

Agora  
Energiewende



Agora  
Industrie



Agora  
Agrar



Agora  
Verkehrswende



STUDIE

# Klimaneutrales Deutschland

Von der Zielsetzung zur Umsetzung

prognos

Öko-Institut e.V.  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

Wuppertal  
Institut

UNI KASSEL  
VERSITÄT

→ **Bitte zitieren als:**

Agora Think Tanks (2024): Klimaneutrales Deutschland. Von der Zielsetzung zur Umsetzung.

**Studie**

Klimaneutrales Deutschland.  
Von der Zielsetzung zur Umsetzung.

**Erstellt von**

Agora Think Tanks  
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin  
T +49 (0)30 700 14 35-000  
www.agora-thinktanks.org  
info@agora-thinktanks.org

**Autorinnen und Autoren**

Lea Nesselhauf, Dr. Corinna Fischer, Simon Müller, Philipp Godron, Fabian Huneke, Mathias Koch, Niels Wauer, Uta Weiß (alle Agora Energiewende); Dr. Julia Metz, Paul Münnich (alle Agora Industrie); Arnaud Brizay, Dr. Christine Chemnitz, Dr. Wilhelm Klümper (alle Agora Agrar); Dr. Carl-Friedrich Elmer, Marion Vieweg, Johanna Wietschel (alle Agora Verkehrswende)

**Die Szenario-Modellierung und die Berechnung der Investitionsbedarfe wurden durchgeführt von:**

**Prognos AG**  
Goethestraße 85 | 10623 Berlin  
Elias Althoff, Hans Dambeck, Dr. Andreas Kemmler, Purnima Kulkarni, Sven Kreidelmeyer, Saskia Lengning, Melina Lohmann, Sebastian Lübbers, Dr. Fabian Muralter, Dr. Alexander Piégsa, Nils Thamling, Minh Phuong Vu, Aurel Wunsch, Marco Wunsch, Inka Ziegenhagen

**Öko-Institut e. V.**

Borkumstraße 2 | 13189 Berlin  
Wolf Kristian Görz, Konstantin Kreye, Dr. Klaus Hennenberg, Peter Kasten, Mirjam Pfeiffer, Margarethe Scheffler, Dennis Seibert, Kirsten Wiegmann

**Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH**

Döppersberg 19 | 42103 Wuppertal  
Dr. Georg Holtz, Dr. Sascha Samadi, Ylva Kloo, Süheyb Bilici, Mathieu Saurat, Annika Tönjes

**Universität Kassel**

Mönchebergstraße 19 | 34109 Kassel  
Dr. Clemens Schneider, Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer

Prognos war federführend für die übergreifende Ausgestaltung der Szenarien, die inhaltliche Gesamtprojektleitung und die Berechnung der Investitionsbedarfe zuständig. Darüber hinaus verantwortete Prognos die Sektoren Gebäude und Energiewirtschaft und Teile der nicht-energieintensiven Industrie. Das Öko-Institut war zuständig für Verkehr, Landwirtschaft, Abfall und LULUCF. Das Wuppertal Institut bearbeitete gemeinsam mit der Universität Kassel den Sektor Industrie.

Die Agora Think Tanks waren für die konkrete Ausgestaltung der Politikinstrumente und die Berechnung der öffentlichen Finanzbedarfe zuständig.

**Projektleitung**

Lea Nesselhauf | l.nesselhauf@agora-energiewende.de  
Dr. Corinna Fischer | corinna.fischer@agora-energiewende.de  
Inka Ziegenhagen | inka.ziegenhagen@prognos.com  
Marco Wunsch | marco.wunsch@prognos.com

**Danksagung**

Erst das Engagement vieler weiterer Kolleginnen und Kollegen hat diese Studie möglich gemacht. Für die tatkräftige Unterstützung bedanken möchten wir uns daher bei Joshua Grünberg, Katharina Hartz, Frank Jordans, Anna Kraus, Dr. Jahel Mielke, Aleksandar Nikolic, Julian Somers, Alexandra Steinhardt, Anja Werner (alle Agora Energiewende); Dr. Leandro Janke, Frank Peter (alle Agora Industrie); Christian Hochfeld, Dr. Philipp Prein, Dr. Wiebke Zimmer (alle Agora Verkehrswende).

## Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

Deutschland hat sich auf den Weg zur Klimaneutralität gemacht. Trotz wichtiger Erfolge, zum Beispiel beim Ausbau der Erneuerbaren Energien, stehen in der aktuellen Debatte vor allem die Herausforderungen im Vordergrund. Es stimmt: Die Verkehrswende und die klimaneutrale Modernisierung von Gebäuden bringen Veränderungen im Alltag von Bürgerinnen und Bürgern mit sich. Zugleich steht ein wachsender Teil der Wirtschaft vor großen, strukturellen Herausforderungen.

Mit dem Update unseres Szenarios „Klimaneutrales Deutschland“ tragen wir diesen Herausforderungen Rechnung und beschreiben mögliche

Lösungsstrategien. Unsere Analyse zeigt, wie eine mutige Strategie die Weichen für klimaneutrale Investitionen stellen kann. Sie benennt Eckpfeiler einer sozial gerechten Ausgestaltung und formuliert einen ausgewogenen Politikmix, der zum Ziel führt.

Der aufgezeigte Weg wird sicherlich nicht in allen Einzelheiten Realität werden. Doch die Studie bietet ein in sich schlüssiges Zukunftsbild und kann damit eine Grundlage für die notwendige lösungsorientierte Diskussion schaffen.

Wir wünschen eine angenehme Lektüre.

Simon Müller

*Direktor Deutschland, Agora Energiewende*

### → Ergebnisse auf einen Blick

- 1 **Der Weg zu einem klimaneutralen Deutschland braucht Planungs- und Investitionssicherheit.** Klimapolitik zeigt Wirkung: In der Energiewirtschaft sind die Emissionen seit 2014 um rund 40 Prozent gefallen. Gleichzeitig bringen die Verkehrswende, die Umstellung auf klimaneutrale Gebäude und die erforderliche strukturelle Erneuerung der Wirtschaft Herausforderungen mit sich. Verlässliche klima- und wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen sind entscheidend, um diese Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen.
- 2 **Klimaschutzinvestitionen fördern Innovation und verbessern die strukturelle Wettbewerbsfähigkeit.** Drei Viertel der bis 2045 erforderlichen Investitionen in Energie- und Verkehrsinfrastruktur, Industrieanlagen und Gebäude sind ohnehin nötig – hier gilt es, Finanzströme durch Preisanreize und Marktregulierung auf klimaneutrale Lösungen umzulenken. Zusätzliche Klimaschutzinvestitionen belaufen sich auf durchschnittlich drei Prozent des BIP. Viele dieser Investitionen sind wirtschaftlich, so finanzieren sich z. B. Erneuerbare Energien und Stromnetze zu 90 Prozent durch Markterlöse und Entgelte.
- 3 **Klimagerechtes Wohnen und Mobilität für alle erfordern einen flächendeckenden Infrastrukturausbau, gezielte Investitionsunterstützung und sozialen Ausgleich.** Im Szenario ist eine stärker sozial gestaffelte Förderung zur Gebäudesanierung hinterlegt; Kaufanreize für E-Pkw werden auf kleine und gebrauchte Pkw fokussiert und die ÖPNV-Infrastruktur ausgebaut. Diese Maßnahmen wirken langfristig – zur vorübergehenden Unterstützung werden jährlich 10 Milliarden Euro aus den CO<sub>2</sub>-Einnahmen für Ausgleichszahlungen genutzt.
- 4 **Ein ausgewogener Politikmix sichert eine erfolgreiche Umsetzung.** Ein einseitiger Fokus auf CO<sub>2</sub>-Preise, Marktregulierung, Förderung oder Infrastrukturausbau hat jeweils Nachteile. Eine Kombination hingegen ermöglicht Kosteneffizienz, Planungssicherheit und soziale Ausgewogenheit. Unabhängig von der genauen Zusammensetzung des Politikmixes erfordert der Weg zur Klimaneutralität eine gesamtgesellschaftliche Kraftanstrengung – und ermöglicht eine lebenswerte Zukunft für alle.

