterschiedliche Volumina auf. Zur besseren Einordnung werden die RD&D Budgets in diesem Abschnitt daher in Relation zum nationalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) gesetzt, um die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Energieforschung innerhalb der Staaten sichtbar zu machen. Bei den nachfolgenden Erläuterungen liegt der Fokus weiterhin auf den zukunftsorientierten Energietechnologien (Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Wasser- und Brennstoffzellen, Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen). Abbildung 9 zeigt die relativen staatlichen RD&D Budgets am BIP nach Forschungsfeldern im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021. Die Sortierung erfolgt absteigend anhand des Anteils für zukunftsorientierte Energietechnologien.

Zwischen dem Betrachtungszeitraum 2009-2011 und dem gegenwärtigen Betrachtungszeitraum 2019-2021 können für die untersuchten Länder gegensätzliche Entwicklungen der staatlichen RD&D Budgets für zukunftsorientierte Energietechnologien als Anteil am nationalen BIP festgestellt werden (Tabelle 6). Im aktuellen Zeitraum 2019-2021 veranschlagt Deutschland laut IEA-Statistik durchschnittlich 1,025 Milliarden Euro für zukunftsorientierte Energietechnologien, was einen Anteil von 0,30 ‰ am BIP bedeutet. Wie zuvor erläutert, sind hierbei auch die Mittel für „nicht zugewiesen“ inkludiert. Zum Vergleich, im ersten Betrachtungszeitraum wurde

erst ein Anteil von 0,16 ‰ erzielt (Abbildung 9). Deutschland liegt gemessen an diesem Indikator gleichauf mit den USA (0,31 ‰) und Frankreich (0,30 ‰). Im Vergleich zu vielen anderen Staaten fällt die gesamtwirtschaftliche Bedeutung für Energieforschung in Deutschland jedoch weiterhin gering aus (Tabelle 6).

Abbildung 9: Staatliche RD&D-Budgets nach Energiebereichen 2019-2021 in Relation zum BIP (in ‰)



Absteigend sortiert nach dem Anteil zukunftsorientierter Energietechnologie (Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen, sonstige Stromerzeugungs- und Speichertechnologien, Querschnittsthemen, nicht zugewiesen).

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Die skandinavischen Länder Norwegen (1,02 ‰) und Finnland (0,54 ‰) nehmen bezogen auf diesen gewichteten Indikator 2019-2021 weiterhin die Spitzenpositionen ein – allerdings mit gegenläufiger Tendenz (Abbildung 9). So erzielte Finnland im Zeitraum 2009-2011 noch 1,21 ‰, wohingegen Norwegen seit dem Zeitraum 2009-2011 eine Steigerung des Budgets für zukunftsorientierte Energietechnologien vorgenommen hat, die folglich zu einem starken Anstiege am BIP führte. Nachdem in Norwegen zunächst das Budget für Energieeffizienz ausgeweitet wurde, folgt im aktuellen Betrachtungszeitraum eine weitere Budgeterhöhung zwecks Erforschung der Erneuerbaren Energien sowie von Wasserstoff- und Brennstoffzellen gepaart mit einer leichten Senkung des relativen Budgets für Energieeffizienz. Der BIP-Anteil für fossile Brennstoffe im erdöl- und erdgasreichen Norwegen wurde parallel deutlich zurückgefahren (0,74→0,28 ‰), ist im Ländervergleich aber immer noch sehr hoch. Weitere Vorreiter im Umfang der staatlichen RD&D Budgets für zukunftsorientierte Energietechnologien am BIP sind die

Schweiz (0,44 ‰), Schweden (0,43 ‰) und Österreich (0,38 ‰). Auch Dänemark, Kanada, Japan, die Niederlande und Belgien erzielen höhere Anteile als Deutschland. Positive Trends in der Entwicklung des BIP-Anteils lassen sich neben Norwegen und Deutschland für die Schweiz, Belgien, Schweden, das Vereinigte Königreich, die Tschechische Republik, Japan und Korea feststellen. (Tabelle 6).

Ähnlich wie für Finnland zeigt sich auch in Dänemark eine rückläufige Tendenz (0,60→0,35 ‰), welche durch eine Verlagerung der Mittel auf fossile Energieträger im Jahr 2021 zu erklären ist. Deutlich drastischer fallen die Budgetkürzungen gar in jüngeren EU-Mitgliedsstaaten und zugleich kleineren Volkswirtschaften aus: Der zeitweilige Vorreiter in der Förderung zukunftsorientierter Energietechnologien Ungarn erzielt in der aktuellen Berichtsperiode nur noch einen Anteil von 0,20 ‰ (im Vergleich 2009-2011 0,88 ‰). Die Anteile am BIP in Polen (0,24→0,11 ‰) waren ebenfalls stark rückläufig, wodurch das Land im internationalen Vergleich hinter Italien und knapp vor Spanien (Abbildung 9).

Strukturen und Entwicklungen innerhalb des Budgets für erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Der Forschungsbereich der erneuerbaren Energien ist ein wesentlicher Bestandteil innerhalb der energiebezogenen RD&D Budgets der Länder. Dessen Anteil am Gesamtbudget hat sich zwischen den Betrachtungszeiträumen 2009-2011 und 2019-2021 in vielen Staaten verringert (s. o.). Allerdings fanden zugleich strukturelle Anteilsverschiebungen innerhalb des Bereichs der erneuerbaren Energieträger statt (Tabelle 7).

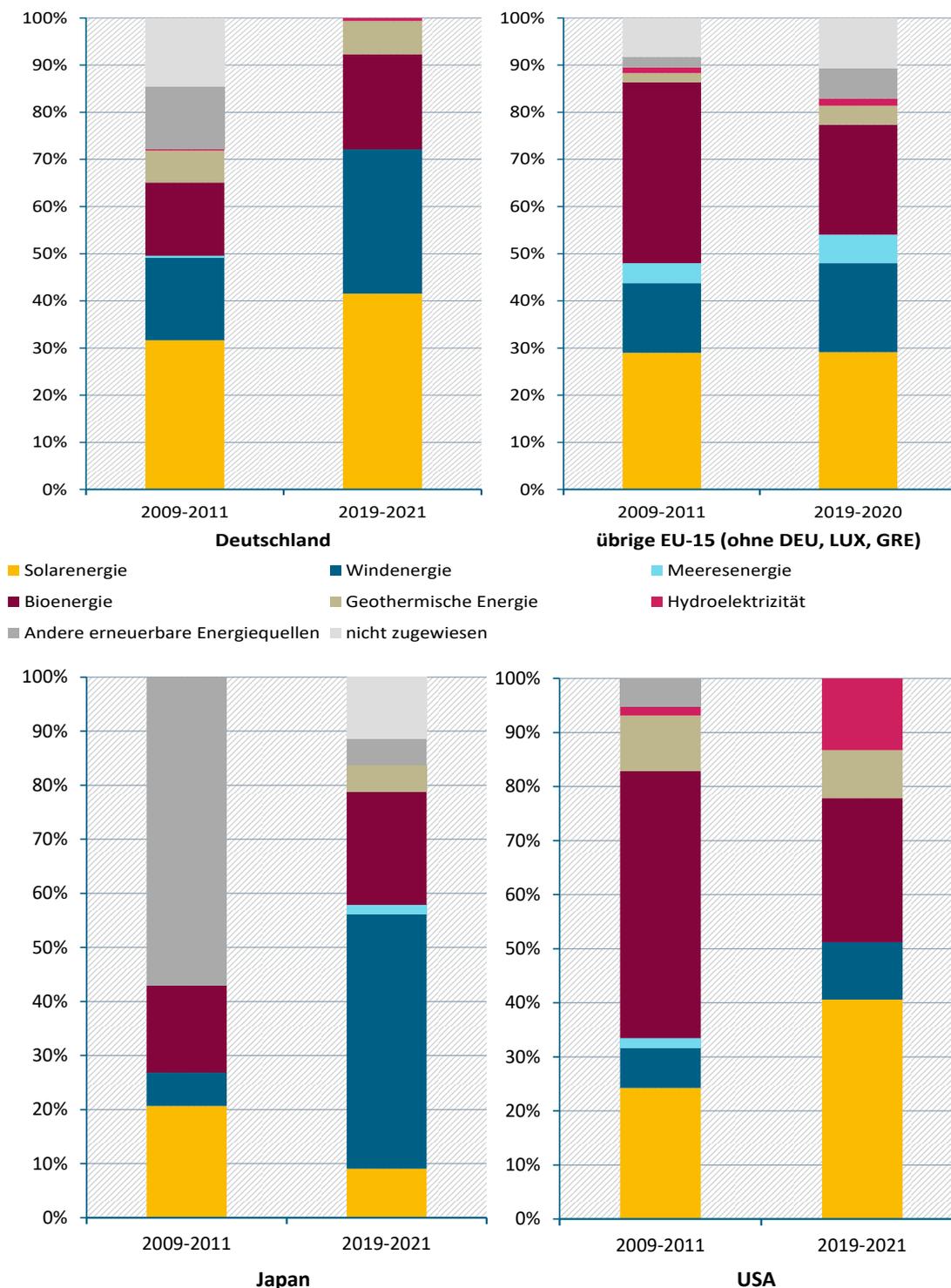
In vielen dieser Länder bilden die Energieträger Solarenergie, Windenergie und Biokraftstoff die drei tragenden Säulen der Energieforschung im Bereich der erneuerbaren Energien. Lag in Deutschland der Anteil der Solarenergie im ersten Betrachtungszeitraum 2009-2011 noch bei einem Drittel des Budgets für erneuerbare Energien, so erhöhte sich dieser bis zum Zeitraum 2019-2021 auf 41,5 %. Die übrigen EU-15 kommen im Durchschnitt auf lediglich 29 %. Der Anteil für Windenergie an den erneuerbaren Energien in Deutschland befand sich zunächst bei klar unter 20 %, stieg jedoch deutlich an, sodass 2019-2021 etwa 31 % in diesen Bereich fallen. In den übrigen EU-15 fiel die Steigerung im Windenergiebereich weniger stark aus (von 15 % auf 19 %). Darüber hinaus erzielen Biokraftstoffe in Deutschland bei nur geringfügigen Schwankungen einen Anteil des RD&D Budgets für erneuerbare Energien von durchschnittlich 20 %, was eine Steigerung zum ersten Betrachtungszeitraum (16%) darstellt. Die übrigen EU-15 hingegen setzten bereits 2009-2011 mit 38 % einen Schwerpunkt auf Bioenergie. Seither führen die Staaten der EU-15 im Durchschnitt jedoch anteilig deutlich weniger diesem Segment zu; dennoch machen Biokraftstoffe weiterhin ein Viertel des Forschungsbudgets für erneuerbare Energien aus (Abbildung 10).

Bei differenzierter Betrachtung offenbart sich, dass die einzelnen Länder zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen 2009-2011 und 2019-2021 deutliche Veränderungen in der Schwerpunktsetzung innerhalb des Forschungsbereichs der erneuerbaren Energien vorgenommen haben (Tabelle 7).

- Die *Solarenergie* nimmt im Betrachtungszeitraum 2019-2021 eine unverändert bedeutsame Stellung der RD&D-Budgets für erneuerbare Energien ein, dennoch zeigen sich auf Länderebene unterschiedliche Entwicklungen: Während in Finnland (9→28 %), Polen (26→49 %), den USA (24→41 %), Ungarn (0→49 %) und im Vereinigten Königreich (16→31 %) im Betrachtungszeitraum 2019-2021 ein verstärkter Fokus auf die Solarenergieforschung gelegt wird, reduzierten Norwegen und Dänemark diesen zugunsten der Windenergie. Ebenso sind

für Frankreich, Italien, Spanien, die Niederlande, Österreich, die Schweiz, Japan und Südkorea teils deutliche Anteilsverluste der Solarenergie gegenüber 2009-2011 festzustellen. Für Deutschland ist hingegen eine Anteilszunahme zu beobachten (32→42 %).

Abbildung 10: Struktur der Energieforschungsbudgets bei erneuerbaren Energien nach Teilsegmenten 2009-2011 und 2019-2021



Hinweis: EU-15 ohne Deutschland, Luxemburg, Griechenland.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS

- ▶ Eine Vielzahl an Staaten zeigt einen Schwerpunkt in der *Bioenergieforschung*, darunter Tschechien (67 %), Finnland (59 %), Kanada (47 %), Schweden (46 %), Österreich (45 %), Dänemark (39 %), Ungarn (39 %) und Frankreich (35 %). In der Mehrheit der Länder ist jedoch eine deutliche Abkehr von der Erforschung von Biokraftstoffen gegenüber 2009-2011 zu beobachten, beispielsweise in Ungarn (98→39 %), Polen (36→16 %), den Niederlanden (38→12 %), im Vereinigten Königreich (27→11 %), Frankreich (46→35 %), den USA (49→27 %), Schweden (67→46 %), aber auch Spanien (29→12 %) und Italien (19→8 %). Die Abkehr von Biokraftstoffen hängt in den genannten Ländern überwiegend mit einer verstärkten Förderung von Solar- und Windenergie zusammen. In Deutschland stieg der Anteil für Bioenergieforschung innerhalb der Erneuerbaren Energien im Zeitverlauf hingegen von 16% auf 20 %.
- ▶ Klar verstärkt auf *Windenergie* setzen im Periodenvergleich Norwegen (31→59 %), die Niederlande (20→49 %), Japan (6→47 %), Spanien (19→39 %), Korea (25→37) und Dänemark (35→46 %). Auch in Deutschland hat die Windenergie anteilmäßig deutlich hinzugewonnen (17→31 %). Aber auch die meisten anderen Länder zeigen zumindest kleinere Zuwachsraten.
- ▶ Forschung auf dem Gebiet der *Hydroelektrizität*, also der Nutzbarmachung von Strömungsenergie des Wassers, hat lediglich einen höheren Stellenwert in der Schweiz (15 %), Österreich, Kanada und den USA (jeweils 13 %), sowie in einem geringen Ausmaß auch in Schweden (7 %) und Norwegen (5 %).
- ▶ Das Forschungsfeld der *geothermischen Energie* wird in vielen Ländern mit zunehmend mehr Kapital bedacht. Hierzu zählen insbesondere die Schweiz (19 %), die Niederlande (12 %) sowie im erweiterten Kreis auch Frankreich, Italien, Polen und Kanada (6-7 %). Auch in den USA (9 %) und Deutschland (7 %) hat dieses Segment vergleichsweise hohe Bedeutung, im Zehnjahresvergleich aber nicht hinzugewonnen.
- ▶ Die Forschung zur *Meeresenergie* macht lediglich im Vereinigten Königreich (14 %) und Schweden (11 %) einem nennenswerten Anteil am Budget für erneuerbare Energien aus. Es folgen Frankreich und Dänemark mit jeweils 5 %. Darüber hinaus wird dieser Bereich in kaum einem anderen Land gefördert.

Die Steigerung der *Energieeffizienz* ist ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt, um dem weltweit wachsenden Energieverbrauch entgegenzusteuern. Der Anteil des Energieforschungsetats Deutschlands im Betrachtungszeitraum 2019-2021 für den Bereich Energieeffizienz liegt bei 16 % und damit deutlich unterhalb des Durchschnitts der übrigen EU-15 (27 %). Allerdings deutet der in Deutschland sehr hohe Prozentsatz an nicht zugewiesenen Mitteln (2019-2021: 23 %) darauf hin, dass der Anteil tatsächlich merklich höher ist (s. o.). Der deutsche RD&D-Etat innerhalb des Energieeffizienz-Segments untergliedert sich in 39 % für den Bereich Gebäude, weitere 34 % für die Industrie, 19 % für den Verkehr und 7 % für sonstige Energieeffizienz-Forschungen. Im Vergleich zu den weiteren Staaten verteilt Deutschland die Mittel im Segment der Energieeffizienz damit relativ ausgeglichen. Im Durchschnitt der übrigen EU-15 liegt mit 46 % ein klarer Fokus auf dem Bereich Verkehr. Der Forschungsanteil für die Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden wurde in den übrigen EU-15 in den vergangenen 10 Jahren stetig zurückgefahren und beläuft sich nunmehr auf 15 %. Der Anteil für die Energieeffizienz in der Industrie erhöhte sich im Zuge dessen auf 21 % (Abbildung 11).

Abbildung 11: Struktur der Energieforschungsbudgets für Verbesserungen im Bereich Energieeffizienz 2009-2011 und 2019-2021



Hinweis: EU-15 ohne Deutschland, Luxemburg, Griechenland.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Die Schwerpunktsetzungen im Bereich der Energieeffizienz unterscheiden sich allerdings erheblich zwischen den Ländern. Die überwiegende Zahl der Staaten legt einen primären Fokus auf einen einzelnen Teilbereich innerhalb der Energieeffizienz. Auf zwei Schwerpunkte setzen u. a. Deutschland (Gebäude & Industrie), die Schweiz (Gebäude & Verkehr) und Belgien (Verkehr & Industrie). Dänemark und Kanada nehmen hingegen keine erkennbare Schwerpunktsetzung vor (Tabelle 8).

- ▶ Der Teilbereich *Verkehr* hat zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen stark hinzugewonnen. In den USA (72 %), Frankreich (70 %), im Vereinigten Königreich (59 %), Schweden (59 %), in Finnland (48 %), Österreich und Belgien (jeweils 37 %) wird dieser Teilbereich vorrangig gefördert.
- ▶ Die Anteile im Teilbereich *Gebäude* wurden in den betrachteten Ländern seit dem ersten Betrachtungszeitraum erkennbar zurückgefahren. Weiterhin auf diesen Teilbereich der Energieeffizienz mit entgegen dem Trend deutlichen Anteilswüchsen setzen Ungarn (18→41 %) und Deutschland (15→39 %), von geringerem Niveau aus startend auch Polen (8→21 %) und die Tschechische Republik (7→13 %). Weiterhin hohe, aber rückläufige Anteile verzeichnen die Schweiz (40→38 %) und Dänemark (45→27 %).
- ▶ Für den Teilbereich *Industrie* können ganzheitlich Anteilsgewinne festgestellt werden. Durch teils besonders starke Anteilswüchse nehmen Spanien (2→58 %), die Niederlande (29→55 %), Tschechien (35→53 %), Japan (29→52 %) und Norwegen (34→51 %) in diesem Teilbereich gegenwärtig relative Spitzenpositionen ein. Darüber hinaus verfolgen auch Deutschland (14→34 %), Schweden (13→23 %), Dänemark (21→25 %) und Italien (21→25 %) ein zunehmendes Interesse an der Förderung der Energieeffizienz in der Industrie. Lediglich die USA (31→16 %) Südkorea (53→27 %), Finnland (45→25 %), Ungarn (48→8 %) und in geringem Umfang auch Polen (35→31 %) reduzierten ihre Anteile.
- ▶ Der Teilbereich *Sonstige Energieeffizienz* ist ein breit angelegtes Forschungsfeld, in welches u. a. die Abwärmerückgewinnung und -nutzung sowie Wärmepumpen und Kältemaschinen fallen. Hier ordnen Südkorea (32 %), Polen (29 %), Österreich (27 %), Kanada (26 %), Dänemark (23 %), Ungarn (21 %) und Italien (20 %) einen Großteil ihrer Forschungsmittel im Bereich der Energieeffizienz ein (Tabelle 8).

Die Europäische Union unterhielt mit „Horizon 2020“ für den Zeitraum 2014 bis 2020 darüber hinaus ein eigenes Förderprogramm für Forschung und Innovation.²⁴ In den IEA-Daten werden diesbezüglich die EU-Projektzuschüsse berücksichtigt, die einen ausdrücklichen Bezug zu den FuE-Zielen im Energiebereich aufweisen. Im Durchschnitt wurden jährlich 1,5 Mrd. Euro bewilligt, wovon 86 % in *zukunftsorientierte Technologien* flossen. Innerhalb des Förderzeitraums lagen die Anteile für Energieeffizienz und für erneuerbare Energie bei jeweils rund einem Viertel. Innerhalb des Segments der erneuerbaren Energien ging der größte Anteil von EU-Projektzuschüssen in die Bereiche Solarenergie und Biokraftstoffe, wobei der Anteil für Biokraftstoffe über den Programmzeitraum rückläufig war. Innerhalb des Segments der Energieeffizienz wurden hingegen keine Schwerpunkte gesetzt. Mehr als 10 % der EU-Projektzuschüsse für Energie kamen zudem der Erforschung der Nuklearenergie zugute.

²⁴ Der Gesamtumfang von „Horizon 2020“ beträgt ca. 80 Mrd. Euro (vgl. European Commission 2023).

2.1.3 Öffentlich geförderte Umweltforschung in Deutschland (UFORDAT)

Um detaillierte Informationen über die thematischen Schwerpunkte der Umweltschutzforschung und Forschungsförderung in Deutschland zu erhalten, wird in regelmäßigem Turnus die Umweltforschungsdatenbank UFORDAT des Umweltbundesamtes ausgewertet. Die zuletzt vorgelegten Analysen (Gehrke et al. 2022) reichten bis zum Jahr 2017 und werden in diesem Bericht bis 2021 aktualisiert.²⁵ Aufgrund einer noch nicht vollständig abgeschlossenen Umstellung der UFORDAT-Klassifizierung konnte die Thematik in der Vorgängerstudie nicht behandelt werden.

Die UFORDAT-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 UFORDAT-Datenbank erfolgt über regelmäßige Datenerhebungen bei forschenden und finanzierenden Institutionen, Datenaustausch z. B. mit dem BMBF und eigene Internetrecherchen (Umweltbundesamt 2022). In Summe sind in Deutschland von 2009 bis 2021 mehr als 60.500 Forschungsvorhaben mit Umweltbezug begonnen worden (Stand Juli 2022).²⁶ Für knapp 52.500 dieser Vorhaben liegen Angaben zum Projekt- und Fördervolumen vor, wobei sich die Informationslage zum Fördervolumen mit jedem Jahr verbessert hat (siehe Abbildung 12). Die Projektanzahl ist im Zeitraum von 2009 bis 2021 von jährlich rund 4.000 auf über 6.600 angestiegen. Im Zuge dessen hat sich das jährliche Projektvolumen von knapp 2 Mrd. Euro auf über 5 Mrd. Euro im Jahr 2021 vergrößert (Abbildung 12).

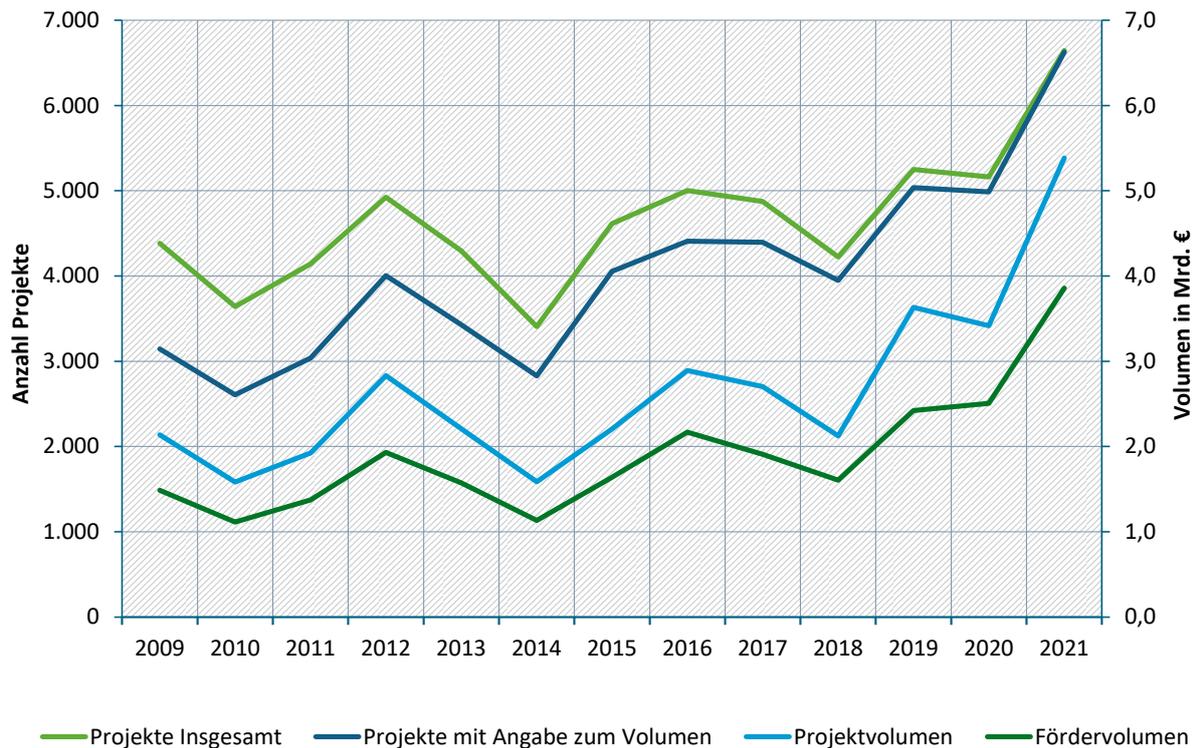
Um die Recherchemöglichkeiten für den Nutzer zu erleichtern, werden die Projektvorhaben nach sogenannten Umweltthemen²⁷, z. B. Wasser, Abfall, Boden, Natur- und Landschaftsschutz, Nutzung sowie Erhaltung von Energie- und Rohstoffressourcen, unterteilt. Durch die Umstellung der UFORDAT-Klassifizierung in der aktuellen UFORDAT 2.0 sind Einzelthemen wie Klima, Rohstoffe, Urbane Umwelt und Verkehr hinzugekommen, die zuvor in anderen Umweltklassen mit erfasst worden waren. Darüber hinaus wurde die frühere Umweltklasse zu allgemeinen und übergreifenden Aspekten weiter ausdifferenziert (Umweltinformatik, Gesundheit, sozialwissenschaftliche Aspekte, Bildung und Kommunikation, Umweltprüfungen und -bewertungen). Die 24 UFORDAT-Umweltthemen wurden für die nachstehenden Auswertungen in 14 Umweltbereiche zusammengeführt, da einigen Umweltthemen nur eine sehr geringe Anzahl an Forschungsvorhaben zugeordnet wird, was einer aussagekräftigen Auswertung entgegensteht. Die Zuordnung der jeweiligen Umweltthemen in die zusammengefassten Umweltbereiche ist der Tabelle 9 im Anhang zu entnehmen. Um längerfristige strukturelle Entwicklungen aufzuzeigen, dabei jedoch Schwankungen in der Zahl der Förderprojekte und den damit verbundenen finanziellen Volumina weniger stark ins Gewicht fallen zu lassen, werden für alle nachfolgenden Auswertungen zudem Dreijahresdurchschnitte (2009 bis 2011, 2019 bis 2021) für den zeitlichen Vergleich verwendet. In die Analyse fließen nur diejenigen Projekte ein, für die Angaben zum Projekt- und Fördervolumen vorliegen.