---

# Inhalt

---

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>14</b>
<b>2 Das Szenario im Überblick</b>	<b>16</b>
2.1 Gesamtinvestitionen und Klimaschutzinvestitionen	18
2.2 Politikoptionen für den Übergang zur Klimaneutralität	20
Preisbasierte Anreize	20
Marktregulierung	20
Infrastruktur	21
Finanzielle Unterstützung	21
2.3 Vom Instrument zum Paket: Gründe für eine Kombination verschiedener Politikinstrumente	22
<b>3 Die Sektoren im Detail</b>	<b>24</b>
3.1 Energiewirtschaft	24
2025 bis 2030: Der Sprint bis zum Jahr 2030	25
2030 bis 2040: Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Stromsystem	28
2040 bis 2045: Unterwegs zu netto Null und Negativemissionen	30
3.2 Industrie	31
2025 bis 2030: Strom löst Erdgas als zentralen Energieträger ab	32
2030 bis 2040: Das Ende der fossilen Ära	34
2040 bis 2045: Die Industrie als Netto-Kohlenstoffsенke	36
3.3 Gebäude	37
2025 bis 2030: Zügiger Einstieg in grüne Wärmeversorgung und Gebäudesanierung	38
2030 bis 2040: Verstetigung des Umbaus	41
2040 bis 2045: Der Gebäudesektor wird klimaneutral	42
3.4 Verkehr	43
2025 bis 2030: Der Verkehrsbereich holt auf	43
2030 bis 2040: Vom Sorgenkind zum Vorreiter	45
2040 bis 2045: Klimaschutz kommt an	47
3.5 Landwirtschaft	48
2025 bis 2030: Veränderung beginnen	49
2030 bis 2040: Klima- und Biodiversitätsschutz als ökonomische Chance für die Landwirtschaft	50
2040 bis 2045: Nachhaltig und produktiv – die Zukunft der Landnutzung	51