²⁵ Für weiter zurückreichende Analysen siehe Gehrke et al. (2019)

²⁶ Für weitere ca. 5.500 Forschungsprojekte fehlt die Angabe zur Umweltklasse.

²⁷ In der Vorversion der Datenbank wurde von Umweltklassen gesprochen.

Abbildung 12: Grundlegende Kennzahlen zu den in UFORDAT erfassten Forschungsvorhaben: Projekte, Projektvolumen und Fördervolumen 2009-2021



Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). – Berechnungen des CWS.

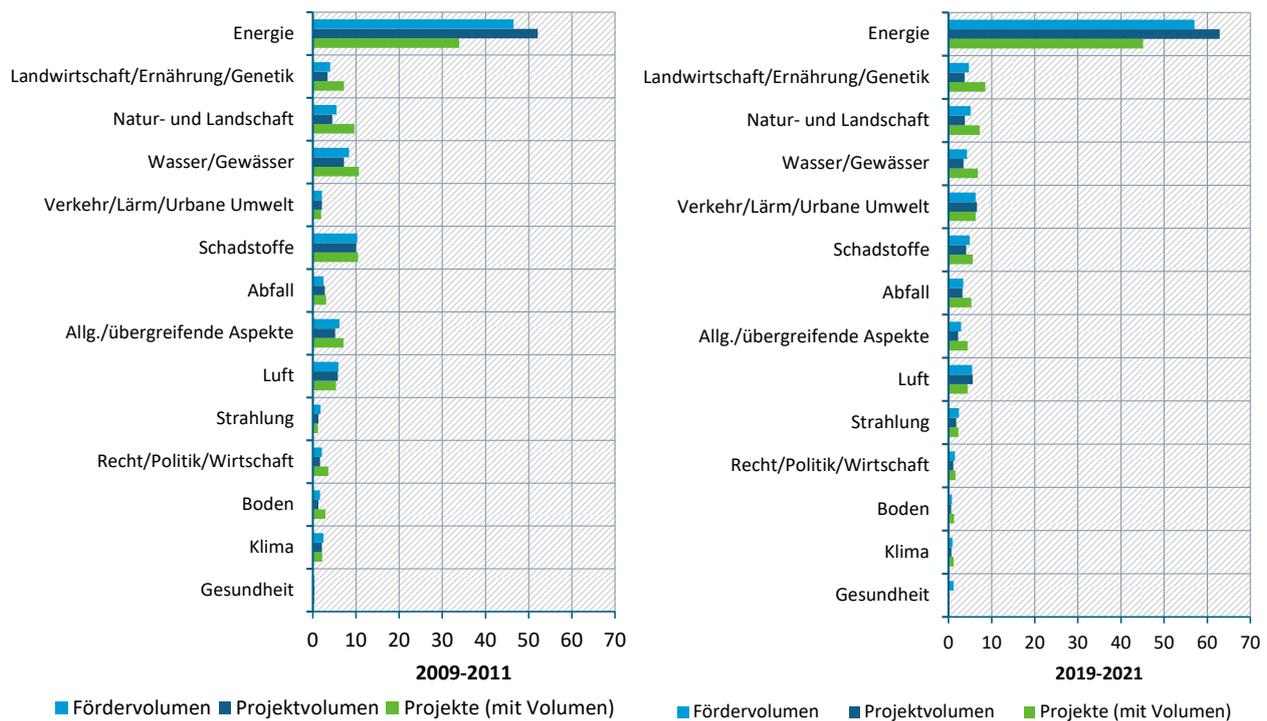
Der Umweltbereich *Energie*²⁸ machte im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 rund 46 % der neu begonnenen Forschungsvorhaben²⁹, gut 63 % des Projektvolumens und 57 % der Fördermittel aus. Alle weiteren Umweltbereiche erreichen demgegenüber maximal einen höheren einstelligen Anteil (siehe Abbildung 13). Absteigend sortiert nach der Anzahl der geförderten Forschungsprojekte im Zeitraum 2019-2021 folgen die Umweltbereiche *Landwirtschaft/Ernährung/Genetik* (8,5 %), *Natur- und Landschaft* (7,2 %), *Wasser/Gewässer* (6,8 %), *Verkehr/Lärm/ Urbane Umwelt* (6,3 %), *Schadstoffe* (5,6 %), *Abfall* (5,3 %), *Allgemeine und übergreifende Aspekte* (4,4 %) und *Luft* (4,4 %). Die übrigen Umweltbereiche kommen zusammen auf 6,6 %.

Das durchschnittliche Projektvolumen eines Forschungsvorhabens liegt im Betrachtungszeitraum 2019-2021 bei knapp 750.000 Euro. Die finanziellen Projekt- und Fördermittelvolumina unterscheiden sich dabei erheblich zwischen den Umweltbereichen. Deutlich überdurchschnittliche Projektvolumina sind in den Umweltbereichen *Energie* (etwas mehr als 1,0 Mio. Euro) sowie *Luft* (ca. 950.000 Euro) festzustellen. Im Umweltbereich *Landwirtschaft/Ernährung/Genetik* beträgt das Projektvolumen hingegen durchschnittlich nur 325.000 Euro, und auch in den Umweltbereichen *Natur- und Landschaft*, *Boden*, *Wasser/Gewässer*, *Klima* und *Allgemeine und übergreifende Aspekte* liegen die Projektvolumina durchschnittlich lediglich zwischen 375.000 und 420.000 Euro. Die dazugehörigen relativen Fördervolumina (Fördervolumen je Projekt) weichen dahingegen weniger stark vom durchschnittlichen Fördervolumen über alle Forschungsvorhaben ab.

²⁸ Der Umweltbereich Energie beinhaltet auch das Umweltthema „Rohstoffe“ (siehe Tabelle 9), welches im Betrachtungszeitraum 2019-2021 ca. 8 % der Projekte und rund 3 % der Förder-/Projektvolumen innerhalb des Umweltbereichs Energie ausmachte.

²⁹ Es werden jeweils nur diejenigen Projekte berücksichtigt, für die auch Angaben zu Projekt- und Fördervolumen vorliegen.

Abbildung 13: Anteil der Umweltbereiche an den geförderten Forschungsvorhaben 2009-2011 und 2019-2021 in %



Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). – Berechnungen und Schätzungen des CWS.

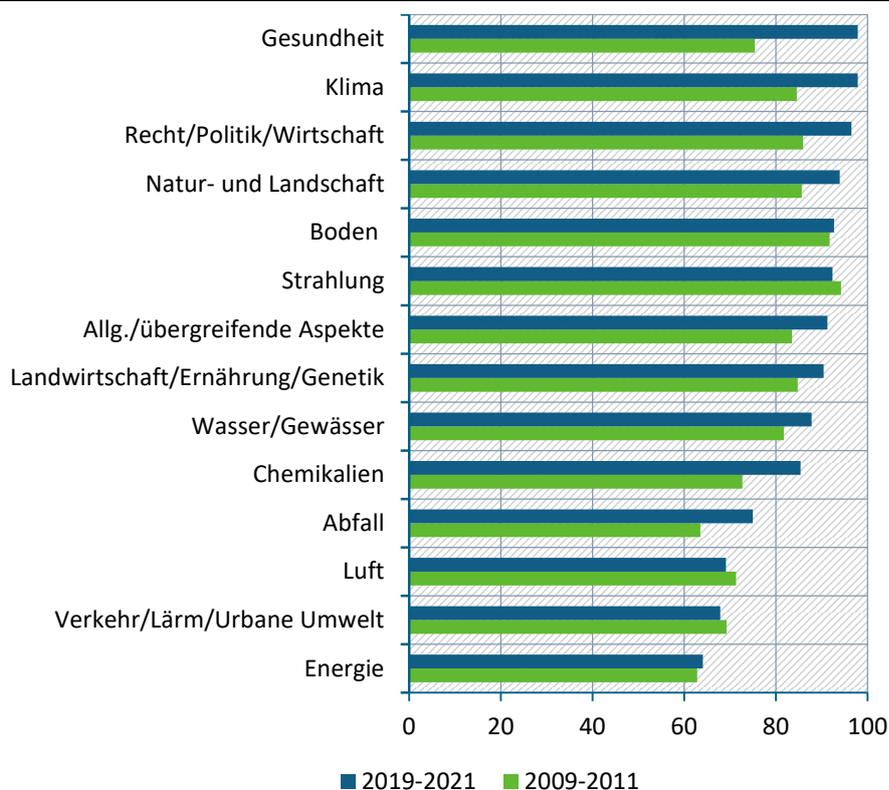
Zwischen den Betrachtungszeiträumen 2009-2011 und 2019-2021 haben sich die Anzahl der Projekte für die Angaben zum Volumen vorliegen sowie die Projekt- und Fördervolumina jeweils annähernd bzw. mehr als verdoppelt. Dabei legten die finanziellen Mittel stärker zu als die Projektanzahlen. Folglich ist die durchschnittliche Mittelausstattung je Forschungsvorhaben gewachsen. Im Vergleich zum durchschnittlichen Wachstum von Forschungsprojekten und deren finanzieller Ausstattung gibt es Umweltbereiche, die ein wesentlich höheres bzw. schwächeres Wachstum aufweisen. Der Umweltbereich *Verkehr/Lärm/Urbane Umwelt* wuchs um das 6-fache und damit dreimal so stark wie der Durchschnitt (s. o.). Eine leicht überdurchschnittliche Entwicklung erfuhren zudem die Bereiche *Strahlung*, *Abfall*, *Landwirtschaft/Ernährung/Genetik* sowie *Energie*. Demgegenüber stehen die Umweltbereiche *Boden*, *Wasser/Gewässer*, *Klima*, *Schadstoffe*, *Gesundheit*, *Recht/Politik/Wirtschaft*, sowie *Allgemeine und übergreifende Aspekte*, in denen das Wachstum nur der Hälfte der durchschnittlichen Entwicklung entsprach, d. h. es gab nur eine leichte Steigerung in der Anzahl der Projekte und nahezu keine Veränderung der Projekt- und Fördermittel. Eine durchschnittliche Entwicklung vollzogen die Umweltbereiche *Natur*, *Landschaft* und *Luft*.

Die Entwicklung nach Umweltbereichen zeigt deutlich, dass sich die zuvor beschriebenen Gewichtungverschiebungen in den globalen öffentlichen Forschungsbudgets in Richtung Energieforschung und -einsparung sowie Ressourcenschutz auch anhand der öffentlich geförderten Forschungsvorhaben in Deutschland nachweisen lassen. Der Strukturanteil des dafür relevanten Umweltbereichs *Energie* ist – von bereits sehr hohem Niveau aus startend – bei allen drei in UFORDAT erfassten Kennzahlen (Anzahl der Projekte, Projektvolumen, Fördervolumen) nochmals deutlich gestiegen (Abbildung 13).

Die durchschnittliche Förderquote blieb zwischen den Betrachtungszeiträumen 2009-2011 und 2019-2021 unverändert bei 70 %. In den jeweiligen Umweltbereichen haben sich Förderquoten allerdings teils deutlich verändert (Abbildung 14). Während die Förderquoten in den Umwelt-

bereichen mit einer tendenziell geringeren Anzahl an Projektvorhaben (u. a. *Gesundheit, Klima, Boden, Recht/Politik/Wirtschaft*) teils stark gestiegen sind und nun weit über 90 % liegen, kommt der gewichtigste Bereich *Energie* auf die geringste Förderquote aller Umweltbereiche mit nur 64 %; bei nur leicht steigender Quote zum Vergleichszeitraum. Rückgänge der Förderquote vollzogen sich in den emissionsbezogenen Umweltbereichen *Luft, Strahlung* und *Verkehr/Lärm/Urbane Umwelt*. Dies mag damit zusammenhängen, dass hier häufiger anwendungsorientierte Forschung in Unternehmen mit entsprechender Eigenbeteiligung durchgeführt wird, wohingegen in den anderen Umweltbereichen häufiger Grundlagenforschung an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen betrieben wird. Auch landschaftsbezogene Umweltbereiche wie *Natur- und Landschaft, Wasser/Gewässer* und *Landwirtschaft/Ernährung/Genetik* erhalten einen zunehmend höheren Anteil an Fördermitteln (Abbildung 14).

Abbildung 14: Förderquoten nach Umweltbereichen 2009-2011 und 2019-2021



Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). – Berechnungen des CWS.

Die Liste der forschenden Institutionen ist heterogen und umfasst neben reinen Forschungseinrichtungen auch eine Vielzahl von privaten und öffentlichen Unternehmen. Ihre Zuordnung zu verschiedenen Einzelpositionen folgt mit wenigen Anpassungen im Wesentlichen der vom Datenbankbetreiber vorgenommenen Zuweisung.³⁰ Neben Hochschulen und spezifischen außeruniversitären Forschungseinrichtungen gehören dazu auch Bundes- und Landesbehörden, kommunale Einrichtungen, private Unternehmen aus der Wirtschaft (insbesondere Ingenieur- und FuE-Dienstleister, aber auch eine Vielzahl von verschiedenen Industrieunternehmen) sowie eingetragene Vereine (Tabelle 2).

³⁰ Spezifikationen mit einer einstelligen Anzahl an Nennungen wurden dabei anderen Gruppen zugeordnet.

Tabelle 2: Umweltforschung nach durchführenden Einrichtungen: Strukturanteile 2009-2011 und 2019-2021 in %

Durchführende Einrichtung	Projekte		Projektvolumen		Fördervolumen	
	Strukturanteile in %		Strukturanteile in %		Strukturanteile in %	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Hochschulen	34,8	29,1	21,2	19,5	27,3	27,1
Fraunhofer-Gesellschaft	4,5	6,6	6,9	8,8	8,7	11,8
Helmholtz-Gemeinschaft	6,6	5,9	8,7	6,9	10,2	9,3
Leibniz-Gemeinschaft	4,2	2,5	2,6	1,8	3,6	2,5
Max-Planck-Gesellschaft	0,7	0,5	0,8	0,8	1,0	1,1
sonst. Forschungseinr.	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	1,2
Bundesbehörden/-anstalten	2,4	2,2	1,0	1,2	1,4	1,6
Landesbehörden/-anstalten	3,0	1,5	0,9	0,7	1,1	1,0
Kommunale Einrichtungen	0,8	1,9	0,9	1,0	1,0	1,1
Wirtschaft	38,0	43,7	54,2	55,9	42,1	39,8
Sonstige (Vereine, gGmbH)	4,1	5,3	2,1	2,7	2,7	3,5
Insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). – Berechnungen des CWS. Aufgrund von Rundung kann es zu Abweichungen in Summen kommen.

In beiden Betrachtungszeiträumen entfällt der überwiegende Teil der durchgeführten Projekte sowie die dafür verausgabten Mittel auf die *Wirtschaft*, die ihre führende Position im Zeitablauf sogar noch weiter ausbauen konnte: Ihr Anteil an allen Projekten ist dabei von 38 % auf 44 % gestiegen, während der Anteil am Projektvolumen im Zehnjahresvergleich von 54 % auf fast 56 % wuchs. Der Anteil am Fördervolumen hingegen war im selben Zeitraum leicht rückläufig (42→40 %) (Tabelle 2). Dies verdeutlicht, dass zunehmend Forschungsvorhaben mit Umweltbezug von privaten Unternehmen initiiert und – vielfach in Kooperation mit öffentlichen Forschungseinrichtungen – durchgeführt, diese aber zunehmend weniger bezuschusst werden. Dies lässt sich damit erklären, dass dort eher markt- und anwendungsorientierte Projekte im Vordergrund stehen, die im Durchschnitt in geringerem Umfang aus öffentlichen Mitteln gefördert werden als grundlagenorientierte und längerfristig angelegte Vorhaben an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die aus Unternehmenssicht mangels wirtschaftlicher Erfolgsaussichten nicht attraktiv sind. An zweiter Position rangieren die *Hochschulen* mit gegenwärtig 29 % der Projekte, 27 % der Fördermittel, aber nur 19 % der Projektmittel. Die von Hochschulen umgesetzten Projekte haben demzufolge wesentlich kleinere Budgets als Projekte in der *Wirtschaft*, erhalten dafür aber vergleichsweise höhere Förderquoten. Die *Hochschulen* haben im Zeitablauf sowohl im Hinblick auf die Zahl der begonnenen Vorhaben als auch bei den Projektmitteln Anteile eingebüßt (Tabelle 2).

Innerhalb der Gruppe der außeruniversitären Forschungseinrichtungen haben die Institute der *Fraunhofer-Gesellschaft* und die Einrichtungen der *Helmholtz-Gemeinschaft* im Zehnjahresvergleich ihre Positionen getauscht. Neben der *Helmholtz-Gemeinschaft* sind auch die Institute der *Leibniz-Gemeinschaft* zunehmend seltener in Forschungsvorhaben mit Umweltbezug involviert.

Alle anderen Typen von Einrichtungen fallen mit Anteilen unter 3 % und abnehmender Bedeutung für die deutsche Umweltforschung strukturell weniger ins Gewicht. Vereine und gemeinnützige Unternehmen hingegen nehmen eine zunehmend bedeutendere Position in der Umweltforschung ein, wenngleich bei durchschnittlich finanziell weniger umfangreichen Forschungsvorhaben (Tabelle 2).

Insgesamt 96 % der 2019-2021 begonnenen Forschungsvorhaben werden vom Bund gefördert, lediglich 4 % von anderen Behörden, Forschungseinrichtungen sowie sonstigen Einrichtungen (Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG, Stiftungen, Vereine). Zehn Jahre zuvor förderte der Bund lediglich zwei Drittel der Projekte, und Landesbehörden sowie DFG, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) und die Wirtschaft waren umfangreich an Forschungsprojekten beteiligt (Tabelle 3). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass alle vom Bund geförderten Projekte automatisch in die Datenbank eingepflegt werden, während dies bei anderen Förderinstitutionen nicht geschieht. Insofern ist die deutliche Verschiebung in Richtung Bundesmittel im Wesentlichen systembedingt.

Der weit überwiegende Teil der Fördermittel kommt ebenfalls vom Bund, der seine maßgebende Position als Forschungsförderer in Zehnjahresfrist von 81 % (2009-2011) auf 98 % (2019-2021) der Fördermittel nochmals erheblich gestärkt hat (Tabelle 3). Dahinter steht in absoluten Zahlen eine Ausweitung der Fördersumme von jahresdurchschnittlich 1,1 Mrd. Euro auf 2,9 Mrd. Euro im aktuellen Betrachtungszeitraum.

Die größten Forschungsförderer auf Bundesebene sind 2019 bis 2021 das *Bundesministerium für Bildung und Forschung* (BMBF) und das *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz* (BMWK). Beide Ministerien zusammen kommen auf gut 73 % der geförderten Projekte und rund 82 % der veranschlagten Fördermittel. Das BMWK vollbrachte im Vergleich der Betrachtungszeiträume sowohl bei den geförderten Projekten (11→33 %) als auch beim Fördervolumen (15→39 %) eine beachtlichen Anteilsgewinn, der mit einer Verfünffachung des Fördervolumen einherging. Dennoch konnte das BMBF seine Spitzenposition als größter Forschungsförderer verteidigen (Projekte: 38→41 %). Trotz einer Verdoppelung des Fördervolumens verzeichnet das BMBF jedoch ein Anteilsverlust bei diesem Indikator (47→42 %), da das gesamte Fördervolumen im Jahresvergleich insbesondere durch BMWK noch umfangreicher gestiegen ist (siehe Tabelle 3). Das *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz* (BMUV) hat bezogen auf die geförderten Projekte s (13→8 %) wie auch bezogen auf den Umfang der Fördermittel strukturell verloren (13→6 %). Dies dürfte vor allem damit zusammenhängen, dass Aufgaben aus dem immer gewichtigeren Energiebereich zunächst im „Bundesumweltministerium“ angesiedelt waren, seit 2013 aber von dort zum „Bundeswirtschaftsministerium“ gewechselt sind (vgl. Gehrke et al. 2019).³¹ Neben dem BMWK haben, allerdings von vergleichsweise niedrigerem Niveau startend, auch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) sowie das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) – vor allem mit Projekten im Themenfeld Mobilität und Verkehr – ihre spezifische Projektförderung in Zehnjahresfrist überdurchschnittlich ausgeweitet.

Spiegelbildlich zum deutlichen Zuwachs der Bundeseinrichtungen in der Forschungsförderung haben andere Forschungseinrichtungen im Zeitablauf relativ und auch absolut stark an Bedeutung verloren. Hierbei spielen allerdings auch Erfassungslücken in der Datenbank eine Rolle.

³¹ Im Zeitablauf haben sich die Zuständigkeiten der Bundesministerien und damit auch ihre Bezeichnungen im Vergleich zu früheren Analysen zum Teil geändert. Eine exakte Zuordnung von Projekten und Fördermitteln auf die verschiedenen Bundesministerien ist im Zeitverlauf mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Dies gilt besonders 2013, als die Umsetzung der Energiewende und die damit verbundenen Aufgaben, darunter bspw. auch der Bereich E-Mobilität, schwerpunktmäßig beim *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* (BMWi) angesiedelt wurden. Zudem wurde dem BMWK (zuvor: BMWi) Ende 2021 u. a. die Zuständigkeit für den Klimaschutz übertragen, welche zuvor im *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz* (BMUV) angesiedelt war.

Während die von Bundesministerien geförderten Vorhaben mit allen relevanten Projektinformationen automatisch eingepflegt werden, müssen andere Vorhaben häufig mit unterschiedlichem Erfolg aufwendig (nach-)recherchiert werden. Insofern wird der Bund in seiner Relevanz für die Umweltforschungsförderung gegenüber anderen Forschungsförderern voraussichtlich etwas überschätzt (Gehrke et al. 2018). Unverkennbar ist, dass bei der EU insbesondere breit angelegte Forschungsprojekte mit großen Fördervolumina angesiedelt sind, was durch lediglich 0,1 % der geförderten Projekte, aber zugleich 1,1 % des Fördervolumens im Betrachtungszeitraum 2019-2021 deutlich wird. Während der Bund Forschungsvorhaben durchschnittlich mit rund 530.000 Euro fördert, beträgt die durchschnittliche Fördersumme der EU knapp 4 Mio. Euro je Projekt. Diese von der EU geförderten Großprojekte sind jedoch zunehmend seltener geworden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Projekte und Fördermittel nach Förderinstitutionen 2009-2011 und 2019-2021

	Geförderte Projekte			Fördervolumen		
	Strukturanteile in %		Veränd. in % 2019-21 / 2009-11	Strukturanteile in %		Veränd. in % 2019-21 / 2009-11
	2009-2011	2019-2021		2009-2011	2019-2021	
Bund gesamt	71,0	96,0	101	80,7	98,3	169
<i>darunter</i>						
BMBF	37,9	40,6	60	47,2	42,4	99
BMUV	13,2	8,0	-10	12,8	6,3	9
BMWK	10,8	32,8	351	14,9	39,1	482
BMEL	5,5	9,9	169	3,2	5,1	258
BMDV	2,3	4,0	154	2,7	5,1	316
EU	2,9	0,1	-93	14,2	1,1	-82
DBU	4,3	1,7	-40	1,7	0,6	-24
Sonstige*	23,2	2,9	-82	3,5	0,3	-78
Insgesamt	100,0	100,0	40	100,0	100,0	121,1

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

* Die Rubrik „Sonstige“ umfasst sonstige Bundesbehörden, Landesbehörden, Kommunen, DFG, Hochschulen/Forschungseinrichtungen, sonstige Institutionen/Stiftungen/Vereine sowie privatwirtschaftliche Unternehmen.

Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). – Berechnungen des CWS. Abweichungen in Summen möglich aufgrund von Rundung.

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

2.2.1 Bedeutung von Umweltinnovationen für Unternehmen in Deutschland

Im Rahmen des „Community Innovation Survey“ (CIS)³² erfolgt eine Befragung zur Bedeutung von Umweltinnovationen in den Unternehmen der Europäischen Union. Hierzu zählen Produkt-, Prozess-, Marketing- oder Organisationsinnovationen, die zu einer merklichen Verringerung der Umweltbelastung führen, sei es als explizites Ziel oder auch nur als Nebeneffekt. An dieser Stelle werden die Ergebnisse der Befragung bezogen auf den Betrachtungszeitraum 2018-2020 für Deutschland dargestellt und denen des Betrachtungszeitraums 2012-2014 gegenübergestellt (Rammer et al. 2016, Rammer & Schubert 2021).

In Deutschland erfährt das Thema Umweltinnovationen im Hinblick auf die zwischenzeitig ins Stocken geratene Energiewende sowie die durch den Krieg in der Ukraine hervorgerufene Gas-mangellage eine hohe Aktualität. Denn Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz haben auf allen Ebenen (Industrie, private Haushalte, Gebäude, Verkehr, Energieerzeugung/-umwandlung und -verteilung) einen hohen Stellenwert für das Erreichen der energiepolitischen Zielsetzungen und zur grundsätzlichen Wettbewerbsfähigkeit. Auch die auf EU-Ebene formulierten klima- und energiepolitischen Ziele verlangen nach erheblichen Verbesserungen in diesem Bereich.

Erfasst wurden in der Erhebung die Einführung von Umweltinnovationen,

- ▶ deren primäre Wirkung im innovierenden Unternehmen selbst stattfindet (prozessbezogene Umweltinnovationen) sowie
- ▶ deren primäre Wirkung beim Kunden anfällt (produktbezogenen Umweltinnovationen). Bei den hier antwortenden Unternehmen handelt es sich zumindest im weiteren Sinne³³ um Anbieter von Umweltschutzgütern und -leistungen.

Prozessbezogene Umweltinnovationen sind im Durchschnitt stärker verbreitet als produktbezogene Umweltinnovationen.³⁴ In beiden Fällen stellt jedoch die Verringerung des Energieverbrauchs das dominierende Innovationsziel der Unternehmen dar: Bei den prozessbezogenen Umweltinnovationen entfallen hierauf 2018-2020 36 % der Nennungen, bei den produktbezogenen Umweltinnovationen sind es immerhin 29 %. Insgesamt lässt sich festhalten, dass energiespar- und klimaschutzbezogene Umweltinnovationen im Betrachtungszeitraum 2018-2020 für die Unternehmen weiter an Gewicht gewonnen haben; sowohl im eigenen Unternehmen als auch in Bezug auf den Nutzen beim Kunden (Abbildung 15).

Umweltinnovationen kommen in einem größeren Umfang in der Industrie als in anderen Wirtschaftssektoren vor, da insbesondere dort energie- und materialintensive Prozesse mit möglichen negativen Wirkungen auf die Umwelt stattfinden (Rammer et al. 2016). Bei den prozessbezogenen Umweltinnovationen ist in allen Teilbereichen eine Zunahme gegenüber dem Zeitraum 2012-2014 festzustellen. Die Verringerung des Energieverbrauchs (36 %) und die damit einhergehende Reduzierung von CO₂-Emissionen (25 %) haben dabei Priorität. Bei Letzterem ist eine

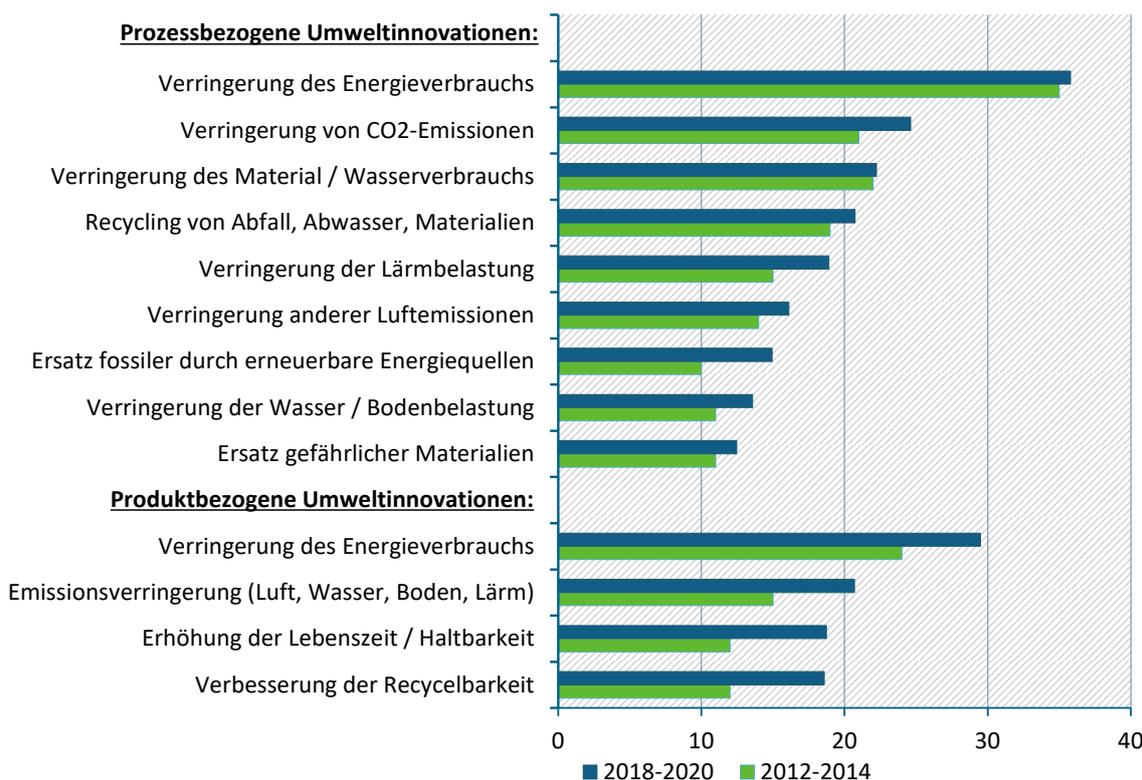
³² Die Innovationserhebung der Europäischen Union (Community Innovation Survey CIS) wird in zweijährigem Rhythmus vom Statistischen Amt der Europäischen Gemeinschaft (Eurostat) durchgeführt (Eurostat, o. D.). Den deutschen Beitrag hierzu liefert die Innovationserhebung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) in Mannheim.

³³ Während Umweltschutz in der CIS-Befragung auch ein Nebeneffekt der Innovation sein kann, muss der Umweltschutz in der amtlichen Anbietererfassung, sprich der Erhebung von Waren, Bau- und Dienstleistungen für den Umweltschutz, ein primäres Ziel der Produktions- bzw. Dienstleistungserstellung sein.

³⁴ 39 % der Unternehmen gaben an, im Zeitraum 2018 bis 2020 (mindestens) eine prozessbezogene Umweltinnovation durchgeführt zu haben, bei den produktbezogenen Umweltinnovationen lag der Anteil bei 25 %.

Zunahme von gar 4 Prozentpunkten gegenüber dem vorherigen Zeitraum erkennbar. Weiterhin zentrale Rollen nehmen die Reduzierung des Materialverbrauchs (22 %) sowie Verbesserungen beim Recycling von Abfall, Abwasser und Materialien ein (21 %), während typisch nachsorgende Ziele, wie die Verringerung der Wasser- oder Bodenbelastung (14 %) und der Ersatz gefährlicher Materialien (12 % der Nennungen) von eher geringerer Bedeutung sind. Den relativ größten Zuwachs erfuhren prozessbezogene Umweltinnovationen, welche sich dem Ersatz fossiler durch erneuerbare Energiequellen widmen (von 10 auf 15 %) sowie die Verringerung der Lärmbelastung (von 15 auf 19 %).

Abbildung 15: Arten von Umweltinnovationen in Unternehmen in Deutschland 2012-2014 und 2018-2020, in %



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

Quelle: ZEW – Mannheimer Innovationspanel, Befragungen 2015 und 2021. Eigene Darstellung des CWS in Anlehnung an Rammer et al. (2016, 110).

Bei den produktbezogenen Umweltinnovationen kann ein vergleichsweise umfangreicherer Zuwachs gegenüber 2012-2014 verzeichnet werden als bei den prozessbezogenen Umweltinnovationen. Hierbei ist die Lücke zwischen dem vorrangigen Ziel (Verringerung des Energieverbrauchs, 24→30 %) und den weiteren Zielen nicht ganz so stark ausgeprägt wie bei den prozessbezogenen Umweltinnovationen (Abbildung 15). Es folgen Innovationen mit Ziel der Emissionsverringerung (15→21 %), knapp vor Erhöhung der Haltbarkeit und der Verbesserung der Recyclbarkeit (jeweils 12→19 %). Dies unterstreicht die hohe Bedeutung von umweltschutzbezogenen Innovationen für den Erfolg deutscher Unternehmen. Innerhalb der Industrie gilt dies – neben der weniger gewichtigen Mineralölverarbeitung – vor allem für den Kraftfahrzeugbau sowie die Herstellung von chemischen Erzeugnissen.

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

In den USA wird im Rahmen des „Business Enterprise Research and Development Survey“ (BERD)³⁵ ermittelt, welcher Anteil der unternehmerischen FuE-Ausgaben US-Unternehmen in *Energieanwendungen* (Produktion, Verteilung, Speicherung und Effizienzsteigerung³⁶) oder *Umweltschutzanwendungen*³⁷ fließt. Befragt werden seit 2017 alle US-Unternehmen mit mindestens 10 Beschäftigten; davor lag diese Grenze bei 5 Beschäftigten. BERD ist die Anschlussenerhebung des „Business R&D and Innovation Survey“ (BRDIS, 2008-2016).

Die zum Zeitpunkt der Berichtslegung (Stand Februar 2023) aktuellsten Auswertungen umfassen das Jahr 2019, in welchem US-Unternehmen 24,1 Mrd. US-\$ für *Energieanwendungen* sowie 10,4 Mrd. US-\$ für *Umweltschutzzwecke* aufgewendet haben. Hinzu kamen 3,5 Mrd. US-\$ aus externen Finanzierungsquellen, unterteilt in 2,1 Mrd. US-\$ für Energie- und 1,4 Mrd. US-\$ für Umweltschutzanwendungen. Demzufolge haben US-Unternehmen in der Forschung stärker auf externe Finanzierungsquellen für Umweltschutzanwendungen zurückgegriffen (12 %) als im Bereich Energieforschung (8 %).

Der Anteil der internen FuE-Aufwendungen im *Energiebereich* an den gesamten internen FuE-Aufwendungen der Wirtschaft beläuft sich im Jahr 2019 auf 5,3 %; für *Umweltschutzzwecke* wurden 2,4 % der FuE-Mittel verausgabt. Seit 2010 haben interne FuE-Aufwendungen im Energie- und im Umweltschutzbereich innerhalb der gesamten FuE der US-Wirtschaft klar an Gewicht verloren. Noch im Jahr 2014 lagen die Anteile an allen FuE-Ausgaben bei über 7 % für *Energieanwendungen* und bei rund 3 % für *Umweltschutzanwendungen*. Gegen den Trend verzeichnete der Bereich *Energie* von 2018 auf 2019 eine übermäßig deutliche Minderung um einen Prozentpunkt, während der Bereich *Umweltschutz* dahingegen sogar einen leichten Anteilsgewinn verbuchte (Tabelle 4). Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit weniger als 250 Beschäftigten weisen fast durchgängig höhere Anteile ihrer gesamten internen FuE-Aufwendungen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen auf als größere Unternehmen. Dieses Verhältnis hat sich bei den *Energieanwendungen* seit dem Jahr 2018 jedoch umgekehrt. Nach umfangreichen FuE-Anstrengungen der KMU im Energiebereich in den Jahren 2014 und 2015 hat sich der Anteil in kürzester Zeit beinahe halbiert (Tabelle 4).

Abweichend zu den internen FuE-Ausgaben der US-amerikanischen Unternehmen für Energie- oder Umweltschutzanwendungen sind die staatlichen FuE-Ausgaben im Bereich *Energieforschung* seit 2010 hingegen überproportional ausgeweitet worden, während zugleich die FuE-Ausgaben im Bereich *Umweltforschung* reduziert worden sind (vgl. Tabelle 1 in Abschnitt 2.1.1).

³⁵ Vgl. dazu ausführlich NSF (2023): Business Enterprise Research and Development Survey (BERD)

³⁶ Die entsprechende Formulierung im BERD-Fragebogen lautet: „What percentage of the (R&D) amount [...] had energy applications, including energy production, distribution, storage, and efficiency (excluding exploration and prospecting)? Siehe dazu Frage 5-5 im Fragebogen 2019 <https://www.nsf.gov/statistics/srvyberd/surveys/srvyberd-2019.pdf>

³⁷ In Frage 5-6 heißt es: „What percentage of the amount (...) had environmental protection applications, including pollution abatement?“ Vgl. ebenda.

Tabelle 4: Anteil interner FuE-Ausgaben US-amerikanischer Unternehmen für Energie- und Umweltschutzanwendungen an allen internen FuE-Ausgaben 2010-2019

Anwendungsbereich	Energie			Umweltschutz		
	Anteil an den gesamten internen FuE-Aufwendungen in %					
	alle Unternehmen	darunter solche mit ... Beschäftigten		alle Unternehmen	darunter solche mit ... Beschäftigten	
weniger als 250		250 und mehr	weniger als 250		250 und mehr	
Jahr						
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
2019	5,3	5,8	5,3	2,4	2,8	2,3

* Ab 2017 werden Unternehmen mit mind. 10 Beschäftigten erfasst, in den Vorjahren lag die Grenze bei 5 Beschäftigten.

Quelle: NSF, BERD/BRDIS, verschiedene Jahrgänge. Berechnungen des CWS.

3 Patentanmeldungen im Umweltschutz

Vorbemerkung: Gegenüber dem Innovationsmotor 2021 (Gehrke et al. 2022) wurden in diesem Bericht die Zahlen auf das derzeit aktuellste verfügbare Jahr 2020 für Patentanmeldungen aktualisiert. Da vor allem die Daten auf den neusten Stand gebracht wurden, können Textpassagen sehr ähnlich zum Innovationsmotor 2021 sein, wenn sich die Sachverhalte nicht oder wenig geändert haben.

3.1 Methodische Vorgehensweise zur Ableitung der Patentindikatoren

In Fortführung der Berichtsreihe „Innovationsmotor Umweltschutz“ (Gehrke et al. 2018, 2019, 2022) wird die Innovationsleistung der deutschen Umweltwirtschaft im internationalen Vergleich anhand verschiedener Umweltbereiche auf Basis von Patentdaten dargestellt. Wie schon im vorangegangenen Bericht (Gehrke u. a. 2022) sind diese angelehnt an die Klassifikation CEPA („Classification of Environmental Protection Activities and Expenditure“) und CReMA („Classification of Resource Management Activities“) von Eurostat und umfassen:³⁸

- ▶ 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, z. B. der Bereich Luftreinhaltung mit Technologien zu Reinigung von Abgasen (inkl. Motorabgasen), Staubabscheidung und Integrierte Luftreinhaltung.³⁹ Die Gesamtheit (inkl. Klimaschutztechnologien) wird als

³⁸ Siehe auch Tabelle 5 im Anhang für eine nähere Beschreibung

³⁹ Eine detaillierte Darstellung der Umweltbereiche und zugehörige Technologielinien ebenso wie die Zuordnung der Umweltbereiche zur CEPA-/CReMA-Klassifikation findet sich im Anhang A.1.

„Umwelttechnologien“ oder „Umwelt“ ausgewiesen. Zusätzlich zu *Umwelttechnologien* werden umweltfreundliche Güter („adapted goods“) dargestellt.⁴⁰ Dies erfolgt aus methodischen Gründen bisher nur für drei Umweltbereiche, nämlich für Luftreinhaltung, erneuerbare Energien und Recycling.

In der letzten Ausgabe des Innovationsmotors Umweltschutz (Gehrke et al 2022) wurde eine erweiterte Betrachtung von Energieeffizienztechnologien eingeführt, um der hohen Bedeutung von Energieeffizienz für die klima- und umweltschutzpolitischen Ziele der EU und von Deutschland Rechnung zu tragen. Die erweiterte Betrachtung erfolgt im vorliegenden Bericht jetzt das zweite Mal. Die Entwicklungen werden regelmäßig u. a. vom BMWK in der Reihe „Energieeffizienz in Zahlen“ berichtet (siehe u. a. BMWK 2021). Deshalb ist der vorliegende Bericht in Abschnitt 3.3 um den Bereich Energieeffizienz-Patente erweitert worden.⁴¹

Außerdem wurden in Gehrke et al. (2023) Möglichkeiten eruiert, die Rolle von Digitalisierung bei Umweltschutzgütern abzubilden. Die Ergebnisse sind bisher punktuell und explorativer Natur. Auf sie wird an geeigneter Stelle verwiesen.

Die Datenquellen, Schätzmethoden und Indikatoren sind in Gehrke u. a. (2019, 2022) detailliert dargestellt. Kennzeichnend für die Methodik ist die Verwendung von transnationalen Patentanmeldungen. Sie sind als besonders hochwertig anzusehen, weil sie hohe Markterwartungen von Seiten der Anmelder spiegeln.

Die Erhebung basiert auf der PATSTAT-Datenbank des Europäischen Patentamtes⁴², Version 23a, in einer Inhouse-Version des Fraunhofer ISI. Der aktuelle Rand der Daten liegt hier bei 2020. 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 eine Zeitscheibe zurück (2016-2020).

3.2 Ergebnisse der Patentindikatorik im Umweltschutz

Im folgenden Kapitel wird zunächst der Verlauf der Patentanmeldungen als Indikator der technologischen Entwicklung in Deutschland, weltweit und in ausgewählten Staaten dargestellt und diskutiert. Darauf aufbauend erfolgt eine Erörterung der Patentanteile der Länder und ihrer 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 die Anzahl der Patentanmeldungen analysiert. 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 Entwicklung der Patentanmeldungen für Klimaschutztechnologien in Deutschland wird in Abbildung 16 dargestellt. Dabei werden Patente zur Rationellen Energieverwendung, zur Rationellen Energieumwandlung und zu Erneuerbaren Energietechnologien betrachtet. Diese drei Technologiegruppen werden zusammen als Klimaschutztechnologien zusammengefasst bzw.

⁴⁰ Zur Definition und Abgrenzung umweltfreundlicher Güter gegenüber Umwelttechnologien s. Gehrke u. a. (2019).

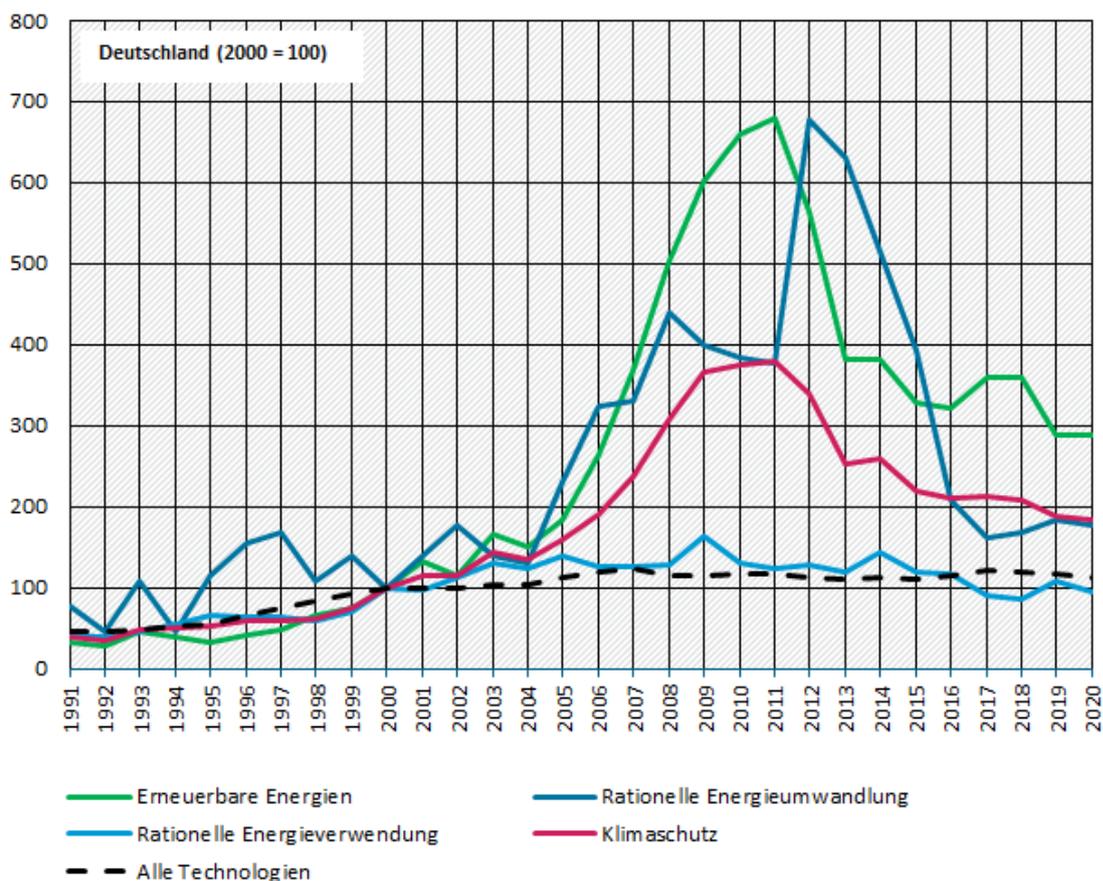
⁴¹ Die neu ausgewiesenen Energieeffizienz-Teilbereiche sind in der Gesamtheit „Umwelttechnologien“ und im Aggregat „Klimaschutz“ nicht enthalten.

⁴² <https://www.epo.org/en/searching-for-patents/business/patstat#tab-1> (09.02.2024)

aggregiert, wobei am aktuellen Rand die Erneuerbaren Energien mit einem Anteil von ca. 70 % die Anmeldungen im Klimaschutz deutlich dominieren. Für das 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 machen inzwischen (Stand 2020) fast 50 % aller Erneuerbare-Energien-Patente in Deutschland aus. An zweiter Stelle folgt mit ca. 40 % die Photovoltaik.

Bei einem Vergleich der Patente im Klimaschutz mit der allgemeinen technologischen Entwicklung (Patentanmeldungen für „alle Technologien“) zeigt sich, dass die Patentanmeldungen im Klimaschutzbereich (Aggregat „Klimaschutz“) trotz der seit 2011 sinkenden Entwicklung im gesamten Betrachtungszeitraum 1991-2020 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. Nach dem starken Einbruch der erneuerbaren Energien in der Periode 2011-2015 sinken ihre Patentanmeldezahlen in der Periode 2016-2020 deutlich langsamer. Am Ende des Betrachtungszeitraums liegen die Patente für Erneuerbare Energien auf ungefähr dem dreifachen Niveau des Jahres 2000 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 Rationelle Energieumwandlung erreicht im Jahr 2012 ein ähnlich hohes Niveau wie der Bereich Erneuerbare Energien, fällt dann aber bis 2016 unter das Niveau der Patentanmeldungen zum Klimaschutz. Die Rationelle Energieverwendung weist über die gesamte Betrachtungsperiode deutlich niedrigere Zuwachsraten auf, die in einigen Jahren geringer als die allgemeine technologische Entwicklung („Alle Technologien“) sind. Die Dynamik in den neuen Energieeffizienz-Bereichen ist dagegen höher (vgl. Abschnitt 3.3.1).

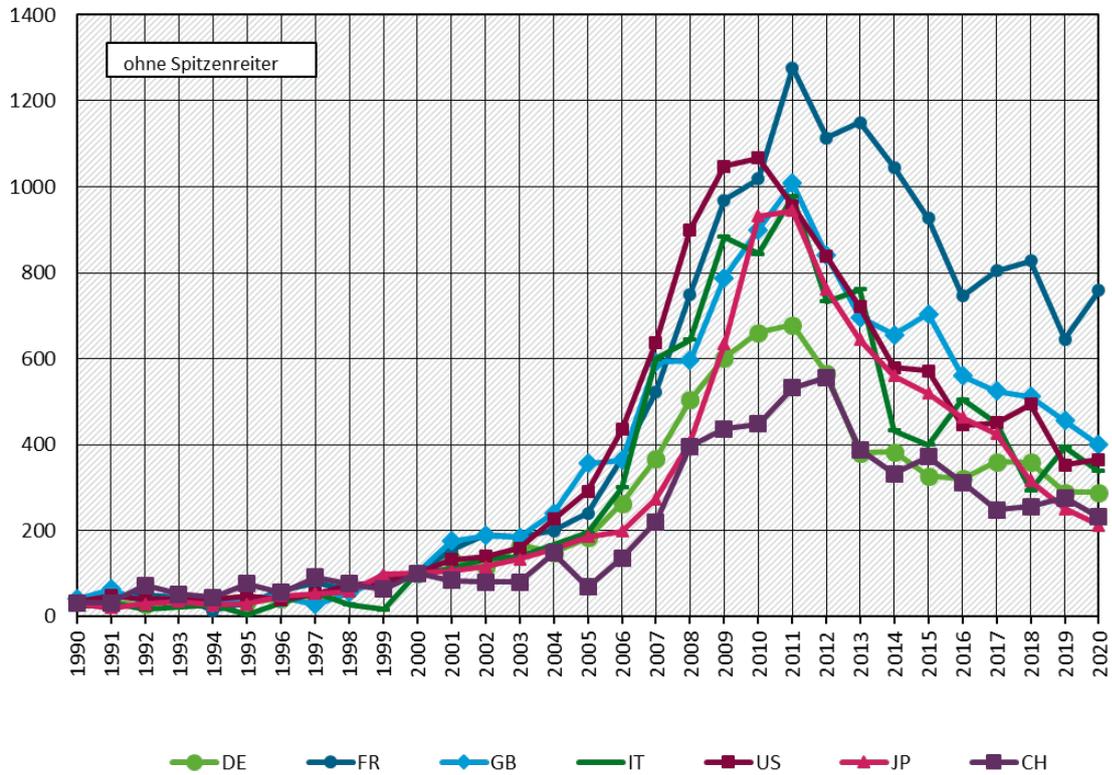
Abbildung 16: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Klimaschutz und Teilbereiche



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

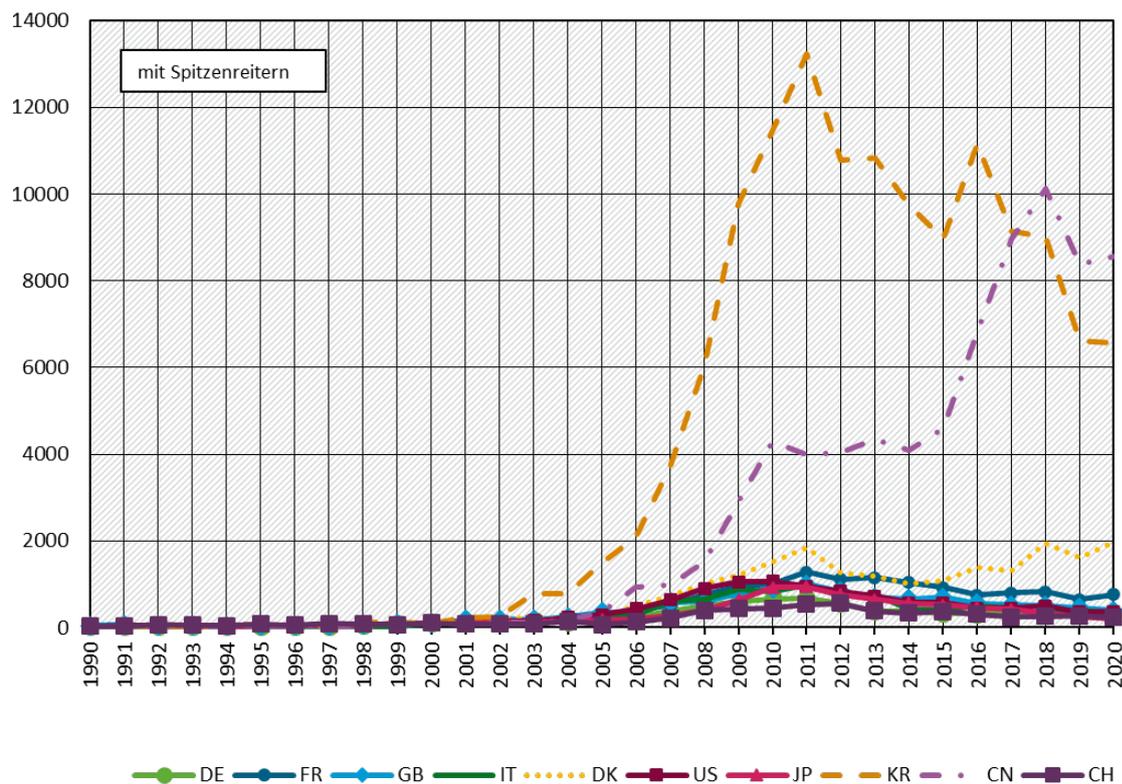
Ein Blick auf die internationalen Patentanmeldungen im Klimaschutzteilbereich „Erneuerbare Energien“ zeigt aber in anderen Ländern eine noch deutlich positivere Entwicklung (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18). Korea und China weisen in den 2000er Jahren um ein Vielfaches höhere Zuwachsraten bei den Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien auf als Deutschland – und auch als alle anderen in Abbildung 17 betrachteten Länder. Während vor allem China, und auf einem niedrigeren Niveau auch Dänemark, ab 2015 wieder hohe Zuwachsraten in diesem Bereich verzeichnen, spiegelt die Dynamik der Erneuerbare-Energien-Patentanmeldungen seitens Korea und der in Abbildung 17 betrachteten Länder (darunter auch Japan und USA) die bereits in Abbildung 16 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 2011 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.