3.6	LULUCF	53
	2025 bis 2030: Grundlagen für Veränderung schaffen	54
	2030 bis 2045: Die Kohlenstoffsinkenleistungen honorieren	56
<b>4</b>	<b>Querschnittsthemen</b>	<b>58</b>
4.1	Biomasse	58
4.2	Wasserstoff und strombasierte Energieträger	60
4.3	Carbon Management und Carbon Capture and Storage (CCS)	62
	CCS ist ein notwendiger Baustein zur Erreichung von Klimaneutralität	62
	Carbon Management im Szenario	63
	Ausrichtung von Fördermitteln und der CO <sub>2</sub> -Infrastruktur an den Kernbereichen	65
<b>5</b>	<b>Investitionen und öffentliche Förderbedarfe</b>	<b>66</b>
5.1	Energiewirtschaft und -infrastruktur	66
	Investitionsbedarfe	67
	Ermöglichung von Investitionen	68
	Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen	68
	Ermöglichung von Investitionen in Energieinfrastrukturen	69
5.2	Industrie	69
	Investitionsbedarfe	70
	Ermöglichung von Investitionen	70
	Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen	70
5.3	Gebäude	71
	Investitionsbedarfe	71
	Ermöglichung von Investitionen	72
	Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen	72
5.4	Verkehr	73
	Investitionsbedarfe	73
	Ermöglichung von Investitionen	74
	Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen	75
5.5	Landwirtschaft und LULUCF	75
<b>6</b>	<b>Sozial gerechte Ausgestaltung der Verkehrs- und Wärmewende</b>	<b>77</b>
6.1	Drei staatliche Handlungsfelder für eine sozial gerechte Verkehrs- und Wärmewende	77
	Bereitstellung von Infrastruktur	78
	Marktregulierung	78
	Finanzielle Unterstützung	78
<b>Anhang</b>		
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>83</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>BECCS</b>	Bioenergy with Carbon Capture and Storage (Bioenergie mit CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung)
<b>BEG</b>	Bundesförderung für effiziente Gebäude
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle (Elektrofahrzeug mit batterieelektrischem Antrieb)
<b>BEW</b>	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
<b>BIP</b>	Bruttoinlandsprodukt
<b>CBAM</b>	Carbon Border Adjustment Mechanism (europäischer Grenzausgleichsmechanismus)
<b>CCS</b>	Carbon Capture and Storage (CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung)
<b>CCU</b>	Carbon Capture and Utilization (CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Nutzung)
<b>CDR</b>	Carbon Dioxide Removal (CO <sub>2</sub> -Entnahme)
<b>DACCS</b>	Direct Air Carbon Capture and Storage (Direkte Kohlenstoffabscheidung aus der Luft und Speicherung)
<b>DRI(-Anlage)</b>	Direct Reduced Iron (direktreduziertes Eisen); Direktreduktionsanlage
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>EEG</b>	Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>EPBD</b>	Energy Performance of Buildings Directive (EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden)
<b>ETS I</b>	EU Emissions Trading System (Europäischer Emissionshandel für die Bereiche Energiewirtschaft, energieintensive Industrie, innereuropäischer Luftverkehr)
<b>ETS II</b>	EU Emissions Trading System for Buildings and road Transport (Europäisches Emissionshandelssystem für den Gebäude- und Transportsektor)
<b>FCEV</b>	Fuel Cell Electric Vehicles (Elektrofahrzeug mit Wasserstoff-Brennstoffzellen)
<b>GEG</b>	Gebäudeenergiegesetz
<b>GHD</b>	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
<b>GW/GWh</b>	Gigawatt/Gigawattstunden
<b>KMU</b>	Kleinstunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen
<b>KSG</b>	Bundes-Klimaschutzgesetz
<b>kW/kWh</b>	Kilowatt/Kilowattstunden
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>KWKG</b>	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
<b>LL-WP</b>	Luft-Luft-Wärmepumpen
<b>LULUCF</b>	Land Use, Land Use-Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
<b>LW-WP</b>	Luft-Wasser-Wärmepumpen
<b>Mha</b>	Megahektar
<b>Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq</b>	Millionen Tonnen CO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>MIV</b>	Motorisierter Individualverkehr
<b>MW/MWh</b>	Megawatt/Megawattstunden
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>ÖV</b>	Öffentlicher Verkehr
<b>PHH</b>	Private Haushalte
<b>PPAs</b>	Power Purchase Agreements
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>RED</b>	Renewable Energy Directive (Europäische Erneuerbare-Energien-Richtlinie)
<b>TW/TWh</b>	Terawatt/Terawattstunden
<b>WPG</b>	Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz)

## Zusammenfassung

### Deutschland ist von der klimapolitischen Zielsetzungs- in die Umsetzungsphase eingetreten

Im Frühjahr 2021 zeigte die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ erstmalig auf, wie Deutschland 2045 klimaneutral werden und dabei seine Wettbewerbsfähigkeit erhalten kann. Daraufhin hat die Große Koalition aus CDU/CSU und SPD dieses Ziel und eine Emissionsminderung von 65 Prozent gegenüber 1990 bis 2030 verbindlich im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) verankert. Deutschland ist von der Zielsetzungs- in die Umsetzungsphase eingetreten.

Diese Umsetzungsphase bringt jedoch neue Herausforderungen mit sich: Wie kann der Industriestandort Deutschland gleichzeitig klimaneutral werden und seine Wettbewerbsfähigkeit stärken? Was braucht es, damit die klimaneutrale Modernisierung von Gebäuden und nachhaltige Mobilität für alle erschwinglich und praktisch umsetzbar werden? Und wie kann das Potenzial von Land- und Forstwirtschaft zu Klimaschutz, Biodiversität und gesunder Ernährung voll gehoben werden?

Um diesen Fragen zu begegnen, beleuchtet „Klimaneutrales Deutschland – Von der Zielsetzung zur Umsetzung“ den Weg zur Klimaneutralität aus drei zentralen Perspektiven: Erstens zeigt die Szenario-Modellierung einen über alle Sektoren hinweg stimmigen und optimierten Pfad in Richtung Klimaneutralität auf. Zweitens werden die dafür notwendigen privaten und öffentlichen Investitionen detailliert berechnet und Förderbedarfe abgeleitet. Drittens ist das Szenario mit einem umfassenden Maßnahmenpaket verknüpft, das auf Basis einer ausgewogenen Mischung politischer Instrumente die notwendigen Investitionen ermöglicht und dabei sozialen Ausgleich und Teilhabe sichert.