**Abbildung 17: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien
 Ländervergleiche (Jahr 2000 = 100) – ohne Spitzenreiter (China, Südkorea und Dänemark)**



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

**Abbildung 18: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Erneuerbare Energien
Ländervergleiche (Jahr 2000 = 100) – mit Spitzenreitern**



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

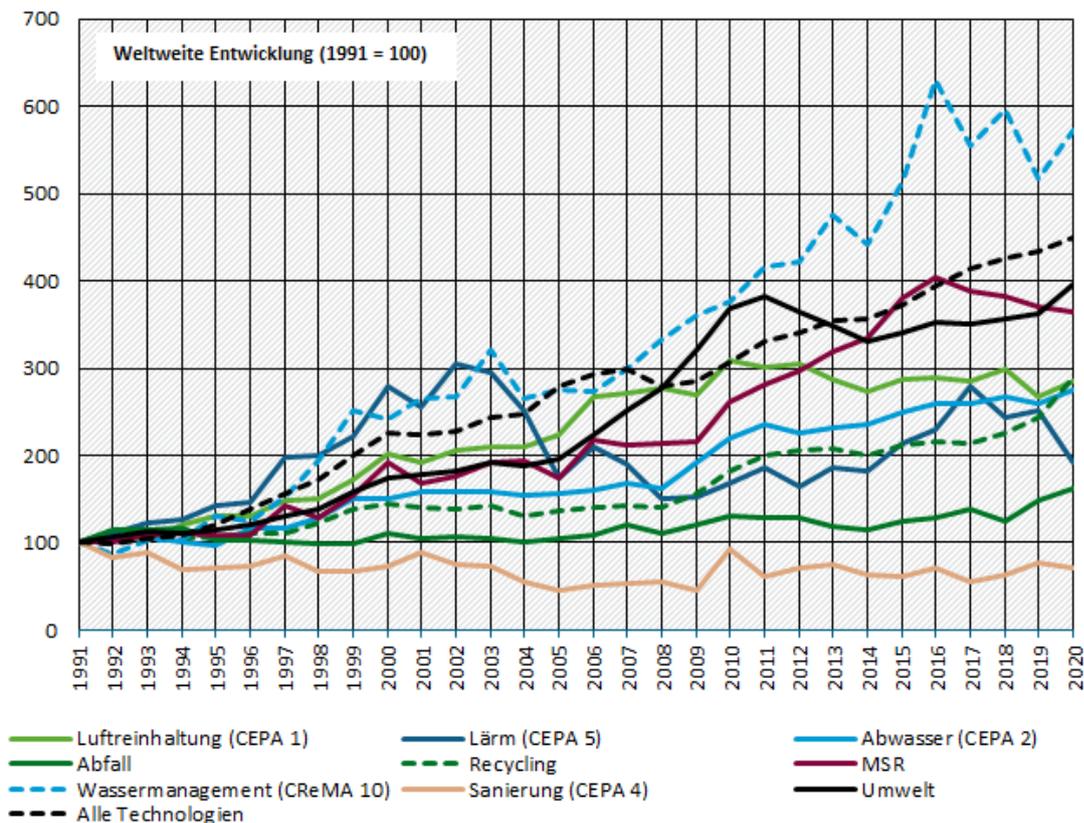
Abbildung 18 zeigt auch, dass die Zuwachsraten der Erneuerbare-Energie-Patentanmeldungen um das Jahr 2011 (d. h. vor Beginn der rückläufigen Entwicklung der Meldezahlen ab 2012) in Deutschland nicht nur gegenüber den Spitzenreitern China, Korea und Dänemark zurückbleiben, sondern auch von einigen weiteren großen Playern übertrumpft werden, unter anderem Frankreich, Großbritannien, Japan und der USA.

Die in Abbildung 18 dargestellten relativen Entwicklungen der Patendynamik haben im Bereich der Erneuerbaren Energien zu einer Verringerung des Innovationsvorsprungs Deutschlands zwischen den Spitzenreitern sowie dem oberen Mittelfeld beigetragen. Während China seit 2017 das Land mit den – in absoluten Zahlen gemessen – meisten Patenten für Erneuerbare Energien ist (mit 684 Patente im Jahr 2020), bleiben Koreas Patentzahlen (2020: 366) hinter denen von Deutschland (2020: 576) und denen der USA (2020: 450) zurück. Aber Länder wie Frankreich (2020: 177) oder Großbritannien (2020: 131) hat Korea bereits seit den 2000er Jahren eingeholt.

Für die Innovationsleistung der Umweltwirtschaft sind neben den Klimaschutztechnologien, die einen hohen Anteil an den absoluten Patentanmeldezahlen ausmachen, eine Reihe weiterer Technologien relevant. Weltweit haben diese zwar über die Periode 1991-2020 nicht die hohen Zuwachsraten, die beim Teilbereich Klimaschutztechnologien zu verzeichnen sind, doch ist hier die Entwicklung deutlich konstanter (siehe Abbildung 19:): Abgesehen von den sinkenden Patentanmeldungen im Teilbereich Sanierung (CEPA 4), steigen die Patentmeldezahlen in allen anderen Teilbereichen der Umwelttechnologien. Über die gesamte Periode 1991-2020 gesehen ist das Wachstum der Patentanmeldezahlen für Umwelttechnologien („Aggregat Umwelt“) vergleichbar mit der allgemeinen technologischen Entwicklung (Aggregat „Alle Technologien“). Im

letzten Jahr 2020 wird der Abstand von Umwelttechnologien zu Allen Technologien wieder geringer, weil die Umweltpatente etwas dynamischer wachsen. Das gilt für die Bereiche Recycling, Abfall aber auch für das Wassermanagement (CReMA 10), bei dem sich die Patentmeldezahlen zwischen 1991 und 2020 versechsfacht haben.

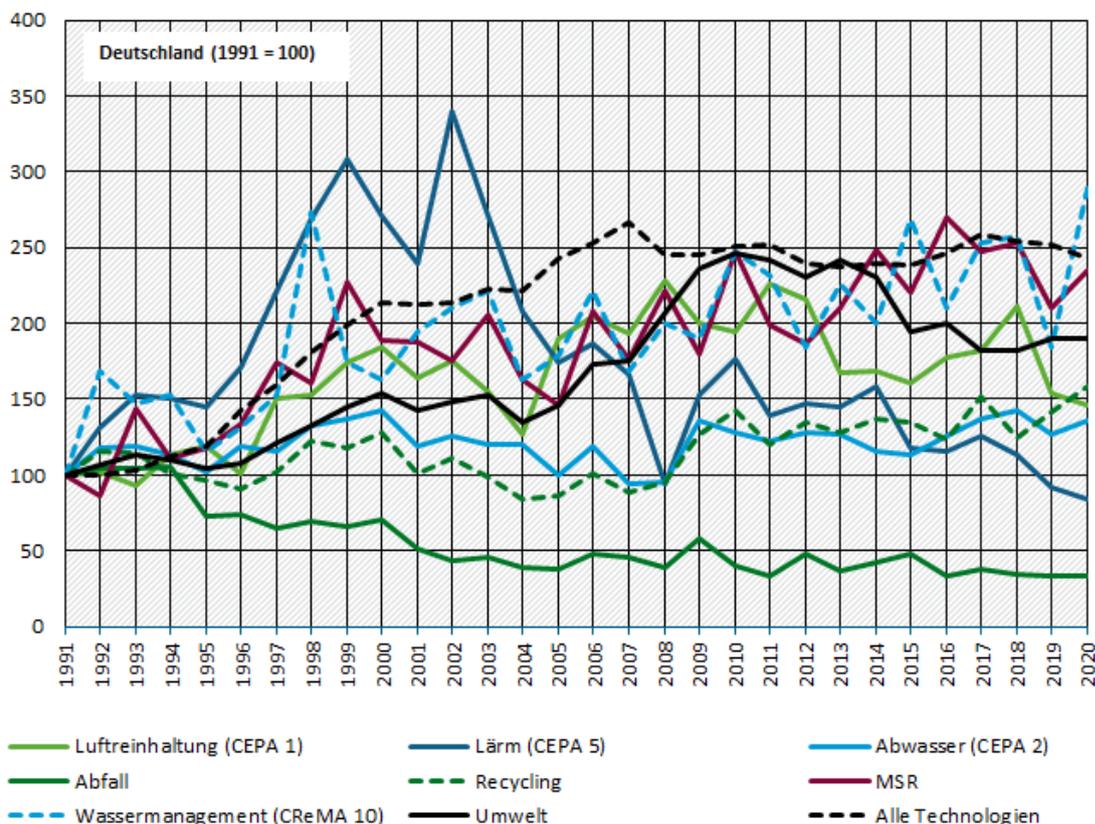
Abbildung 19: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien – Weltweite Entwicklung



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI

In Deutschland ist die Entwicklung der Patentanmeldezahlen bei den Umwelttechnologien dagegen weniger positiv (siehe Abbildung 20): Bei einer Betrachtung des deutschen Umwelttechnologiebereichs insgesamt (Aggregat „Umwelt“, inkl. Klimaschutztechnologien) zeigt sich, dass nach einer Phase des Aufholens zu den Patentanmeldezahlen bei allen Technologien (Aggregat „Alle Technologien“) die Patentmeldezahlen im Umwelttechnologiebereich ab 2014 wieder abnehmen. Seit 2017 wird der Abstand zwischen allen Technologien und Umwelttechnologien wieder kleiner, da die Patentanmeldungen bei Umwelttechnologien leicht steigen, während die Anmeldungen für alle Technologien leicht rückläufig sind.

Abbildung 20: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen in Teilbereichen der Umwelttechnologien – Entwicklung in Deutschland



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.

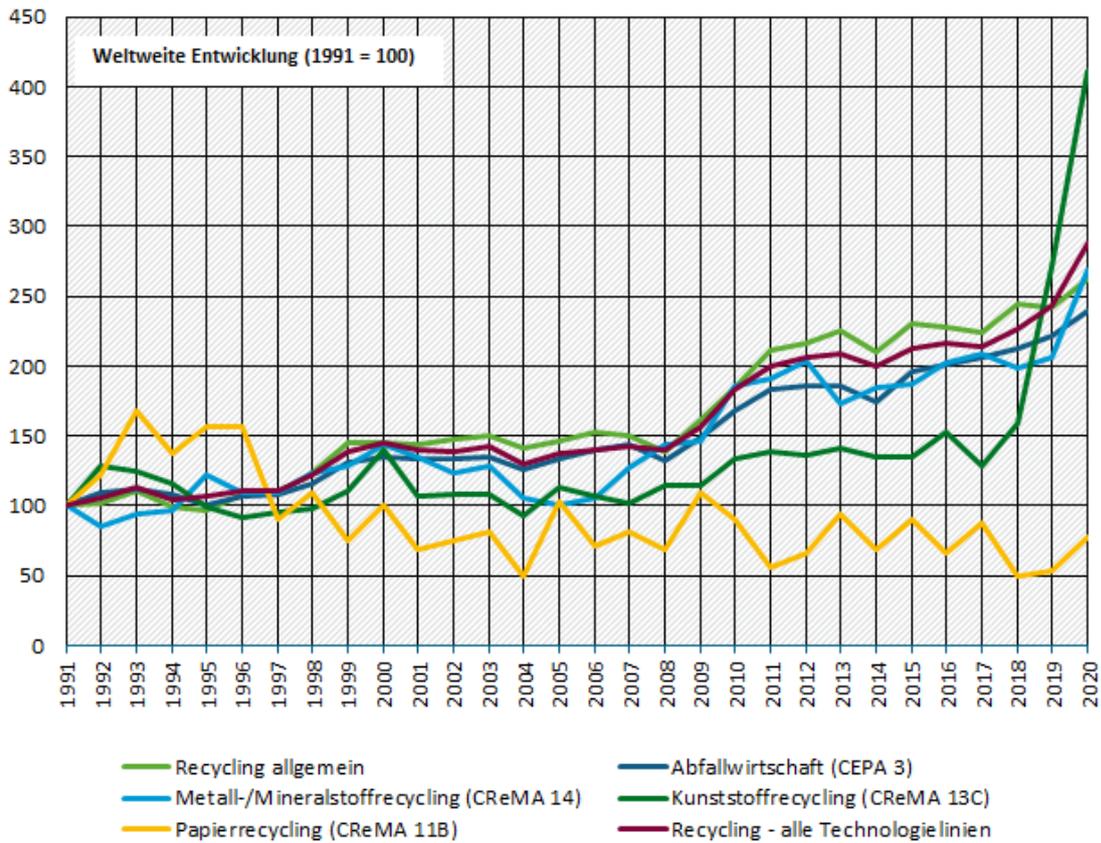
Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Der bezogen auf die absoluten Zahlen der Patentanmeldungen wichtige Umwelttechnologieteilbereich Recycling wird in Abbildung 21 und Abbildung 22 (zusammen mit dem Bereich Abfallwirtschaft) noch weiter aufgeschlüsselt.

Hier fällt auf, dass sowohl bei der Darstellung der weltweiten Patentanmeldungen als auch bei den deutschen Anmeldungen im Bereich Kunststoffrecycling nach 2017 eine gestiegene Dynamik aufkommt. Der Grund für das Interesse an diesen Technologien liegt wohl an Studien zum rasanten Wachstum der Kunststoffmengen in der Umwelt (z. B. Ellen MacArthur Foundation 2016), die auf Seiten der EU zu einer Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft (European Commission 2018) und z. B. zur Einwegplastik-Richtlinie geführt haben (EU 2019).

Bei den weltweiten Patentanmeldungen steigen die weltweiten Patentmeldezahlen in allen Recyclingteilbereichen (zumindest seit Mitte der 2000er Jahre) an, abgesehen vom negativen Trend bei den Meldezahlen im Bereich Papierrecycling.

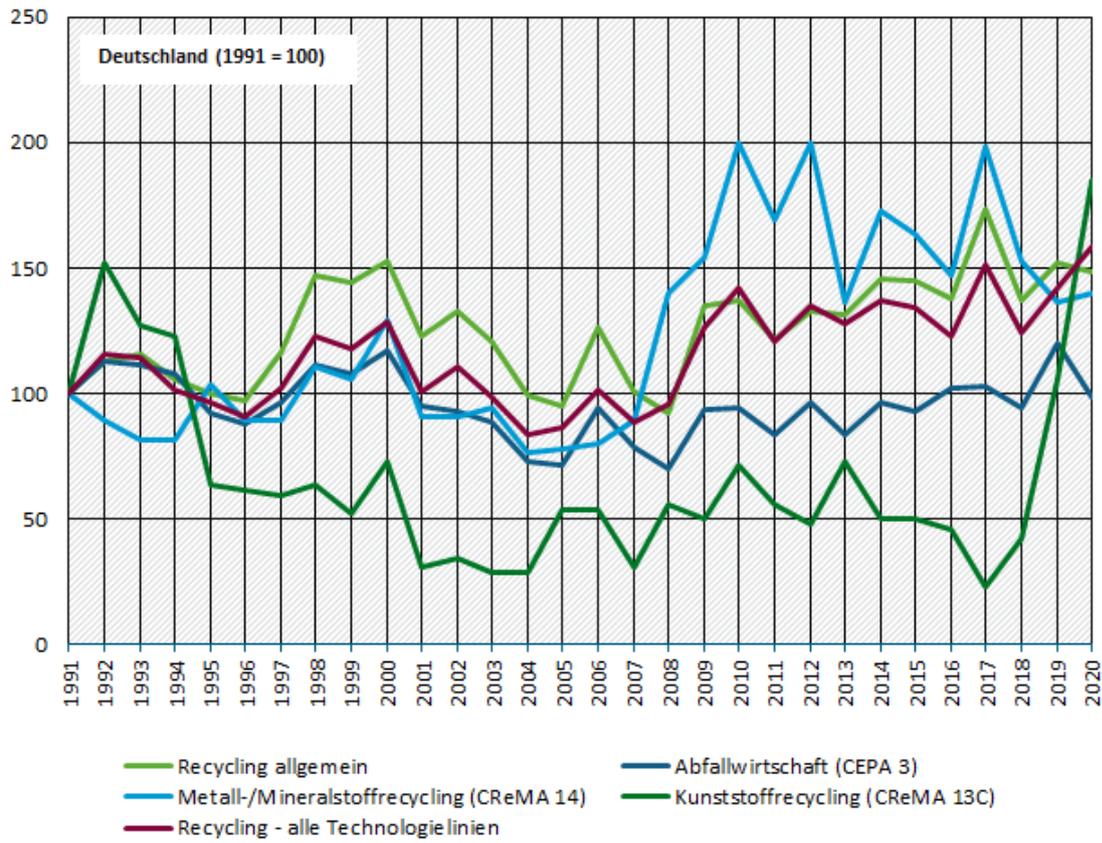
Abbildung 21: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft weltweit



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI

In Deutschland dagegen sind die Trends bei den Anmeldezahlen in den Recyclingbereichen nicht so positiv zu bewerten. Die Patentzahlen bei Papierrecycling sind so niedrig, dass sie hier nicht separat ausgewiesen werden. Nur beim Metall-/Mineralstoffrecycling und den stoffstromunspecifischen Recycling-Technologien (Recycling allgemein) gab es einen Zuwachs in den Patentanmeldezahlen (über die gesamte Periode 1991-2020 gesehen), das Niveau der Recycling-Patentanmeldungen in Deutschland scheint aber seit Ende der 2000er Jahre nur leicht zu steigen.

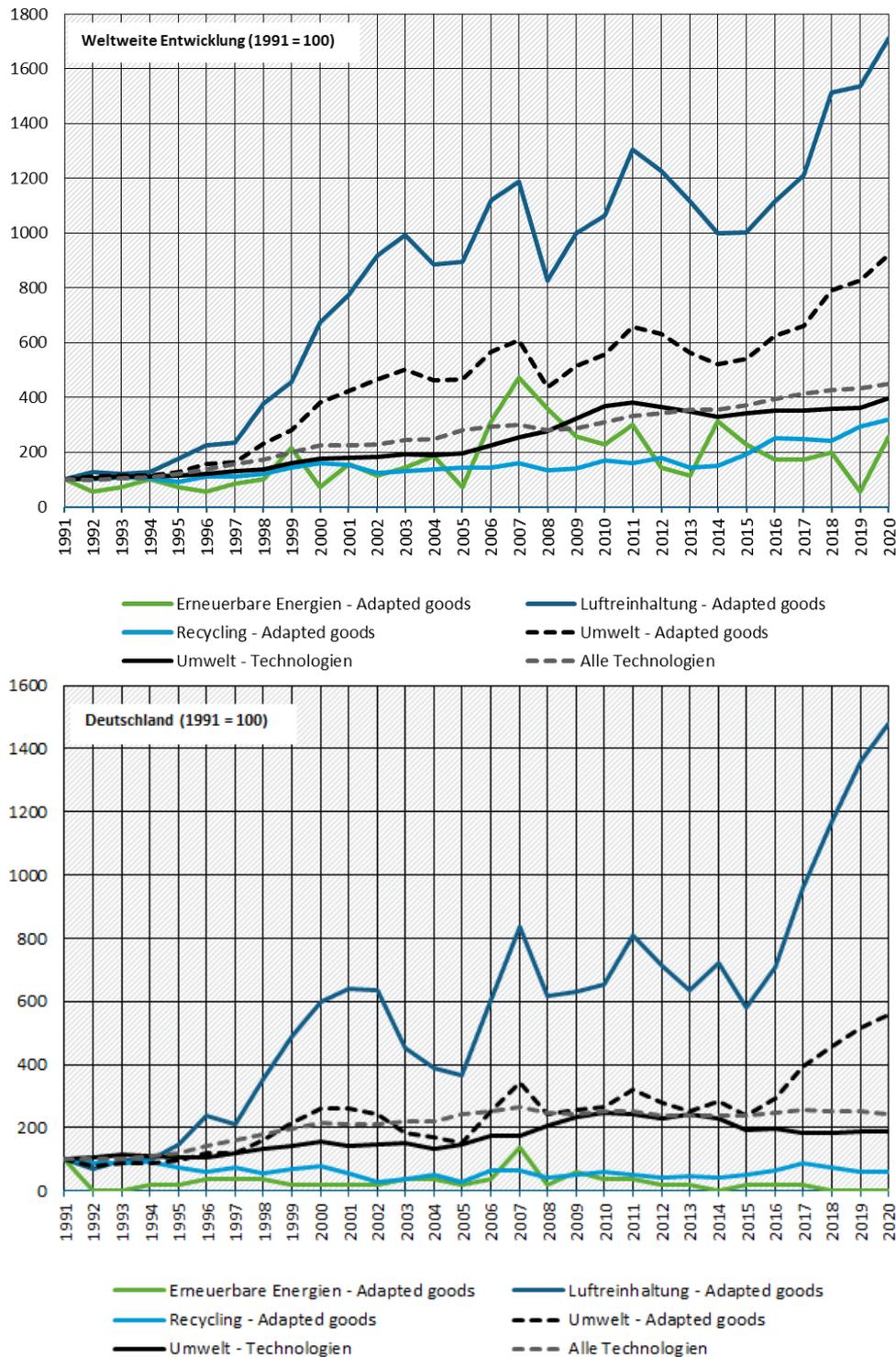
Abbildung 22: Entwicklung der Zahl der deutschen Patentanmeldungen für Recycling und Abfallwirtschaft



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI

Die Entwicklung der umweltfreundlichen Güter wird gesondert betrachtet (Abbildung 23). Ein Trend, der schon in den vorgehenden Analysen (Gehrke et al. 2019, 2022) festgestellt wurde, setzt sich auch in den letzten Jahren fort: die Patentanmeldungen zu den umweltfreundlichen Gütern („Umwelt – adapted goods“) wachsen auch in den letzten Jahren deutlich stärker als der Durchschnitt der Patente (Aggregat „Alle Technologien“). In den letzten Jahren zeigt sich außerdem, dass sich auch der Abstand der „adapted goods“ zu den „Umwelt – Technologien“ weiter vergrößert hat. Diese Schere entsteht dadurch, dass die Patentanmeldungen zu Umwelttechnologien kaum wachsen, während die Anmeldungen zu „adapted goods“ stark ansteigen. Dieses Wachstum wird vor allem durch die Patente zu Elektrofahrzeugen im Teilbereich der Luftreinhaltung getragen, weltweit wird sie aber auch durch Patente für „adapted goods“ im Bereich Recycling gespeist (Abbildung 23).

Abbildung 23: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für umweltfreundliche Güter („adapted goods“)



Anm.: Aufgrund einer Klassifikationsänderung bei Patenten, bei der der Bereich „Elektrischer Antrieb mit auf dem Fahrzeug bereitgestellter Energie“ neu aufgeteilt und verbreitert wurde, sind die Zahlen für „Luftreinhaltung – adapted goods“ nicht mehr mit denen aus Gehrke et al. (2022) zu vergleichen.

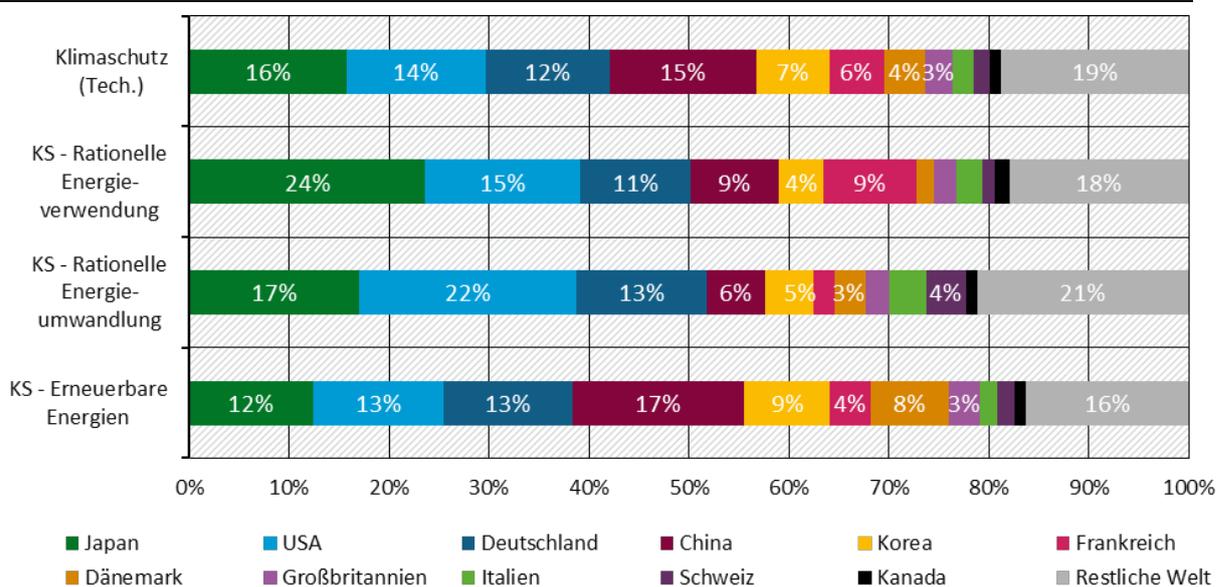
Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

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 2016-2020⁴³, um den aktuellen Stand der Länderbeiträge zu erfassen. Die neuen Zahlen zeigen an vielen Stellen die aktuell nochmals gestiegene Bedeutungszunahme von China.

Bei den Klimaschutztechnologien und ihren Teilbereichen gehören Japan, China, USA und Deutschland zu den führenden Nationen gemessen an den durchschnittlichen Patentanteilen der Jahre 2016-2020 (siehe Abbildung 24). Sie machen über 50 % der gesamten Anmeldungen aus. Japan ist bei der Rationellen Energieverwendung auf Platz 1, die USA bei der Rationellen Energieumwandlung und China bei den erneuerbaren Energien. Deutschland liegt bei den Klimaschutztechnologien an vierter Stelle, ansonsten auf Platz 3. China hat seine Anteile bei Klimaschutztechnologien gegenüber dem Fünfjahres-Zeitraum 2012-2016 von 7 % auf 15 % mehr als verdoppelt (Gehrke u. a. 2019) und damit Korea überholt. Diese rasante Entwicklung spiegelt die in Abschnitt 3.2.1 bereits dargestellte hohe Dynamik wider. Eine genauere Betrachtung der EU-28-Länder zeigt, dass neben Deutschland auch Dänemark, Frankreich, Großbritannien und Italien zu den Ländern mit relativ hohen Patentanteilen im Bereich Klimaschutz und den entsprechenden Teilbereichen gehören (vgl. Abbildung 32 im Anhang). Betrachtet man den Wirtschaftsraum der EU (EU-28) als Ganzes, kommt dieser auf einen Anteil von 37 % bei den Klimaschutztechnologien (vgl. Tabelle 10 im Anhang).

Abbildung 24: Patentanteile ausgewählter Länder bei Klimaschutztechnologien (2016-2020)



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI

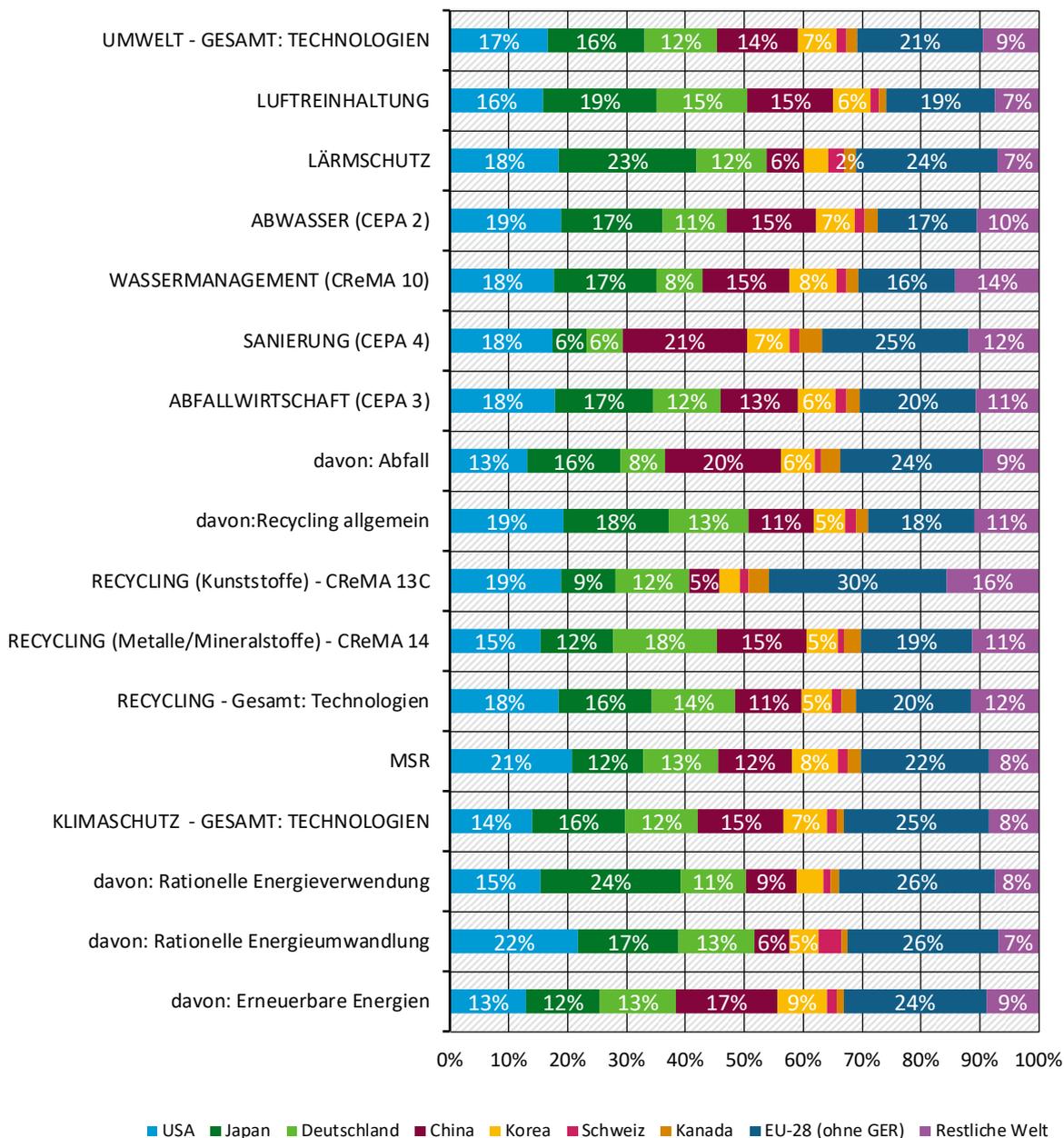
Bei den Umwelttechnologien (UMWELT - GESAMT: TECHNOLOGIEN) zeichnet sich aggregiert gesehen ein ähnliches Bild ab: USA und Japan sind führend, China hat Deutschland vom 3. Platz verdrängt (Abbildung 25 und Tabelle 11 im Anhang). Bei den einzelnen Teilbereichen der Umwelttechnologien jenseits von Klimaschutz zeigen sich Verschiebungen im Ranking. So ist Japan bei Luftreinhaltung und Lärmschutz – gemessen an den Patentanteilen – führend. Die USA führen dagegen bei Abwasser, Wassermanagement, Abfallwirtschaft, den Recycling-Gesamt

⁴³ Es wird ein 5-Jahres-Zeitraum betrachtet, damit Ausreißer in den Daten weniger Gewicht haben.

Technologiebereich und MSR. China hat die größten Patentanteile im Bereich Sanierung und Abfall, Deutschland im Bereich Recycling von Metallen und Mineralien.

Allerdings erreichen die Länder auf den Rängen 1 bis 3 in immer weniger Fällen⁴⁴ 50 % der Patente oder mehr, wie das noch in früheren Jahren der Fall war (vgl. z. B. Gehrke u. a. 2019). Das zeigt sich eindrucksvoll am Bereich „RECYCLING (Kunststoffe) – CReMA 13C“, bei dem auf Grund der oben genannten politischen Initiativen der Anteil der EU-28-Anmeldungen ohne Deutschland im Betrachtungszeitraum bei 30 % liegt. Diese kommen vor allem aus Frankreich, Italien und Österreich.

Abbildung 25: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien⁽¹⁾ (2016-2020)



(1) Anm.: CEPA 3 inkl. „adapted goods“.

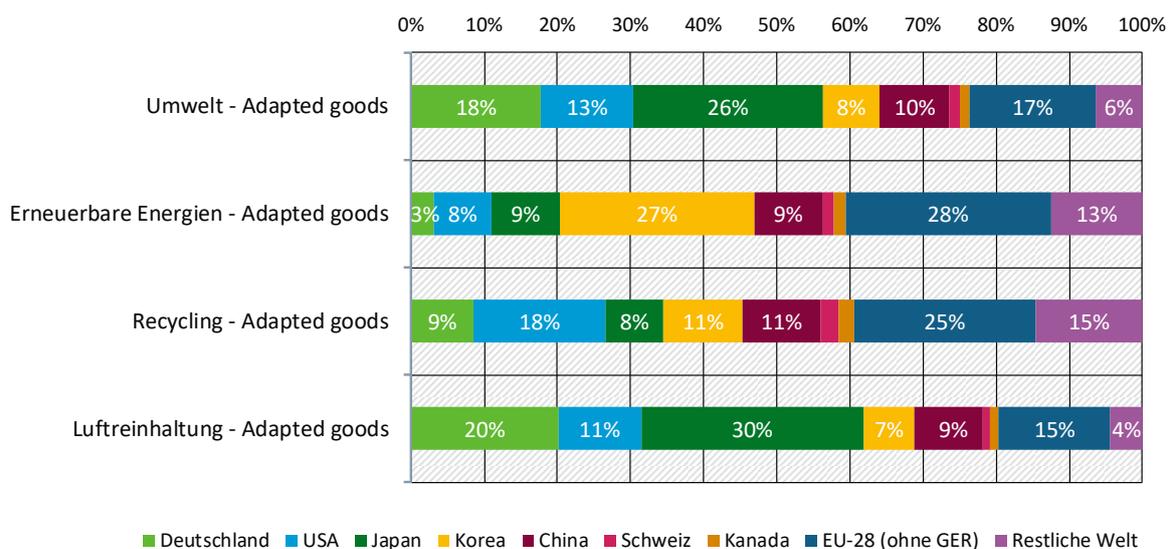
Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

⁴⁴ gemessen an der Zahl der Umweltteillbereiche.

Im Teilbereich des Recyclings von Metallen und Mineralstoffen ist Deutschland weltweit führend mit einem Patentanteil von 18 %. Und auch bei den Recyclingtechnologien insgesamt kommt es auf ein hohes Niveau von 14 % nach den USA und Japan.

China verzeichnet ein starkes Wachstum der Patentanteile. In einzelnen Teilbereichen musste Deutschland seinen dritten Platz bereits China überlassen. Dies betrifft Abwasser, Wassermanagement, Sanierung, Abfallwirtschaft und Abfall. An den Umweltpatenten der EU-28 hat Deutschland durchgängig für alle Umweltbereiche (mit Abstand) den höchsten Anteil (vgl. Abbildung 32 im Anhang).

Abbildung 26: Patentanteile ausgewählter Länder bei umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“) (2016-2020)



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Bei den umweltfreundlichen Gütern sind die Länder mit den größten Patentanteilen dieselben wie zuvor bei den Klimaschutz- und Umwelttechnologien (Abbildung 26). Aggregiert gesehen (Aggregat „Umwelt - adapted goods“) ist bei den umweltfreundlichen Gütern Japan gemessen an den Patentanteilen deutlich führend. Deutschland liegt an zweiter Stelle, gefolgt von USA, China und Korea. Hier hat Deutschland eine deutlich bessere Position als bei Klimaschutz- und Umwelttechnologien, bei denen es an vierter Stelle war. 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 zugeordnet werden. Bei den umweltfreundlichen Gütern im Bereich des Recyclings führen die USA vor Korea und China, gefolgt von Deutschland und Japan. Dies ist ein weiteres Beispiel für einen Bereich, in dem China Deutschland von Platz 3 verdrängt hat. Bei den umweltfreundlichen Gütern im Bereich Erneuerbare Energien ist Korea weltweit führend. Deutschland hat hier einen kleinen Patentanteil (3,1 %).

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.

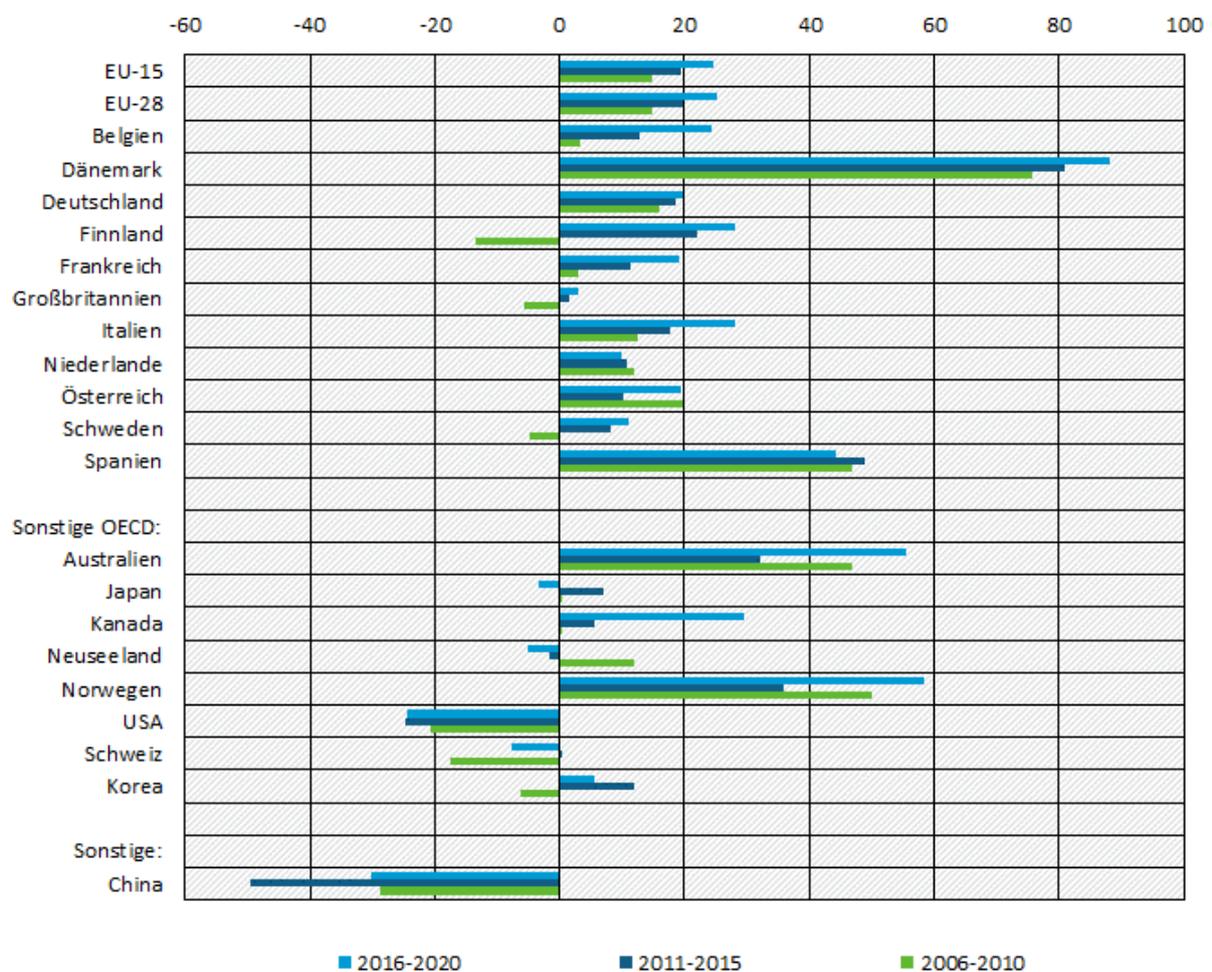
Beim Teilbereich Recycling stellt sich dies jedoch etwas anders dar: Bei Recycling-Technologien ist Deutschland mit 14 % gegenüber 20 % der übrigen EU-28 der größte Player in der EU. Bei den umweltfreundlichen Gütern im Recycling ist das Gewicht Deutschlands mit nur 9 % gegenüber der übrigen EU mit 25 % deutlich geringer. Das bedeutet, dass Deutschlands Wissensbasis im europäischen Vergleich eher in der Herstellung von Sekundärmaterialien und weniger bei der Verwendung dieser Sekundärrohstoffe (zum Beispiel im Bereich Baustoffe, Schmier- oder Futtermittel) liegt.

3.2.3 Spezialisierungsmuster bei potenziellen Umweltschutztechnologien

Die Länderanteile der Patentanmeldezahlen, die im vorherigen Abschnitt 3.2.2 diskutiert wurden, geben einen guten Überblick über die geographische bzw. geopolitische Verteilung des Innovationsgeschehens in den verschiedenen Umwelttechnologiebereichen. Um die Spezialisierung eines Landes auf bestimmte Technologiebereiche zu bestimmen, kann der relative Patentanteil (RPA) genutzt werden, der das Innovationsgeschehen eines Landes in einem bestimmten Technologiebereich in Relation zu dem allgemeinen Innovationsgeschehen des Landes (und der Welt) setzt. So 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 27 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 2006- 2020 relativ gesehen eine Schwäche (RPA unter -20, bei China in der Periode 2011-2015 sogar - 50) im Umwelttechnologiebereich; für Korea und Japan sind die RPA der Umwelttechnologien im Durchschnitt der Fünfjahreszeiträume niedrig mit wechselnden Vorzeichen. Allein Deutschland hat unter den zuvor diskutierten Ländern eine bedeutende positive Spezialisierung (einen RPA von 16 bis 20) im Umwelttechnologiebereich. Die am stärksten auf Umwelttechnologien spezialisierten Länder sind Dänemark, Spanien, Australien und Norwegen. Während in Dänemark der Umweltspezialisierungsgrad über die Periode 2006-2020 kontinuierlich zunahm, nahm er in Australien und Norwegen in der Periode 2011-2015 ab und stieg dann zuletzt 2016-2020 wieder an. In Spanien gab es 2010-2015 einen kleinen Anstieg auf 49 und dann 2016-2020 einen leichten Rückgang auf 44. Weitere Länder haben in dieser Zeit ihre Stärke im Umwelttechnologiebereich ausgeweitet und gelten in der Periode 2016-2020 als relativ stark in diesem Bereich spezialisiert (RPA über 20). Zu ihnen gehören Belgien, Finnland, Italien und Kanada. Frankreich, Österreich und Schweden konnten ihre RPA-Werte in der aktuellsten Periode 2016-2020 erhöhen.

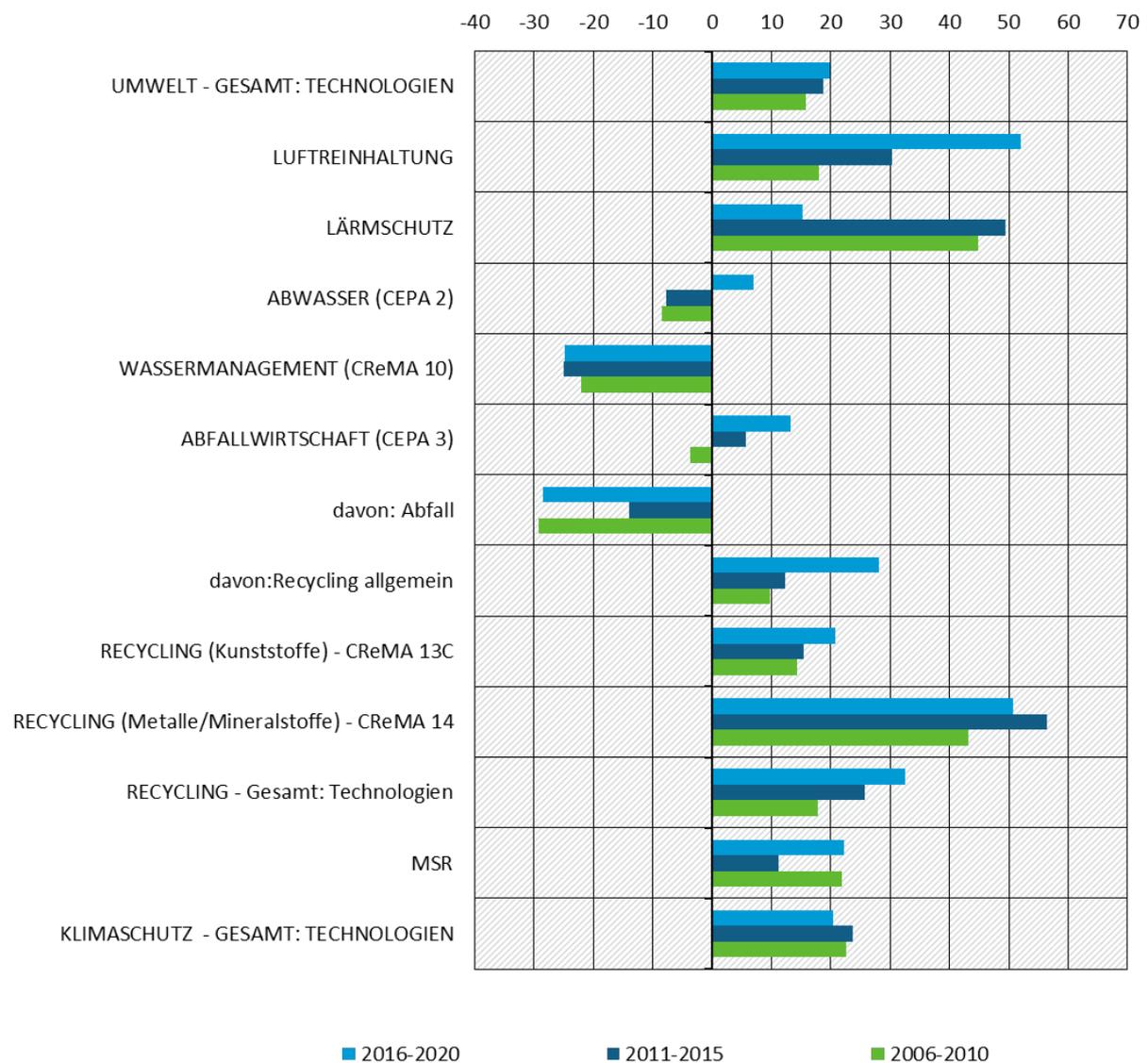
Abbildung 27: Spezialisierung ausgewählter Länder im Bereich Umwelttechnologien (RPA-Werte)



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Die Spezialisierungssituation Deutschlands im Umwelttechnologiebereich lässt sich wie folgt zusammenfassen: Gemessen an den RPA gehört Deutschland in der Periode 2016-2020 zu den Ländern, die eine Stärke im Bereich der Umwelttechnologien aufweisen, dank der Steigerung des deutschen Spezialisierungsgrads in diesem Bereich über den ganzen Zeitraum 2006-2020. 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 Spezialisierung der EU-28 als bedeutender weltweiter Wirtschaftsraum auf Umwelttechnologien hat ähnlich wie bei Deutschland seit 2006 kontinuierlich zugenommen, in der letzten Periode 2016-2020 ist die Spezialisierung in der EU sogar ausgeprägter als in Deutschland gewesen.

Abbildung 28: Patentspezialisierung Deutschlands bei Umwelttechnologien (RPA-Werte)



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Zu den einzelnen Umwelttechnologiebereichen für Deutschland lässt sich – auch im Vergleich zur Vorläuferstudie (Gehrke u. a. 2022) – festhalten (Abbildung 28):

- ▶ Bei der Luftreinhaltung gibt es weiterhin eine signifikant positive Spezialisierung, die sogar noch ausgebaut wurde.
- ▶ Das Spezialisierungsmaß beim Lärmschutz ist ebenfalls weiterhin positiv, aber in der Periode 2016-2020 gegenüber der Vorperiode deutlich zurückgegangen.
- ▶ Im Bereich Abwasser wurde in der Periode 2016-2020 eine leichte positive Spezialisierung erreicht.
- ▶ Beim Wassermanagement bleiben die Spezialisierungswerte deutlich negativ.