### Zentrale Ergebnisse des Szenarios Klimaneutrales Deutschland entlang von fünf übergeordneten Zielen

Die zentralen Ergebnisse des Szenarios lassen sich entlang von fünf zentralen Zielbildern wie folgt zusammenfassen:



#### Günstige und zuverlässige Energieversorgung

Die Erneuerbaren Energien werden als günstigste Erzeugungsform bis 2045 auf 180 GW Onshore-Wind, 73 GW Offshore-Wind und 470 GW PV ausgebaut und dabei Einsparpotenziale beim Netzausbau gehoben. Die Stromnachfrage steigt von 525 TWh 2023 auf knapp 1.270 TWh 2045. Anreize zur Elektrifizierung stellen dabei sicher, dass Angebot und Nachfrage sich im Gleichtakt entwickeln und so die Kosten pro Kilowattstunde Strom bis 2030 mit 16 ct/kWh weitgehend konstant bleiben und danach bis 2045 auf weniger als 13 ct/kWh absinken. Eine beschleunigte Digitalisierung kombiniert mit preisbasierten Anreizen zur Flexibilisierung der Stromnachfrage und Speicher sichern eine zuverlässige und kostenoptimierte Versorgung. Insgesamt reduziert sich die Abhängigkeit von Energieimporten bis 2045 um rund 85 Prozent.



#### Impulse für eine innovative und wettbewerbsfähige Wirtschaft

Investitionen in klimaneutrale Verfahren und Produkte helfen der Wirtschaft aus der Krise, ermöglicht durch eine Mischung aus preisbasierten Anreizen und Förderung sowie Instrumenten zur Verbesserung der Planungssicherheit. Der Einsatz industrieller Wärmepumpen in Kombination mit Abwärme führt zu einer massiven Effizienzsteigerung und

ermöglicht so eine wettbewerbsfähige Wärmeversorgung der Industrie. Der Erdgasverbrauch sinkt bis zum Jahr 2040 bis 2045 auf nahe null, der Stromverbrauch verdoppelt sich gegenüber 2025 auf knapp 450 TWh. Es entstehen neue Wertschöpfungsketten, zum Beispiel indem bislang importierte fossile Rohstoffe in der Chemieindustrie durch im Inland nachhaltig angebaute Biomasse ersetzt werden. Im Jahr 2045 werden Netto-Negativemissionen in Höhe von 19 Mio. t CO<sub>2</sub> innerhalb des Industriesektors gebunden.



### Gesamtgesellschaftliche Teilhabe beim Wohnen

Die klimaneutrale Modernisierung von Gebäuden stärkt die Resilienz gegen Hitzewellen und führt gleichzeitig zu einer Wertsteigerung des Gebäudebestands. In der Wärmeversorgung steigt die Zahl jährlich neu an die Fernwärme angeschlossener Gebäude von aktuell 40.000 auf 90.000 im Jahr 2030. Ab dem Jahr 2028 werden jährlich 600.000–650.000 Wärmepumpen neu eingebaut, vor allem in Bestandsgebäuden. Das entspricht in etwa dem heutigen Absatz an Gaskesseln. Dabei stellt eine ausdifferenzierte und stärker am Bedarf ausgerichtete Förderkulisse sicher, dass Eigentümerinnen und Eigentümer sowie Mietende vor übermäßigen Kostensteigerungen geschützt bleiben. Wärmepumpen und CO<sub>2</sub>-freie Wärmenetze bilden das Rückgrat der Wärmeversorgung – Ausnahmen bestätigen die Regel. Bedarfsge rechter und bezahlbarer Wohnraum wird verstärkt im Bestand geschaffen.



### Saubere und zugängliche Mobilität für alle

Durch den Ausbau der Kapazitäten im öffentlichen Verkehr verbessert sich das Mobilitätsangebot für Bürgerinnen und Bürger und damit die Attraktivität ländlicher Räume. Gezielte Investitionshilfen erleichtern Menschen mit geringem Einkommen die Anschaffung effizienter E-Pkw, ein Mobilitätsgeld entlastet sie bereits kurzfristig. Eine geringere Schadstoff- und Lärmbelastung, mit Rad- und

Fußverkehr verbundene Bewegung und weniger versiegelte Flächen wirken sich positiv auf Gesundheit und Lebensqualität aus. Der Endenergiebedarf des Verkehrs liegt im Jahr 2045 bei knapp 280 TWh und beträgt damit weniger als die Hälfte des Endenergiebedarfs des Jahres 2023.