- ▶ Die Bereiche Abfallwirtschaft und Recycling (Gesamt) sind insgesamt gegenüber Gehrke u. a. (2022) wenig verändert mit leicht positivem Wert für die Abfallwirtschaft bzw. deutlich positiven RPA-Werten für die Bereiche Recycling allgemein und Recycling-Gesamt. Die besondere Stärke im Recycling von Metallen und Mineralstoffen bleibt, der RPA geht aber etwas zurück. Beim Kunststoffrecycling steigen die Werte dagegen an.
- ▶ Bei MSR zeigt sich eine wieder ansteigende positive Spezialisierung, die erneut so groß ist wie 2006-2010.
- ▶ Die signifikant positive Spezialisierung auf Klimaschutztechnologien ist bei einem RPA-Wert von ca. 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 Vorgängerbericht 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 Gebäuden und Geräten“ (EEF Gebäude und Geräte), „Energieeffizienz im Energiesystem“ (EEF Energiesystem), (industrielle) „Querschnittstechnologien“ sowie „energieeffiziente Mobilität“ betrachtet. Details zur Abgrenzung dieser Bereiche finden sich in Gehrke et al (2022). In der vorliegenden Studie wurde der Bereich „Energieeffizienz in der Industrie“ neu aufgenommen.

- ▶ **Energieeffizienz in der Industrie (EEF Industrie):** In diesem neuen Segment wurde die Y02P Klassifikation benutzt, die Technologien zur Eindämmung des Klimawandels in der Produktion oder Verarbeitung von Waren beschreibt. Es wurden die Bereiche ausgewählt, bei denen es darum ging, in der Industrie Energie effizienter zu verwenden, Energie zurück zu gewinnen oder ganz einzusparen. Dabei geht es um Industriebranchen wie die Metallherstellung, die Chemische Industrie, die Zementherstellung oder die Landwirtschaft und Ernährungswirtschaft.

Energieeffizienz in der Industrie ist ein Teil des gleichnamigen Schlüsselaktionsfeldes „Energy efficiency in industry“. Es ist aber deutlich enger definiert als das SET-Plan Action Feld, welches den gesamten Y02P-Bereich und einige Verbrennungstechnologien aus der Y02E Klassifikation umfasst (vgl. Fiorini u. a. 2017).

Die beiden bisher schon im Wirtschaftsfaktor Umweltschutz verwendeten Segmente „Rationelle Energieverwendung“ und „Rationelle Energieumwandlung“ werden durch die Segmente zur Energieeffizienz überschneidungsfrei ergänzt.

3.3.1 Dynamik der technischen Entwicklung bei Energieeffizienztechnologien

In Abbildung 29 ist die Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für die fünf neuen Energieeffizienz-Bereiche „Energieeffiziente Mobilität“, „EEF Gebäude+Geräte“, „EEF Industrie“, „EEF Energiesystem“ und „Querschnittstechnologien“ in Zusammenschau mit den schon bisher untersuchten Energieeffizienz-Bereichen „Rationelle Energieumwandlung“ und „Rationelle Energieverwendung“ dargestellt. Interessant ist, dass alle Energieeffizienz-Technologien zusammen

(Aggregat „alle EEF Bereiche“) eine dynamischere Entwicklung aufweisen als Technologien allgemein („Alle Technologien“). Weltweit betrachtet (Abbildung 29 oben) ist nur die Entwicklung bei industriellen Querschnittstechnologien etwas schlechter. Die höchsten Zuwächse bei den Patentanmeldungen seit 1991 haben Energieeffizienztechnologien im Energiesystem (EEF Energiesystem). Unter diesen sind im Jahr 2020 bei den weltweiten ca. 80 % und bei den deutschen Patenten ca. 60 % der Energiespeicher-Patente. Dies macht die Dynamik plausibel, denn Energiespeicher spielen in der Energiewende mit dem Umstieg zu stärker fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen eine wichtige Rolle. Energieeffizienz in der Industrie gibt es ab 2011 und bei der Rationellen Energieumwandlung ab 2012 starke Rückgänge bei den Patentzahlen. In den letzten Jahren ab 2018 fallen die Zahlen nur noch leicht ab.

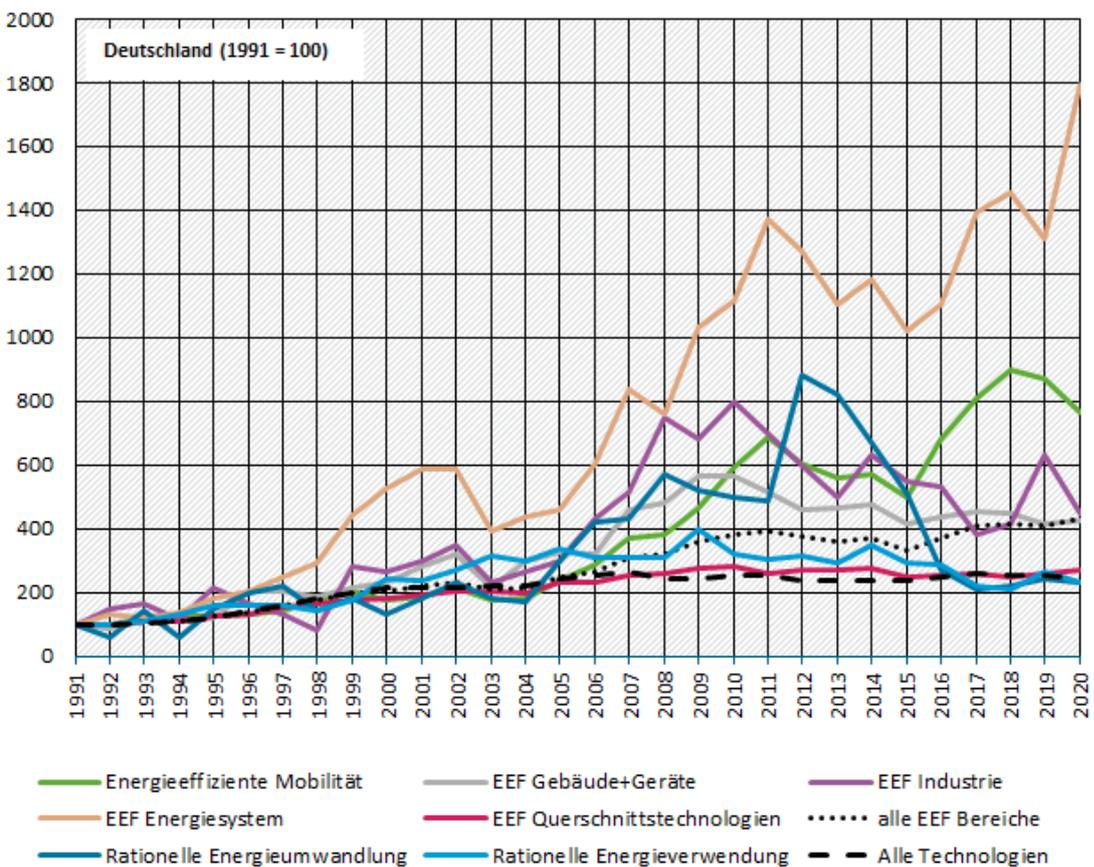
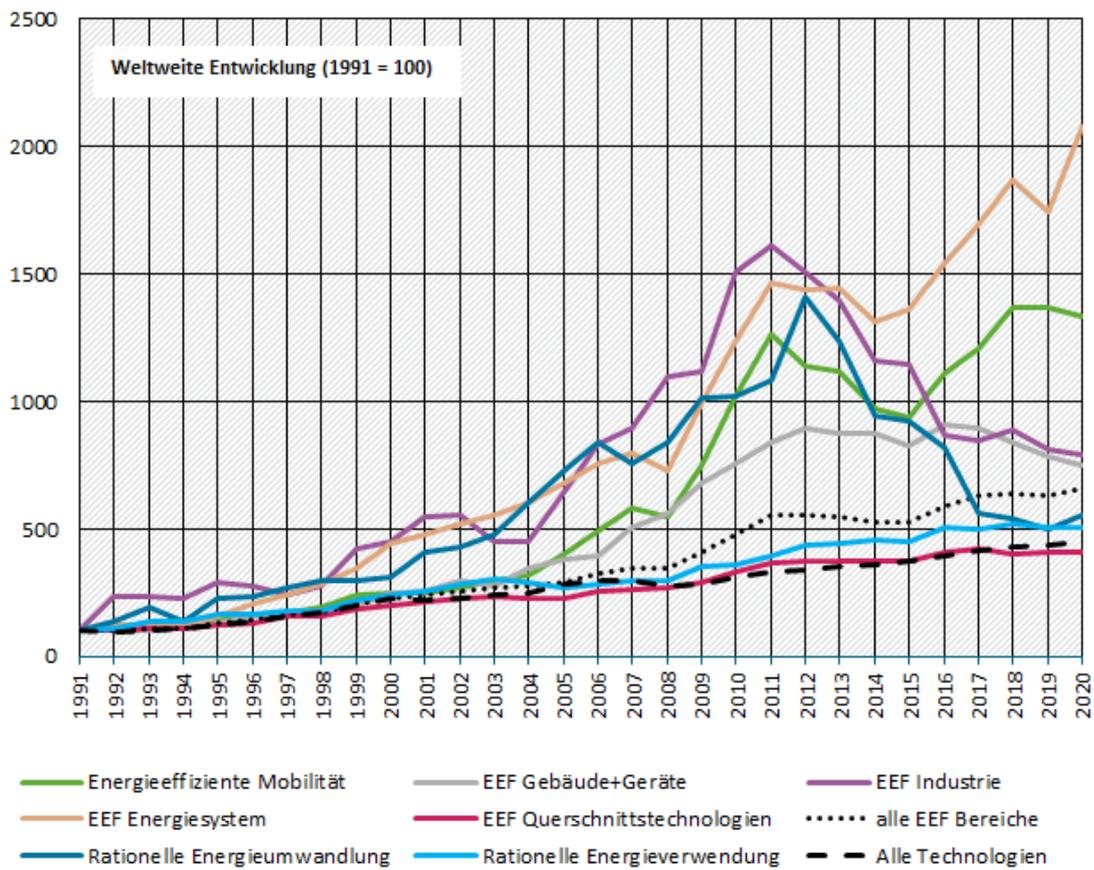
Im Bereich der energieeffizienten Mobilität zeigt die weltweite Entwicklung ein – im Vergleich zur allgemeinen technologischen Entwicklung – überdurchschnittliches Wachstum der transnationalen Patentanmeldungen ab den frühen 2000er-Jahren. Diese überdurchschnittliche Entwicklung wird stark von den energieeffizienten Antrieben im Straßenverkehr bestimmt. Aber vor allem zu Beginn des Betrachtungszeitraumes wird die Entwicklung auch durch Patente zur Eisenbahn (Schienenfahrzeuge und -infrastruktur) getragen: Diese machten im Jahr 1990 in Deutschland 76 % der Patente zur energieeffizienten Mobilität aus, der Anteil ging im Jahr 2020 auf 19 % zurück. Diese Entwicklung ist auch bei den globalen Patenten zu sehen, deren Eisenbahnanteil von 64 % im Jahr 1990 ebenfalls auf 19 % im Jahr 2020 zurückging. Ein besonders hohes Wachstum der Patente zur energieeffizienten Mobilität ist im Zeitraum zwischen 2008 und 2011 und dann ab 2016 zu beobachten. Der Rückgang zwischen 2012 und 2015 ist vor allem in Japan besonders ausgeprägt und geht auf einen Einbruch bei den Patentanmeldungen von Toyota zurück (Sievers et al. 2022).

Sievers et al. (2022) untersuchten die Dynamik der transnationalen Patentanmeldungen für konventionelle und alternative Antriebe von 1990 bis 2017. Dabei zeigte sich, dass die Anzahl der Anmeldungen im Bereich der konventionellen Antriebe bereits seit 2000 stagnieren bzw. abnehmen. Die Patentanmeldungen im Bereich der alternativen Antriebe stiegen hingegen an, wobei der Großteil der Patentanmeldungen den Teilbereich batterieelektrische Antriebe betraf. Die Patentanmeldungen im Teilbereich der auf Brennstoffzellen basierten Antriebe machen absolut gesehen nur einen geringen Teil an den Patenten der alternativen Antriebe aus.

In einer Analyse zum automatisierten Fahren verzeichneten die USA beim Gesamtkonzept autonomen Fahren mit Fokus auf Konnektivität/Kommunikation die meisten Patentanmeldungen, während bei einer Betrachtung des automatisierten Fahrens inklusive Assistenzsystemen und Umfelderkennung Deutschland 2017 an erster Stelle der Anmelder stand (Sievers et al. 2022). Insgesamt zeigten Analysen zur Digitalisierung in der Mobilität, dass Patente, die sowohl den Aspekt „energieeffiziente Mobilität“ als auch den einer „embedded Software“ betrafen, deutlich dynamischer wuchsen als reine Patente zur „energieeffizienten Mobilität“ (Gehrke et al. 2023).

Deutschland zeigt einen ganz ähnlichen Verlauf wie die weltweite Patententwicklung (unterer Teil der Abbildung 29). Auch hier liegt das Aggregat aller Energieeffizienzpatente („alle EEF Bereiche“) deutlich über „Alle Technologien“. Der Abstand zwischen beiden Kurven nimmt in den letzten Jahren noch zu. Dabei ist die Entwicklung bei Querschnittstechnologien ähnlich verhalten wie weltweit und bildet unter den Energieeffizienzbereichen das Schlusslicht. In den Jahren ab 2016 fallen auch die Anmeldungen zur Rationellen Energieverwendung und Rationellen Energieumwandlung auf das Niveau aller Technologien ab. Auch die Entwicklung der Anmeldezahlen bei Energieeffizienzpatenten in Gebäuden und Geräten ist in Deutschland verhalten. Insbesondere seit Anfang der 2010er-Jahre sind sie rückläufig. Das gilt auch für Anmeldungen zur Energieeffizienz in der Industrie, die sich gegenüber 1991 bis zum Jahr 2010 verachtfacht haben, um dann bis zum Jahr 2020 fast um die Hälfte abzunehmen.

Abbildung 29: Entwicklung der Zahl der Patentanmeldungen für Energieeffizienztechnologien

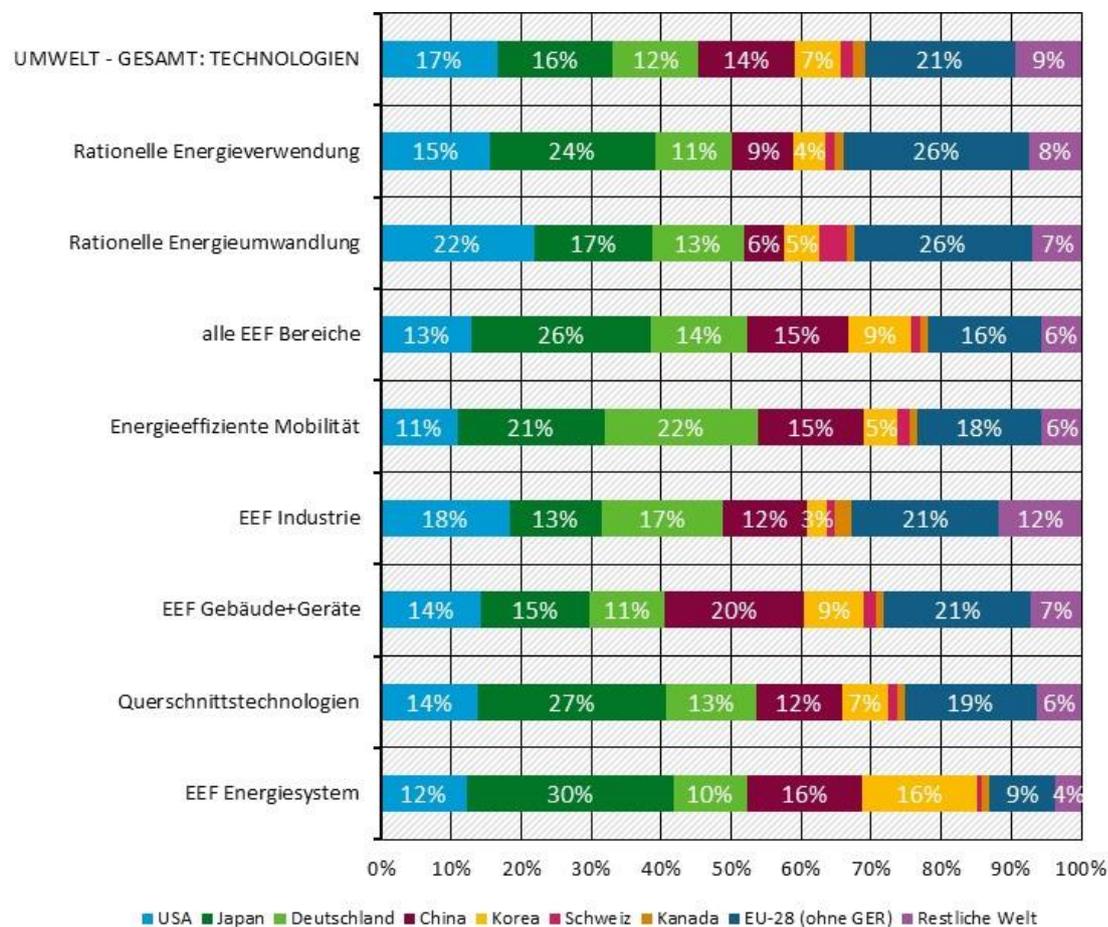


Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

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 und konkurriert häufig mit den USA, Japan und China um die ersten drei Plätze (vgl. Abbildung 30 und Tabelle 12 im Anhang). Sein Patentanteil liegt insbesondere bei der energieeffizienten Mobilität sehr hoch - deutlich höher als sein Anteil an Umwelttechnologien insgesamt. Mit 22 % verzeichnet Deutschland hier im internationalen Vergleich den höchsten Anteil an den transnationalen Patenten. Dieser Spitzenplatz wird mit einem konstanten Anteil erreicht, weil der Anteil des beim letzten Innovationsmotor (Gehrke et al. 2022) führenden Japans von 24,7 % gesunken ist. Dies verdeutlicht die führende Rolle Deutschlands, die zu großen Teilen auf die Innovationsaktivitäten der deutschen Automobilhersteller und Zulieferer im Bereich der alternativen Antriebe zurückgeht. An zweiter Stelle steht mit 21 % 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. 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 12,4 % liegt, schneiden neben der effizienten Mobilität auch die rationelle Energieumwandlung (vgl. auch Abschnitt 3.2.2), die Energieeffiziente Industrie und die Querschnittstechnologien besser ab. Der deutsche Patentanteil an allen Patenten zur Energieeffizienz beträgt 14 %.

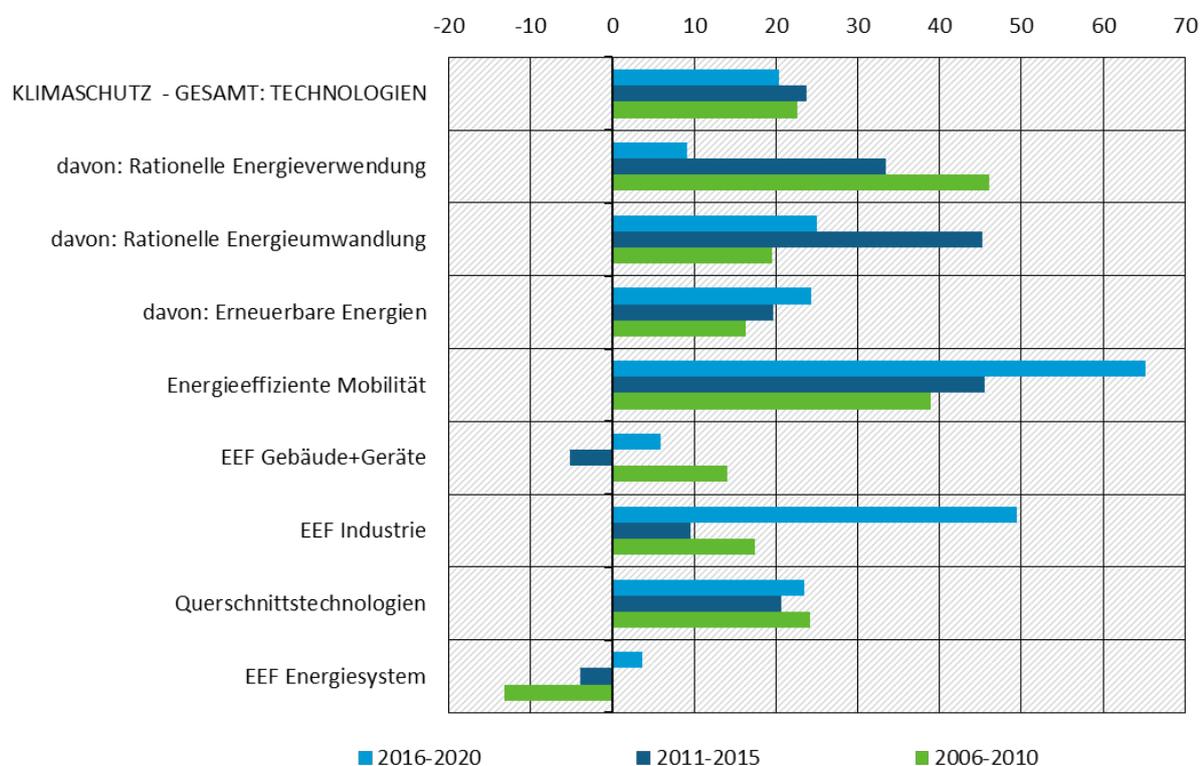
Abbildung 30: Patentanteile bei Energieeffizienztechnologien in den Jahren 2016-2020



Quelle: Patstat 23a, 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 Klimaschutztechnologien wird deutlich, wo besonders hohe Patentaktivitäten zu beobachten sind. In Abbildung 31 ist dargestellt, dass Deutschland in der letzten betrachteten 5-Jahres-Periode in allen Energieeffizienztechnologien zumindest leicht spezialisiert ist (alle grünen Balken > 0). Dabei gehen die RPA Werte in einigen Bereichen zurück, wie bei der Rationellen Energieverwendung oder der Rationellen Energieumwandlung. 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 2006-2010 und 2011-2015 noch in vergleichbarer Größenordnung mit anderen Energieeffizienztechnologien waren, sind sie im Zeitraum 2016-2020 mit Abstand an erster Stelle.

Abbildung 31: Spezialisierung Deutschlands in Energieeffizienztechnologien (RPA-Werte)



Quelle: Patstat 23a, 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 einen leicht positiven Wert von 4. Bei Gebäuden und Geräten ist der Spezialisierungswert mit 6 ebenfalls ins (leicht) Positive gekehrt.

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 kommt weltweit auf Platz 4, übertrumpft nur von der weitaus größeren Volkswirtschaft der USA, von Japan und China. China hat dabei in den letzten 10 Jahren Korea und in den letzten 5 Jahren Deutschland überholt. Innerhalb der EU ist Deutschland gemessen an seiner Zahl von Umweltpatenten mit Abstand der wichtigste Player. Der Abwärtstrend der jährlichen Patentanmeldungen für Umwelttechnologien konnte gestoppt werden. Der Trend ist hier in den letzten drei Jahren (2018-2020) wieder positiv oder zumindest stabil. Dies ist sogar ein leicht besseres Bild als für alle Technologien zusammen, die ab 2017 leicht rückläufige Patentanmeldungen aufweisen.

Mit Blick auf die EU ist festzustellen, dass hier über Deutschland hinaus auch andere Länder sehr aktiv sind. Die EU-28 insgesamt haben mit Abstand den größten Patentanteil weltweit – deutlich höher als die USA oder China. 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.

Ein Blick auf die Spezialisierung bei den Patenten zeigt, dass Deutschland ausgeprägte Spezialisierungsvorteile bei Klimaschutztechnologien hat. Dabei ist die Patentaktivität bei Erneuerbaren Energien (insbesondere Windenergie) besonders ausgeprägt. Allerdings bleiben die Zuwachsraten der Patentanmeldungen in Deutschland im internationalen Vergleich, vor allem gegenüber den Spitzenreitern China, Korea und auch Dänemark, deutlich zurück. Deutschland wird aber auch von einigen weiteren Playern – unter anderem Frankreich, USA und Großbritannien – übertroffen.

Eine genauere 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. Den größten Zuwachs haben weltweit und auch in Deutschland Patentanmeldungen im Bereich „Energieeffizienz im Energiesystem“, die stark von Anmeldungen zu Energiespeichern geprägt sind. Bei der energieeffizienten Mobilität hat Deutschland ausgeprägte Stärken, die sich an seinem hohen Patentanteil (Rang 1 weltweit) und dem von allen Bereichen höchsten Wert des Spezialisierungsindikators (RPA = 65) zeigen. Deutschland ist bei Patenten zum Klimaschutz gut aufgestellt, zeigt aber Schwächen beim Wassermanagement, welches zur Klimaanpassung nötig ist: Beim Wassermanagement (und auch Abfall) sind die Spezialisierungsindikatoren von Deutschland deutlich negativ.

Für eine Kreislaufwirtschaft sind Innovationen im Recycling besonders wichtig. Deutschland hat den weltweit höchsten Anteil an Patenten für das Recycling von Metallen und Mineralstoffen (mit gut 18 % aller Patente) und eine hohe Spezialisierung in diesem Bereich. Auch bei stoffstrom-unspezifischen Recyclingtechnologien weist Deutschland hohe Patentanteile und positive Spezialisierung auf. Das Niveau der Recycling-Patentanmeldungen in Deutschland insgesamt scheint allerdings seit Ende der 2000er Jahre zu stagnieren. Einzige Ausnahme sind hier Patente zum Kunststoffrecycling, deren Anzahl sich aufgrund der EU-Strategie für Kunststoffe von 2018 auf 2020 in Deutschland vervierfacht haben.

Wie schon in den vorgehenden Analysen (Gehrke et al. 2019, 2022) festgestellt wurde, wachsen auch in den letzten Jahren die deutschen Patentanmeldungen zu den umweltfreundlichen Gütern („adapted goods“) deutlich stärker als der Durchschnitt der Patente (Aggregat „Alle Technologien“) und als Umwelttechnologien insgesamt (Abbildung 23). Dies könnte mittelfristig zu

einem Wandel in Richtung des Öko-Innovationstypus „Nachhaltige Produkte und Wertschöpfungskonzepte“ hinweisen (vgl. Walz et al. 2019), wodurch ein noch höherer Beitrag zur Nachhaltigkeit entstehen könnte (Gehrke et al. 2022).

Insgesamt bleibt die verlässliche Ausrichtung der technologischen Entwicklung und der Wissensbasis auf die Ziele des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeitsziele eine ständige Herausforderung für Deutschland und weltweit.

4 Quellenverzeichnis

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): Kabinett beschließt Energieeffizienzgesetz. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/04/20230419-kabinett-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html> (03.05.2023)

Büchele, R., Schmidt, D., von Löwenstern, A. (2021): GreenTech made in Germany 2021 – Umwelttechnik-Atlas für Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Berlin. https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_greentech_atlas_2.pdf (16.12.2023)

Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF (2023): Zukunftsstrategie Forschung und Innovation. https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/1/730650_Zukunftsstrategie_Forschung_und_Innovation.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (16.12.2023)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019): Energieeffizienzstrategie 2050, Berlin. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/energieeffizienzstrategie-2050-1708334> (16.12.2023)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2021) Energieeffizienz in Zahlen – Entwicklungen und Trends in Deutschland 2021. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf> (16.12.2023)

Bundesregierung (2023): Zukunftsstrategie Forschung und Innovation. https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/zukunftsstrategie/zukunftsstrategie_node.html 1 (24.01.2024)

Bundesregierung (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (2020-2023) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Kabinettsbeschluss, 17.06.2020, Berlin. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ressourceneffizienz_programm_2020_2023.pdf (16.12.2023)

Bundesregierung (2021a): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-weiterentwicklung-2021-langfassung-1875178> (16.12.2023)

Bundesregierung (2021b). Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021-2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP). <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/1f422c60505b6a88f8f3b3b5b8720bd4/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1> (16.12.2023)

Ellen MacArthur Foundation (2016): The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. <https://ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics> (16.12.2023)

EU (2019): EU Richtlinie 2019/904 vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt (sog. Einwegkunststoff-Richtlinie oder Einwegplastik-Richtlinie). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32019L0904> (16.12.2023)

European Commission (2018): A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. https://commission.europa.eu/publications/factsheets-european-strategy-plastics-circular-economy_en (16.12.2023)

European Commission (2023): Research and Innovation. http://ec.europa.eu/research/horizon2020/pdf/press/horizon_2020_budget_constant_2011.pdf (04.04.2023)

Eurostat (o. D.): Community innovation survey. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/community-innovation-survey> (15.12.23)

Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2019): Gutachten 2019. Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2019/EFI_Gutachten_2019.pdf (16.12.2023)

Fiorini, A.; Georgakaki, A.; Pasimeni, F.; Tzimas, E. (2017): 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

Gatzen, C.; Pietsch, S.; Steinfurt, T.; Grafenhofer, D. (2019): Technologische Innovationen und neue Geschäftsmodelle für die Energiewende – die Rolle der deutschen F&I Politik. Studie im Auftrag der unabhängigen Expertenkommission Forschung und Innovation, EFI (Hrsg.): Reihe Studien zum deutschen Innovationssystem, 11/2019, Berlin. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/194281/1/1067676163.pdf> (16.12.2023)

Gehrke, B.; Schasse U. (2017): Die Umweltschutzwirtschaft in Deutschland. Produktion, Umsatz und Außenhandel – Aktualisierte Ausgabe 2017, UBA; BMUV (Hrsg.): Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 03/2017. Dessau-Roßlau, Berlin. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-umweltschutzwirtschaft-in-deutschland-2017> (16.12.2023)

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 – Aktualisierte Ausgabe 2017, UBA, BMUV (Hrsg.): Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 01/2018. Dessau-Roßlau, Berlin. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/innovationsmotor-umweltschutz-forschung-patente-in> (16.12.2023)

Gehrke, B.; John, K.; Schasse, U.; Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F.; Rothengatter, O. (2019): Innovationsmotor Umweltschutz. Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich – Aktualisierte Ausgabe 2019, UBA, BMUV (Hrsg.): Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 06/2019. Dessau-Roßlau, Berlin. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/innovationsmotor-umweltschutz-forschung-patente-2019> (16.12.2023)

Gehrke, B.; Ingwersen, K.; Schasse, U.; Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F.; Rothengatter, O.; Sievers, L.; Stijepic, D. (2022): Innovationsmotor Umweltschutz: Forschung und Patente in Deutschland und im internationalen Vergleich – Aktualisierte Ausgabe 2021, UBA, BMUV (Hrsg.): Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung, 03/2022. Dessau-Roßlau, Berlin. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/innovationsmotor-umweltschutz-forschung-patente-in-0> (16.12.2023)

Gehrke, B.; Schasse, U.; Ostertag, K.; Marscheider-Weidemann, F.; Stijepic, D. (2023): Weiterentwicklung der Abgrenzung der Umweltwirtschaft – Umweltschutzgüter, Adapted Goods und Digitalisierung. In Vorbereitung. UBA (Hrsg.): Reihe Umwelt, Innovation, Beschäftigung. Dessau-Roßlau

Griliches, Z. (1980): Returns to Research and Development Expenditures in the Private Sector. In: National Bureau of Economic Research, 01/1998, University of Chicago Press, S. 419-462

Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels – Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik. Springer-Lehrbuch, Berlin, Heidelberg, New York

International Energy Agency (2011): IEA Guide to Reporting Energy RD&D Budget. Expenditure Statistics, OECD/IEA (Hrsg.): 06/2011. Paris. <https://www.iea.org/reports/iea-guide-to-reporting-energy-rdd-budget-expenditure-statistics> (16.12.2023)

International Energy Agency (IEA) (2019): Technology Innovation to Accelerate Energy Transitions. https://iea.blob.core.windows.net/assets/c578edac-2b69-4a5b-b8a9-0d007a9a8106/Technology_Innovation_to_Accelerate_Energy_Transitions.pdf (16.12.2023)

International Energy Agency (IEA) (2022): Energy Technology RD&D Budgets. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2> (04.04.2023)

- Johnstone, N.; Hascic, I.; Ostertag, K. (2008): Environmental policy, technological innovation and patents. In: OECD (Hrsg.): Environmental Policy, Technological Innovation and Patents. OECD, Paris, S. 17-51
- Legler, H.; Krawczyk, O. (2009): FuE-Aktivitäten von Wirtschaft und Staat im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem, EFI (Hrsg.): 01/2009. Berlin. https://www.e-fi.de/fileadmin/Assets/Studien/2009/StuDIS_01_2009.pdf (16.12.2023)
- Legler, H.; Walz R.; Krawczyk O.; Eichhammer W.; Frietsch R.; (2006): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Leistungsfähigkeit der deutschen Umwelt- und Klimaschutzwirtschaft im internationalen Vergleich. Studie des NIW und des ISI im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA (Hrsg.): 16/06. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3031.pdf> (16.12.2023)
- NSF (2017): 2016 Business R&D and Innovation survey. <https://www.nsf.gov/statistics/srvyindustry/about/brdis/surveys/srvybrdis-2016-BRDI-1.pdf> (16.12.2023)
- NSF (2023): Business Enterprise Research and Development Survey (BERD). https://nces.nsf.gov/301/assets/0/files/nces_berd.pdf (03.04.2023)
- OECD Data (2022): Research and Development Statistics. <https://data.oecd.org/> (16.12.2023)
- Rammer, Ch.; Schubert, T.; Hünermund, P.; Köhler, M.; Iferd, Y.; Peters, B. (2016): Dokumentation zur Innovationserhebung 2015. Dokumentation Nr. 16-01. <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/docus/dokumentation1601.pdf> (16.12.2023)
- Rammer, C.; T. Schubert (2021): Dokumentation zur Innovationserhebung 2020. Geschäftsmodellinnovationen, Internationalisierung von Innovationsaktivitäten. <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/docus/dokumentation2101.pdf> (16.12.2023)
- Schasse, U.; Gehrke, B.; Belitz; H., Eckl, V.; Stenke, G. (2020): Forschung und Entwicklung in Staat und Wirtschaft. Deutschland im internationalen Vergleich, EFI (Hrsg.): Reihe Studien zum deutschen Innovationssystem, 02/2020. Berlin. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/214720/1/1691242144.pdf> (16.12.2023)
- Sievers, L.; Grimm, A. (2022): Innovationstätigkeit des Automobilssektors – Analyse mit Fokus auf nachhaltigen Antriebstechnologien und Digitalisierung. Studien zum deutschen Innovationssystem. Studien zum deutschen Innovationssystem, Nr. 8-2022, ISSN 1613-4338. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), Berlin
- Umweltbundesamt (2022): Umweltforschungsdatenbank UFORDAT. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/information-als-instrument/umweltforschungsdatenbank-ufordat>. (16.12.2023)
- Von Hirschhausen, C. (2022): Die weltpolitische Lage als Beschleuniger des Klimaschutzes. In: DIW Wochenbericht, Nr. 27/2022, DIW Berlin, Berlin. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.844929.de/22-27-3.pdf. (16.12.2023)
- Walz, R.; Ostertag, K.; Eckartz, K.; Gandenberger, C.; Bodenheimer, M.; Peuckert, J. (2019): Ökologische Innovationspolitik in Deutschland. Fachliche Grundlagen für einen deutschen Öko-Innovationsplan. Umwelt, Innovation, Beschäftigung 01/2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-innovationspolitik-in-deutschland> (16.12.2023)

A Methodischer Anhang

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

Tabelle 5: 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 Metal- len und minerali- schen 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) 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
Klimaschutz⁴⁵	CReMA 13A: Erneuerbare Energien
Technologielinien	Windkraft* Wasserkraft (inkl. Wellen- und Gezeitenkraft)* Solarthermie* Photovoltaik* Biomasse/Biogas Wärmepumpen Geothermie*
„adapted goods“	Feste Brennstoffe aus Abfallstoffen Bioethanol aus Korn*
Klimaschutz	Rationelle Energieumwandlung
Technologielinien	Blockheizkraftwerke/Kraft-Wärme-Kopplung* Gaskraftwerkstechnik* Brennstoffzellen (mit Fokus auf stationären Brennstoffzellen)*
„adapted goods“	keine
Klimaschutz	Rationelle Energieverwendung
Technologielinien	Erzeugnisse zum Wärmetausch Gebäudeisolation*
„adapted goods“	(keine, aber Teile von Gebäudeisolation könnte man auch hierunter fassen)
CEPA 4	Schutz und Sanierung von Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser
Technologielinien	Materialien zur Behandlung flüssiger Verunreinigungen Reinigen der Oberfläche offener Gewässer und Sanierung von Grundwasserkörpern Bodensanierung und Schutzeinrichtungen für Boden/Grundwasser
„adapted goods“	keine
CEPA 6	Arten- und Landschaftsschutz
Technologielinien	Nisthilfen Querungshilfen
„adapted goods“	keine

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

⁴⁵ * = Suchstrategie auf Basis der Y02-Klassifikation des EPA/USPTO

B Statistischer Anhang

Tabelle 6: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2009-2011	2014-2016	2019-2021	2009-2011	2014-2016	2019-2021
Deutschland						
Energieeffizienz	18,7	12,6	16,4	0,05	0,04	0,06
Erneuerbare Energien	32,0	21,8	20,5	0,08	0,06	0,07
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,0	2,1	7,0	0,01	0,01	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	4,4	9,9	9,9	0,01	0,03	0,04
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	3,1	5,2	5,0	0,01	0,02	0,02
nicht zugewiesen	0,0	21,0	23,4	0,00	0,06	0,08
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	62,2	72,7	82,2	0,16	0,22	0,30
Fossile Energieträger	4,8	3,8	2,2	0,01	0,01	0,01
Nuklearenergie	33,0	23,5	15,6	0,08	0,07	0,06
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,25	0,30	0,36
Frankreich						
Energieeffizienz	17,5	16,5	16,9	0,13	0,11	0,11
Erneuerbare Energien	14,3	16,3	12,4	0,10	0,11	0,08
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	6,1	3,8	4,0	0,04	0,02	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,3	4,8	5,2	0,02	0,03	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	4,2	6,4	8,5	0,03	0,04	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	45,5	47,7	46,9	0,33	0,31	0,30
Fossile Energieträger	12,4	7,4	3,0	0,09	0,05	0,02
Nuklearenergie	42,1	44,9	50,1	0,31	0,29	0,32
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,73	0,66	0,64
Vereinigtes Königreich						
Energieeffizienz	36,0	20,4	25,2	0,08	0,04	0,10
Erneuerbare Energien	28,0	21,7	12,9	0,07	0,04	0,05
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,3	3,2	3,9	0,01	0,01	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,9	10,3	7,7	0,01	0,02	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	4,3	9,5	13,5	0,01	0,02	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,7	1,5	0,00	0,00	0,01
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	76,5	65,8	64,9	0,18	0,14	0,26
Fossile Energieträger	10,3	9,6	3,7	0,02	0,02	0,01
Nuklearenergie	13,3	24,6	31,4	0,03	0,05	0,12
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,23	0,21	0,40
Italien						
Energieeffizienz	20,7	13,9	20,9	0,06	0,04	0,06
Erneuerbare Energien	20,9	17,1	19,7	0,06	0,05	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,8	2,6	1,9	0,01	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	12,3	21,3	8,0	0,03	0,06	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	7,9	10,4	11,8	0,02	0,03	0,03
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	66,7	65,4	62,4	0,19	0,19	0,18
Fossile Energieträger	15,4	18,1	21,4	0,04	0,05	0,06
Nuklearenergie	17,9	16,5	16,2	0,05	0,05	0,05
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,28	0,30	0,28
Spanien						
Energieeffizienz	16,3	12,7	15,2	0,03	0,01	0,01
Erneuerbare Energien	53,9	52,2	53,7	0,09	0,05	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,1	4,3	10,2	0,01	0,00	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	15,0	19,4	12,8	0,03	0,02	0,01
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	4,5	0,8	0,2	0,01	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,2	0,9	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	93,9	89,5	92,0	0,16	0,08	0,07
Fossile Energieträger	1,2	5,4	2,1	0,00	0,00	0,00
Nuklearenergie	5,0	4,9	5,0	0,01	0,00	0,00
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,17	0,09	0,08

2019 statt 2019-2021: Italien, 2019/20 statt 2019-2021: Frankreich, Großbritannien, Spanien.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 6: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2009-2011	2014-2016	2019-2021	2009-2011	2014-2016	2019-2021
Dänemark						
Energieeffizienz	11,5	23,5	20,3	0,07	0,11	0,08
Erneuerbare Energien	47,6	43,7	31,1	0,29	0,21	0,13
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	17,1	12,7	13,4	0,11	0,06	0,06
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	14,7	13,8	8,5	0,09	0,07	0,04
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	5,5	1,5	1,3	0,03	0,01	0,01
nicht zugewiesen	0,0	1,0	8,5	0,00	0,00	0,04
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	96,4	96,1	83,1	0,60	0,46	0,35
Fossile Energieträger	2,7	1,9	16,9	0,02	0,01	0,07
Nuklearenergie	1,0	2,0	0,0	0,01	0,01	0,00
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,62	0,48	0,42
Schweden						
Energieeffizienz	37,6	34,3	47,2	0,15	0,13	0,21
Erneuerbare Energien	40,0	28,5	19,0	0,16	0,11	0,08
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	1,5	1,1	1,0	0,01	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	6,9	8,7	6,5	0,03	0,03	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	9,6	13,0	15,2	0,04	0,05	0,07
nicht zugewiesen	0,0	13,0	8,1	0,00	0,05	0,04
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	95,7	98,6	97,1	0,38	0,38	0,43
Fossile Energieträger	0,2	0,5	2,2	0,00	0,00	0,01
Nuklearenergie	4,1	0,9	0,7	0,02	0,00	0,00
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,40	0,39	0,44
Norwegen						
Energieeffizienz	5,5	39,5	27,3	0,07	0,44	0,36
Erneuerbare Energien	19,8	16,1	31,2	0,24	0,18	0,41
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	3,2	1,6	10,0	0,04	0,02	0,13
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,6	4,3	7,5	0,04	0,05	0,10
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	3,8	2,5	1,9	0,05	0,03	0,03
nicht zugewiesen	0,0	0,1	0,2	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	35,9	64,1	78,1	0,43	0,71	1,02
Fossile Energieträger	61,5	33,0	21,5	0,74	0,36	0,28
Nuklearenergie	2,6	2,9	0,4	0,03	0,03	0,01
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	1,20	1,10	1,30
Finnland						
Energieeffizienz	49,1	58,0	54,9	0,65	0,59	0,35
Erneuerbare Energien	19,0	16,2	13,3	0,25	0,16	0,09
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	7,1	6,0	8,2	0,10	0,06	0,05
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	15,5	9,2	7,6	0,21	0,09	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	90,8	89,4	84,1	1,21	0,91	0,54
Fossile Energieträger	2,7	2,4	1,4	0,04	0,02	0,01
Nuklearenergie	6,4	8,2	14,5	0,09	0,08	0,09
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	1,33	1,02	0,64
Niederlande						
Energieeffizienz	39,3	27,4	47,9	0,15	0,07	0,17
Erneuerbare Energien	35,6	48,5	21,5	0,13	0,12	0,08
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	2,2	0,4	5,0	0,01	0,00	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	4,6	8,7	7,8	0,02	0,02	0,03
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	3,7	6,1	4,3	0,01	0,02	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	8,3	0,00	0,00	0,03
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	85,4	91,1	94,9	0,32	0,22	0,34
Fossile Energieträger	8,4	4,8	2,7	0,03	0,01	0,01
Nuklearenergie	6,2	4,1	2,4	0,02	0,01	0,01
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,37	0,25	0,36

2019/20 statt 2019-2021: Finnland, Niederlande.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 6: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2009-2011	2014-2016	2019-2021	2009-2011	2014-2016	2019-2021
Österreich						
Energieeffizienz	46,9	44,9	49,8	0,18	0,18	0,20
Erneuerbare Energien	29,6	20,6	14,8	0,11	0,08	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	2,5	3,2	5,9	0,01	0,01	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	10,9	24,8	17,4	0,04	0,10	0,07
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	6,7	3,9	10,0	0,03	0,02	0,04
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	96,6	97,4	97,9	0,36	0,39	0,38
Fossile Energieträger	0,8	1,6	1,0	0,00	0,01	0,00
Nuklearenergie	2,6	1,0	1,0	0,01	0,00	0,00
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,37	0,40	0,39
Schweiz						
Energieeffizienz	18,9	25,5	22,1	0,06	0,13	0,12
Erneuerbare Energien	26,4	27,1	28,9	0,09	0,14	0,15
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	9,1	8,3	6,5	0,03	0,04	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	8,3	12,8	17,0	0,03	0,07	0,09
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	7,7	7,3	8,9	0,03	0,04	0,05
nicht zugewiesen	0,0	0,2	0,8	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	70,4	81,2	84,2	0,24	0,42	0,44
Fossile Energieträger	5,6	3,6	2,6	0,02	0,02	0,01
Nuklearenergie	24,0	15,2	13,2	0,08	0,08	0,07
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,34	0,51	0,53
USA						
Energieeffizienz	21,0	21,9	27,7	0,10	0,07	0,11
Erneuerbare Energien	22,3	13,6	11,2	0,10	0,05	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,5	2,0	1,5	0,02	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	6,6	3,8	4,5	0,03	0,01	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	10,9	36,4	30,1	0,05	0,12	0,12
nicht zugewiesen	0,0	0,9	1,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	65,3	78,7	76,0	0,30	0,27	0,31
Fossile Energieträger	20,6	7,2	7,0	0,10	0,02	0,03
Nuklearenergie	14,1	14,1	17,1	0,07	0,05	0,07
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,46	0,34	0,40
Japan						
Energieeffizienz	8,6	16,5	25,1	0,06	0,10	0,14
Erneuerbare Energien	11,6	17,9	13,2	0,09	0,10	0,08
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	3,5	4,4	9,5	0,03	0,03	0,05
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	3,6	4,1	6,7	0,03	0,02	0,04
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,1	3,2	5,8	0,00	0,02	0,03
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	27,4	46,0	60,2	0,20	0,27	0,35
Fossile Energieträger	9,1	11,8	5,0	0,07	0,07	0,03
Nuklearenergie	63,5	42,2	34,8	0,47	0,24	0,20
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,74	0,58	0,57
Rep. Korea						
Energieeffizienz	17,0	18,2	19,7	0,08	0,07	0,08
Erneuerbare Energien	26,3	24,8	27,1	0,12	0,10	0,10
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	9,2	5,3	9,6	0,04	0,02	0,04
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	13,0	19,3	14,8	0,06	0,08	0,06
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	4,1	4,3	5,1	0,02	0,02	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	69,7	71,9	76,3	0,32	0,29	0,29
Fossile Energieträger	13,9	13,7	12,1	0,06	0,06	0,05
Nuklearenergie	16,4	14,4	11,6	0,07	0,06	0,04
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,45	0,40	0,38

2019/20 statt 2019-2021: Österreich.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 6: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Energiebereich in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %			in Relation zum BIP in ‰		
	2009-2011	2014-2016	2019-2021	2009-2011	2014-2016	2019-2021
Ungarn						
Energieeffizienz	93,7	22,9	36,8	0,83	0,03	0,08
Erneuerbare Energien	5,2	12,1	15,4	0,05	0,02	0,03
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	0,0	0,0	7,5	0,00	0,00	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	0,0	5,2	39,0	0,00	0,01	0,08
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,0	57,7	0,1	0,00	0,07	0,00
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	98,9	97,9	98,7	0,88	0,13	0,20
Fossile Energieträger	0,7	0,1	0,7	0,01	0,00	0,00
Nuklearenergie	0,4	2,0	0,5	0,00	0,00	0,00
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,89	0,13	0,20
Tschechische Rep.						
Energieeffizienz	16,7	7,0	..	0,04	0,02	0,08
Erneuerbare Energien	19,1	12,7	..	0,05	0,03	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	1,2	2,8	..	0,00	0,01	0,03
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	14,8	12,5	..	0,04	0,03	0,06
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	6,7	7,2	..	0,02	0,02	0,08
nicht zugewiesen	0,0	0,0	..	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	58,5	42,2	..	0,15	0,11	0,29
Fossile Energieträger	7,1	9,7	..	0,02	0,03	0,04
Nuklearenergie	34,3	48,1	..	0,09	0,13	0,15
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	..	0,25	0,27	0,47
Polen						
Energieeffizienz	35,9	15,8	18,7	0,12	0,03	0,03
Erneuerbare Energien	19,3	19,6	14,8	0,07	0,03	0,02
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	2,8	1,5	2,2	0,01	0,00	0,00
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	13,3	16,9	14,6	0,05	0,03	0,02
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	0,7	2,2	12,6	0,00	0,00	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	5,0	0,00	0,00	0,01
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	72,0	55,9	67,8	0,24	0,10	0,11
Fossile Energieträger	24,5	28,5	25,4	0,08	0,05	0,04
Nuklearenergie	3,5	15,6	6,8	0,01	0,03	0,01
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,34	0,17	0,16
Kanada						
Energieeffizienz	12,9	15,5	31,3	0,08	0,06	0,17
Erneuerbare Energien	14,8	14,8	11,5	0,09	0,06	0,06
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	4,9	1,9	2,3	0,03	0,01	0,01
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	6,8	13,6	16,7	0,04	0,06	0,09
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	3,4	2,1	3,4	0,02	0,01	0,02
nicht zugewiesen	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	42,8	48,0	65,2	0,27	0,20	0,35
Fossile Energieträger	32,9	34,3	21,4	0,21	0,14	0,11
Nuklearenergie	24,3	17,7	13,4	0,16	0,07	0,07
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,64	0,41	0,54
Belgien						
Energieeffizienz	21,6	30,0	37,2	0,06	0,12	0,21
Erneuerbare Energien	8,3	12,0	7,0	0,02	0,05	0,04
Wasserstoff- und Brennstoffzellen	0,7	1,1	4,0	0,00	0,00	0,02
Sonst. Stromerzeugungs- und Speichertechnologien	7,2	6,8	8,6	0,02	0,03	0,05
Querschnittsthemen (z. B. Energiesystemanalyse)	1,4	1,7	2,7	0,00	0,01	0,01
nicht zugewiesen	0,0	0,9	0,2	0,00	0,00	0,00
<i>Zukunftsorientierte Technologien insg.</i>	39,2	52,5	59,7	0,11	0,21	0,33
Fossile Energieträger	0,0	0,8	1,1	0,00	0,00	0,01
Nuklearenergie	60,8	46,7	39,2	0,17	0,19	0,22
<i>Insgesamt</i>	100,0	100,0	100,0	0,28	0,40	0,55