### Eine produktive und resiliente Land- und Forstwirtschaft

Die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft und landwirtschaftlich genutzten Mooren sinken substanziell. Auf landwirtschaftlichen Flächen wird mehr Kohlenstoff gespeichert und die Senkenleistung der Wälder stabilisiert. Diese Potenziale der Land- und Forstwirtschaft können dann mobilisiert werden, wenn die Beiträge zur Nachhaltigkeit durch veränderte politische Rahmenbedingungen zu einer ökonomischen Chance für Landwirtinnen und Landwirte werden. Außerdem bedarf es fairer Ernährungsumgebungen für Konsumentinnen und Konsumenten, die es ihnen leicht machen, sich gesund und nachhaltig zu ernähren.

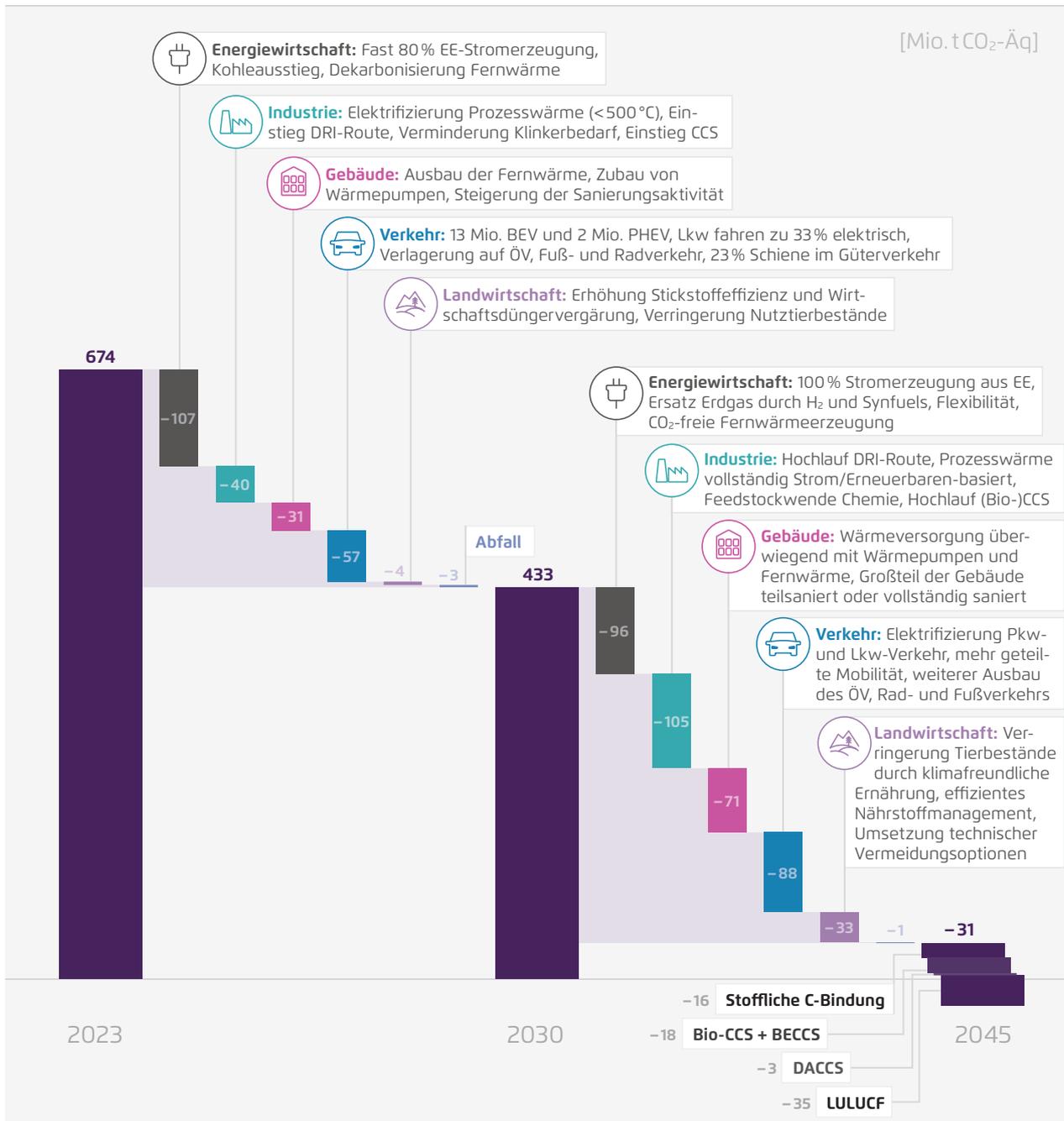
### Biomasse, Wasserstoff und CCS

Im Szenario hat die Nutzung von Biomasse-, Wasserstoff- und Carbon-Capture-and-Storage-Technologien eine klar priorisierte, entscheidende Bedeutung für die Erreichung der Klimaneutralität:

- Durch eine verstärkte Nutzung von Rest- und Abfallstoffen wird **Biomasse** bei einem leicht steigenden Angebot (286 TWh 2020 und 294 TWh 2045) nachhaltiger bereitgestellt als heute. Der stoffliche Einsatz, vor allem als nachhaltige Kohlenstoffquelle für die Kunststoffherstellung in der Industrie, gewinnt mit 74 TWh 2045 deutlich an Bedeutung. Die energetische gasförmige Nutzung reduziert sich von 87 TWh 2020 auf 41 TWh 2045, und die feste energetische Biomassenutzung sinkt von 201 auf 171 TWh.
- **Wasserstoff** kommt aus Kosten- und Effizienzgründen vor allem als saisonaler Energiespeicher im Stromsektor und in bestimmten

Maßnahmen im Szenario Klimaneutrales Deutschland 2024

→ Abb. A