2010/11 statt 2009-2011: Belgien.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Tabelle 7: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Deutschland				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,08	0,07
Solarenergie	31,7	41,5	0,03	0,03
Windenergie	17,5	30,6	0,01	0,02
Meeresenergie	0,4	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	15,6	20,2	0,01	0,01
Geothermische Energie	6,8	7,1	0,01	0,01
Hydroelektrizität	0,4	0,6	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	13,1	0,0	0,01	0,00
nicht zugewiesen	14,6	0,0	0,01	0,00
Frankreich				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,10	0,08
Solarenergie	41,2	37,9	0,04	0,03
Windenergie	4,1	10,1	0,00	0,01
Meeresenergie	2,3	4,9	0,00	0,00
Bioenergie	45,5	34,8	0,05	0,03
Geothermische Energie	2,4	6,0	0,00	0,00
Hydroelektrizität	1,4	1,4	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,6	4,6	0,00	0,00
nicht zugewiesen	1,3	0,3	0,00	0,00
Vereinigtes Königreich				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,07	0,05
Solarenergie	16,4	31,4	0,01	0,02
Windenergie	26,4	15,4	0,02	0,01
Meeresenergie	12,6	14,4	0,01	0,01
Bioenergie	26,7	11,1	0,02	0,01
Geothermische Energie	1,6	1,1	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,1	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,3	17,8	0,00	0,01
nicht zugewiesen	15,8	8,7	0,01	0,00
Italien				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,06	0,06
Solarenergie	31,3	27,4	0,02	0,02
Windenergie	4,3	0,8	0,00	0,00
Meeresenergie	1,7	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	19,2	8,3	0,01	0,00
Geothermische Energie	4,5	6,6	0,00	0,00
Hydroelektrizität	3,2	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	5,2	16,9	0,00	0,01
nicht zugewiesen	30,5	40,0	0,02	0,02
Spanien				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,09	0,04
Solarenergie	35,1	27,7	0,03	0,01
Windenergie	19,5	39,5	0,02	0,02
Meeresenergie	2,0	1,9	0,00	0,00
Bioenergie	29,0	12,2	0,03	0,01
Geothermische Energie	2,2	0,3	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,1	2,2	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,0	0,3	0,00	0,00
nicht zugewiesen	12,1	15,9	0,01	0,01

2019/20 statt 2019-2021: Finnland, Niederlande.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 7: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Dänemark				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,29	0,13
Solarenergie	12,7	6,1	0,04	0,01
Windenergie	34,7	45,6	0,10	0,06
Meeresenergie	4,3	5,2	0,01	0,01
Bioenergie	43,4	39,5	0,13	0,05
Geothermische Energie	1,0	0,0	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,1	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	3,8	1,1	0,01	0,00
nicht zugewiesen	0,1	2,5	0,00	0,00
Schweden				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,16	0,08
Solarenergie	11,1	19,3	0,02	0,02
Windenergie	9,1	9,2	0,01	0,01
Meeresenergie	9,4	11,2	0,01	0,01
Bioenergie	67,5	45,6	0,11	0,04
Geothermische Energie	0,0	2,2	0,00	0,00
Hydroelektrizität	1,9	6,6	0,00	0,01
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,1	0,2	0,00	0,00
nicht zugewiesen	0,0	5,7	0,00	0,00
Norwegen				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,24	0,41
Solarenergie	23,2	5,9	0,06	0,02
Windenergie	31,4	59,2	0,08	0,24
Meeresenergie	12,4	0,1	0,03	0,00
Bioenergie	13,4	13,9	0,03	0,06
Geothermische Energie	0,0	1,0	0,00	0,00
Hydroelektrizität	15,8	5,0	0,04	0,02
sonstige erneuerbare Energiequellen	0,0	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	3,8	14,9	0,01	0,06
Finnland				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,25	0,09
Solarenergie	9,4	27,9	0,02	0,02
Windenergie	19,7	7,6	0,05	0,01
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	65,1	59,4	0,17	0,05
Geothermische Energie	0,0	0,0	0,00	0,00
Hydroelektrizität	2,9	0,3	0,01	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	1,8	0,0	0,00	0,00
nicht zugewiesen	1,0	4,8	0,00	0,00
Niederlande				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,13	0,08
Solarenergie	34,5	26,7	0,05	0,02
Windenergie	20,3	49,3	0,03	0,04
Meeresenergie	0,5	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	37,9	12,2	0,05	0,01
Geothermische Energie	0,8	11,5	0,00	0,01
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen	5,9	0,2	0,01	0,00
nicht zugewiesen	0,2	0,0	0,00	0,00

2019/20 statt 2019-2021: Finnland, Niederlande.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 7: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Österreich				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,11	0,06
Solarenergie	39,2	31,1	0,04	0,02
Windenergie	4,0	4,7	0,00	0,00
Meeresenergie	0,2	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	48,4	45,4	0,05	0,03
Geothermische Energie	1,0	1,2	0,00	0,00
Hydroelektrizität	4,2	13,2	0,00	0,01
sonstige erneuerbare Energiequellen nicht zugewiesen	1,9 0,9	0,6 3,8	0,00 0,00	0,00 0,00
Schweiz				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,09	0,15
Solarenergie	59,9	38,5	0,05	0,06
Windenergie	4,2	5,9	0,00	0,01
Meeresenergie	0,0	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	15,2	22,0	0,01	0,03
Geothermische Energie	11,4	18,7	0,01	0,03
Hydroelektrizität	6,9	14,9	0,01	0,02
sonstige erneuerbare Energiequellen nicht zugewiesen	1,5 0,9	0,0 0,0	0,00 0,00	0,00 0,00
USA				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,10	0,04
Solarenergie	24,3	40,6	0,03	0,02
Windenergie	7,4	10,6	0,01	0,00
Meeresenergie	1,8	0,0	0,00	0,00
Bioenergie	49,3	26,6	0,05	0,01
Geothermische Energie	10,2	8,8	0,01	0,00
Hydroelektrizität	1,6	13,3	0,00	0,01
sonstige erneuerbare Energiequellen nicht zugewiesen	5,3 0,0	0,0 0,0	0,01 0,00	0,00 0,00
Japan				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,09	0,08
Solarenergie	20,8	9,1	0,02	0,01
Windenergie	6,2	47,0	0,01	0,04
Meeresenergie	0,0	1,8	0,00	0,00
Bioenergie	16,2	21,0	0,01	0,02
Geothermische Energie	0,0	4,9	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,0	0,0	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen nicht zugewiesen	56,8 0,0	4,9 11,4	0,05 0,00	0,00 0,01
Rep. Korea				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100,0	100,0	0,12	0,10
Solarenergie	50,7	38,4	0,06	0,04
Windenergie	24,8	36,6	0,03	0,04
Meeresenergie	4,0	0,7	0,00	0,00
Bioenergie	7,2	14,0	0,01	0,01
Geothermische Energie	4,0	1,4	0,00	0,00
Hydroelektrizität	0,4	1,5	0,00	0,00
sonstige erneuerbare Energiequellen nicht zugewiesen	4,8 4,1	5,4 2,0	0,01 0,00	0,01 0,00

2019/20 statt 2019-2021: Österreich.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 7: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich erneuerbarer Energien in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Ungarn				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100.0	100.0	0.05	0.03
Solarenergie	0.0	49.1	0.00	0.02
Windenergie	2.0	0.1	0.00	0.00
Meeresenergie	0.0	0.0	0.00	0.00
Bioenergie	98.0	39.1	0.05	0.01
Geothermische Energie	0.0	10.7	0.00	0.00
Hydroelektrizität	0.0	0.0	0.00	0.00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0.0	0.4	0.00	0.00
nicht zugewiesen	0.0	0.5	0.00	0.00
Tschechische Rep.				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100.0	100.0	0.05	0.04
Solarenergie	8.9	13.2	0.00	0.01
Windenergie	0.1	3.2	0.00	0.00
Meeresenergie	0.0	0.0	0.00	0.00
Bioenergie	75.3	66.8	0.04	0.03
Geothermische Energie	3.2	5.1	0.00	0.00
Hydroelektrizität	7.8	2.9	0.00	0.00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0.3	0.0	0.00	0.00
nicht zugewiesen	4.4	8.9	0.00	0.00
Polen				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100.0	100.0	0.07	0.02
Solarenergie	25.5	49.3	0.02	0.01
Windenergie	3.9	4.4	0.00	0.00
Meeresenergie	0.0	0.3	0.00	0.00
Bioenergie	36.5	16.3	0.02	0.00
Geothermische Energie	0.2	3.8	0.00	0.00
Hydroelektrizität	29.6	3.1	0.02	0.00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0.1	9.2	0.00	0.00
nicht zugewiesen	4.1	13.6	0.00	0.00
Kanada				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100.0	100.0	0.09	0.06
Solarenergie	15.7	17.4	0.01	0.01
Windenergie	9.6	5.8	0.01	0.00
Meeresenergie	7.4	2.2	0.01	0.00
Bioenergie	40.6	47.0	0.04	0.03
Geothermische Energie	1.4	6.8	0.00	0.00
Hydroelektrizität	21.5	12.9	0.02	0.01
sonstige erneuerbare Energiequellen	3.6	4.3	0.00	0.00
nicht zugewiesen	0.1	3.6	0.00	0.00
Belgien				
<i>Erneuerbare Energien</i>	100.0	100.0	0.02	0.04
Solarenergie	42.9	41.1	0.01	0.02
Windenergie	34.2	30.9	0.01	0.01
Meeresenergie	0.2	0.8	0.00	0.00
Bioenergie	18.0	13.7	0.00	0.01
Geothermische Energie	3.4	4.0	0.00	0.00
Hydroelektrizität	0.4	1.6	0.00	0.00
sonstige erneuerbare Energiequellen	0.5	0.0	0.00	0.00
nicht zugewiesen	0.4	7.8	0.00	0.00

2010/11 statt 2009-2011: Belgien. - Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Tabelle 8: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Deutschland				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.05	0.06
Industrie	14.3	33.9	0.01	0.02
Gebäude	15.3	38.9	0.01	0.02
Verkehr	9.8	19.0	0.00	0.01
sonstige Energieeffizienz	28.4	6.5	0.01	0.00
nicht zugewiesen	32.3	1.7	0.02	0.00
Frankreich				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.13	0.11
Industrie	9.4	10.2	0.01	0.01
Gebäude	24.6	11.0	0.03	0.01
Verkehr	57.3	69.7	0.07	0.07
sonstige Energieeffizienz	8.5	8.9	0.01	0.01
nicht zugewiesen	0.2	0.2	0.00	0.00
Vereinigtes Königreich				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.08	0.10
Industrie	3.2	9.4	0.00	0.01
Gebäude	18.8	16.9	0.02	0.02
Verkehr	66.6	59.1	0.06	0.06
sonstige Energieeffizienz	3.5	2.8	0.00	0.00
nicht zugewiesen	7.9	11.7	0.01	0.01
Italien				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.06	0.06
Industrie	5.3	20.7	0.00	0.01
Gebäude	26.7	13.6	0.02	0.01
Verkehr	8.9	11.5	0.01	0.01
sonstige Energieeffizienz	8.9	19.9	0.01	0.01
nicht zugewiesen	50.1	34.2	0.03	0.02
Spanien				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.03	0.01
Industrie	2.1	58.1	0.00	0.01
Gebäude	23.2	14.9	0.01	0.00
Verkehr	4.3	14.5	0.00	0.00
sonstige Energieeffizienz	0.0	3.6	0.00	0.00
nicht zugewiesen	70.4	8.9	0.02	0.00
Dänemark				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.07	0.08
Industrie	20.8	24.6	0.01	0.02
Gebäude	44.9	26.8	0.03	0.02
Verkehr	18.6	26.1	0.01	0.02
sonstige Energieeffizienz	15.7	22.5	0.01	0.02
nicht zugewiesen	0.0	0.0	0.00	0.00
Schweden				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.15	0.21
Industrie	12.8	22.9	0.02	0.05
Gebäude	11.8	16.6	0.02	0.03
Verkehr	70.8	58.6	0.11	0.12
sonstige Energieeffizienz	4.6	1.8	0.01	0.00
nicht zugewiesen	0.0	0.1	0.00	0.00
Norwegen				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.07	0.36
Industrie	34.4	50.6	0.02	0.18
Gebäude	26.6	13.9	0.02	0.05
Verkehr	36.9	23.5	0.02	0.08
sonstige Energieeffizienz	2.1	0.4	0.00	0.00
nicht zugewiesen	0.0	11.7	0.00	0.04
Finnland				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.65	0.35
Industrie	44.8	25.2	0.29	0.09
Gebäude	23.5	14.2	0.15	0.05
Verkehr	19.2	48.0	0.13	0.17
sonstige Energieeffizienz	12.5	12.7	0.08	0.04
nicht zugewiesen	0.0	0.0	0.00	0.00
Niederlande				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.15	0.17
Industrie	28.7	54.9	0.04	0.10
Gebäude	22.5	15.2	0.03	0.03
Verkehr	9.8	15.6	0.01	0.03
sonstige Energieeffizienz	39.0	14.3	0.06	0.02
nicht zugewiesen	0.0	0.0	0.00	0.00

2019 statt 2019-2021: Italien, 2019/20 statt 2019-2021: Frankreich, Großbritannien, Spanien, Finnland, Niederlande.

Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Noch Tabelle 8: Öffentliche Haushaltsansätze für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte (RD&D) im Bereich Energieeffizienz in ausgewählten Ländern

	Gruppenanteile in %		in Relation zum BIP in ‰	
	2009-2011	2019-2021	2009-2011	2019-2021
Österreich				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.18	0.20
Industrie	13.3	16.9	0.02	0.03
Gebäude	31.9	17.2	0.06	0.03
Verkehr	47.5	36.6	0.08	0.07
sonstige Energieeffizienz	6.9	26.5	0.01	0.05
nicht zugewiesen	0.4	2.7	0.00	0.01
Schweiz				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.06	0.12
Industrie	15.9	14.8	0.01	0.02
Gebäude	39.6	38.2	0.03	0.04
Verkehr	31.9	37.7	0.02	0.04
sonstige Energieeffizienz	11.3	8.6	0.01	0.01
nicht zugewiesen	1.3	0.7	0.00	0.00
USA				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.10	0.11
Industrie	31.2	15.5	0.03	0.02
Gebäude	11.9	11.2	0.01	0.01
Verkehr	49.6	72.5	0.05	0.08
sonstige Energieeffizienz	7.2	0.0	0.01	0.00
nicht zugewiesen	0.0	0.8	0.00	0.00
Japan				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.06	0.14
Industrie	29.0	51.5	0.02	0.07
Gebäude	32.3	7.3	0.02	0.01
Verkehr	18.9	18.5	0.01	0.03
sonstige Energieeffizienz	19.8	1.9	0.01	0.00
nicht zugewiesen	0.0	20.9	0.00	0.03
Rep. Korea				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.08	0.08
Industrie	53.1	27.0	0.04	0.02
Gebäude	30.1	19.1	0.02	0.01
Verkehr	16.9	12.2	0.01	0.01
sonstige Energieeffizienz	0.0	32.2	0.00	0.02
nicht zugewiesen	0.0	9.5	0.00	0.01
Ungarn				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.83	0.08
Industrie	48.2	7.5	0.40	0.01
Gebäude	18.4	40.8	0.15	0.03
Verkehr	28.4	29.1	0.24	0.02
sonstige Energieeffizienz	5.0	21.0	0.04	0.02
nicht zugewiesen	0.0	1.6	0.00	0.00
Tschechische Rep.				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.04	0.08
Industrie	35.2	52.5	0.01	0.04
Gebäude	6.7	12.7	0.00	0.01
Verkehr	56.3	23.6	0.02	0.02
sonstige Energieeffizienz	1.8	9.7	0.00	0.01
nicht zugewiesen	0.0	1.4	0.00	0.00
Polen				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.12	0.03
Industrie	35.3	31.9	0.04	0.01
Gebäude	8.2	20.6	0.01	0.01
Verkehr	53.4	12.9	0.06	0.00
sonstige Energieeffizienz	1.2	28.7	0.00	0.01
nicht zugewiesen	1.8	5.9	0.00	0.00
Kanada				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.08	0.17
Industrie	34.1	26.7	0.03	0.04
Gebäude	21.0	16.6	0.02	0.03
Verkehr	27.7	24.6	0.02	0.04
sonstige Energieeffizienz	17.1	25.6	0.01	0.04
nicht zugewiesen	0.0	6.6	0.00	0.01
Belgien				
<i>Energieeffizienz insg.</i>	100.0	100.0	0.06	0.21
Industrie	36.9	30.4	0.02	0.06
Gebäude	23.1	16.8	0.01	0.03
Verkehr	29.5	37.3	0.02	0.08
sonstige Energieeffizienz	3.3	14.3	0.00	0.03
nicht zugewiesen	7.1	1.2	0.00	0.00

2019/20 statt 2019-2021: Österreich, 2010/11 statt 2009-2011: Belgien. – Quelle: International Energy Agency (2022), Energy and Technology RD&D Budgets. Stand: 05/2022. Berechnungen des CWS.

Tabelle 9: Umweltbereiche in UFORDAT im Überblick

Verwendete Bezeichnung der <i>Umweltbereiche</i> in den Tabellen und Abbildungen in Kapitel 2.1.3	Kennung	Originalbezeichnung des <i>Umweltthemas</i> in UFORDAT
Energie	EN RO	Energie Rohstoffe
Klima	KL	Klima
Luft	LU	Luft
Natur- und Landschaft	NL	Natur- und Landschaft
Wasser/Gewässer	WA	Wasser, Gewässer
Boden	BO	Boden
Landwirtschaft/Ernährung/Genetik	LF GT	Land- und Forstwirtschaft/Ernährung Gentechnisch veränderte Organismen
Abfall	AB	Abfall
Schadstoffe	CH	Chemikalien/Schadstoffe
Strahlung	SR	Strahlung
Gesundheit	GE	Gesundheit
Verkehr/Lärm/Urbane Umwelt	VE LE UU	Verkehr Lärm/Erschütterung Urbane Umwelt
Recht/Politik/Wirtschaft	RE PO WI	Recht Politik Wirtschaft
Allgemeine und übergreifende Aspekte	AA BK SW IN UP	Allgemeine und übergreifende Aspekte Bildung und Kommunikation Sozialwissenschaftliche Aspekte Umweltinformatik Umweltprüfung und -bewertung

Quelle: Umweltbundesamt (2022), UFORDAT (Stand: Juli 2022). Zusammenstellung des CWS.

Tabelle 10: Patentanteile ausgewählter Länder und der EU-28 im Bereich Klimaschutz (2016-2020)

	Erneuerbare Energien	Rationelle Energieumwandlung	Rationelle Energieverwendung	Klimaschutz (Alle Technologien)
Japan	12,4%	17,0%	23,6%	15,8%
USA	13,0%	21,8%	15,5%	13,9%
Deutschland	13,0%	13,1%	11,1%	12,4%
China	17,2%	5,8%	8,7%	14,6%
Korea	8,5%	4,9%	4,5%	7,3%
Frankreich	4,2%	2,0%	9,4%	5,5%
Dänemark	7,8%	3,1%	1,8%	4,1%
Großbritannien	3,1%	2,3%	2,3%	2,8%
Italien	1,8%	3,8%	2,6%	2,1%
Schweiz	1,7%	3,9%	1,3%	1,6%
Kanada	1,1%	1,1%	1,5%	1,2%
Restliche Welt	16,3%	21,2%	17,8%	18,7%
EU-28	37,2%	38,6%	37,5%	37,2%

Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle 11: Patentanteile ausgewählter Länder bei Umwelttechnologien in Prozent (2016-2020)

	Deutschland	USA	Japan	China	Korea	Schweiz	Kanada	EU-28 (ohne GER)	Restl. Welt
Umwelt (alle Technologien)	12,4	16,6	16,4	13,6	6,7	1,6	1,8	21,4	9,5
Luftreinhaltung	15,4	15,8	19,3	14,6	6,3	1,4	1,2	18,6	7,4
Lärmschutz	11,8	18,5	23,4	6,5	4,0	2,7	2,0	24,2	7,0
Abwasser (CEPA 2)	10,8	18,9	17,2	15,2	6,6	1,6	2,2	17,0	10,4
Wassermanagement (CReMA 10)	7,9	17,7	17,3	14,9	8,0	1,5	2,0	16,5	14,2
Sanierung (CEPA 4)	6,1	17,5	5,6	21,2	7,3	1,5	3,9	25,0	11,9
Abfallwirtschaft (CEPA 3)	11,6	17,8	16,6	13,2	6,2	1,9	2,2	19,8	10,7
davon: Abfall	7,6	13,1	16,0	19,6	5,7	1,2	3,1	24,3	9,5
davon: Recycling allgemein	13,5	19,2	17,8	11,2	5,3	1,9	2,0	18,0	10,9
Kunststoffrecycling (CReMA 13C)	12,5	18,8	9,3	5,1	3,6	1,3	3,5	30,2	15,7
Metall/Mineralstoffrecycling (CReMA 14)	17,7	15,3	12,4	15,2	5,3	1,0	2,9	18,8	11,4
Recycling (alle Technologien)	14,2	18,5	15,8	11,3	5,0	1,7	2,4	19,6	11,6
MSR	12,7	20,7	12,2	12,4	7,9	1,6	2,3	21,9	8,4
Klimaschutz (alle Technologien)	12,4	13,9	15,8	14,6	7,3	1,6	1,2	24,7	8,5
davon: Rationelle Energieverwendung	11,1	15,5	23,6	8,7	4,5	1,3	1,5	26,4	7,5
davon: Rationelle Energieumwandlung	13,1	21,8	17,0	5,8	4,9	3,9	1,1	25,6	6,9
davon: Erneuerbare Energien	13,0	13,0	12,4	17,2	8,5	1,7	1,1	24,3	8,9

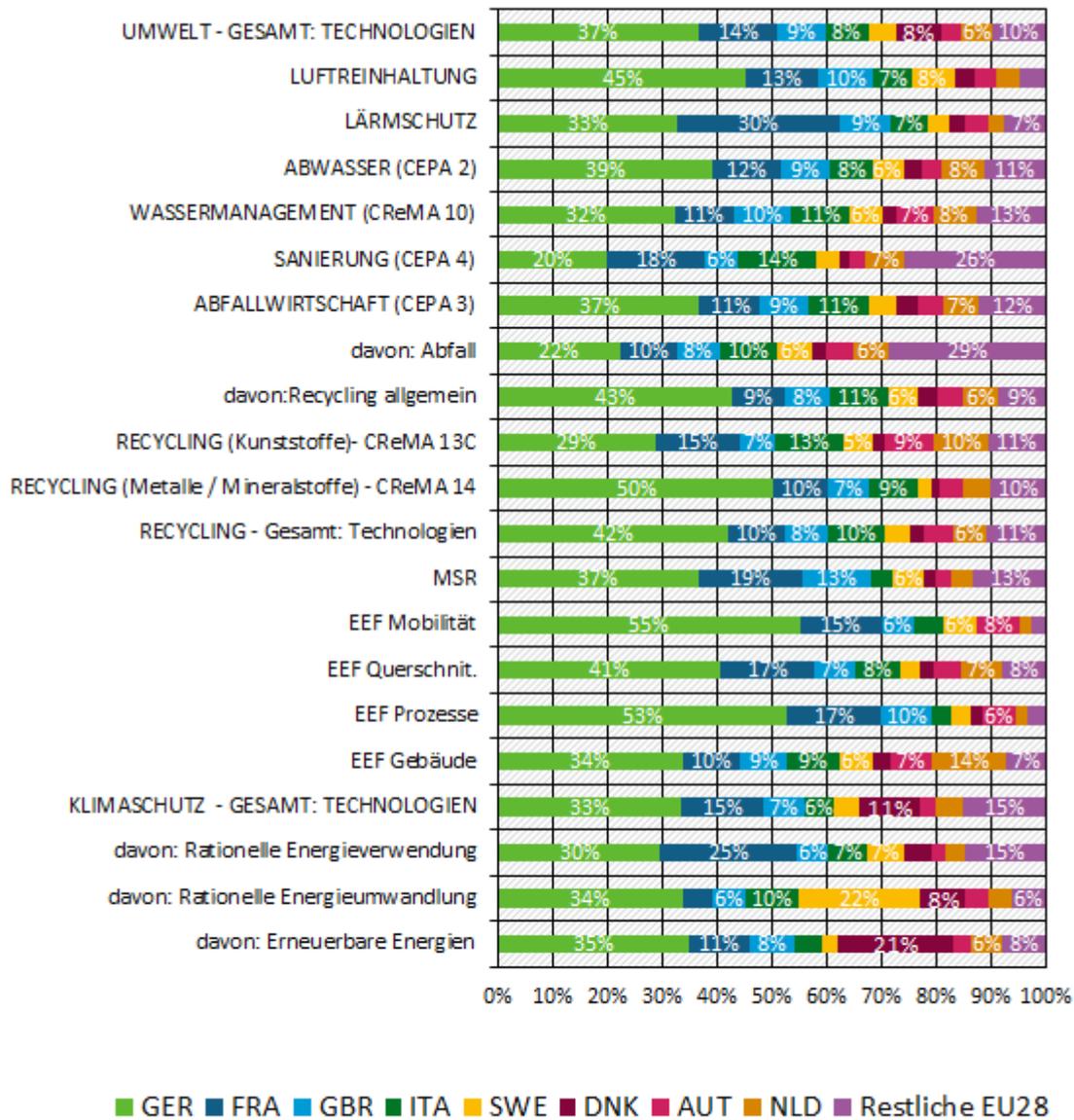
Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle 12: Patentanteile ausgewählter Länder bei den neuen Energieeffizienzbereichen in Prozent (2016-2020)

	Deutschland	USA	Japan	China	Korea	Schweiz	Kanada	EU-28 (ohne GER)	Restl. Welt
EEF Energiesystem	10,5	12,2	29,5	16,5	16,3	0,7	1,1	9,4	3,8
Querschnittstechnologien	12,9	13,8	26,9	12,2	6,5	1,4	1,2	18,7	6,5
EEF Industrie	17,4	18,4	13,1	11,9	2,9	1,2	2,4	21,0	11,8
EEF Gebäude+Geräte	10,7	14,2	15,5	20,0	8,5	1,6	1,1	21,1	7,1
Energieeffiziente Mobilität	22,0	10,9	21,0	15,0	4,9	1,7	1,0	17,9	5,6

Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung 32: Patentanteile innerhalb der EU-28 für Umweltechnologien und ihre Teilbereiche (2016-2020)



Quelle: Patstat 23a, Berechnungen des Fraunhofer ISI.