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut, Öko-Institut und Universität Kassel (2024). BEV = Batterieelektrische Fahrzeuge; C = Kohlenstoff; CCS = Carbon Capture and Storage; DACCS = Direct Air Carbon Capture and Storage; DRI = Stahlproduktion: Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff und Erdgas; EE = Erneuerbare Energien; H<sub>2</sub> = Wasserstoff; LULUCF = Land Use, Land Use Change, and Forestry; ÖV = Öffentlicher Verkehr; PHEV = Plugin-Hybride

Industrieprozessen in der Stahl- und Chemie-industrie zum Einsatz. Die Wasserstoffnachfrage steigt bis 2045 auf knapp 270 TWh und wird überwiegend durch Importe gedeckt. Daneben werden 155 TWh flüssige wasserstoffbasierte

Kraftstoffe (*Power-to-Liquid*) vor allem im Flugverkehr und in einem deutlich geringeren Umfang in der Energiewirtschaft eingesetzt.  
 → **CCS** wird zum einen an verbleibenden **fossilen Punktquellen im Industrie- und Abfallsektor**

eingesetzt. Dazu zählen Prozessemissionen vor allem in der Zement- und Kalkproduktion, der nicht-biogene Anteil der Abfallverbrennung sowie CO<sub>2</sub>-Mengen, die beim chemischen Recycling von Kunststoffabfällen entstehen. Zum anderen kommt **CCS in Kombination mit biogenem CO<sub>2</sub> zum Einsatz**, um Restemissionen insbesondere aus der Landwirtschaft auszugleichen. Darüber hinaus wird in geringem Umfang CO<sub>2</sub> direkt aus der Umgebungsluft abgeschieden. Insgesamt beläuft sich die eingespeicherte Menge 2045 auf 45 Mio. t CO<sub>2</sub>.

### Resiliente Hochlaufpfade

Die letzten Jahre haben verdeutlicht, dass Probleme mit Lieferketten und unerwartete Hürden bei der Umsetzung den Übergang zur Klimaneutralität verzögern können. Resiliente Hochlaufpfade tragen diesen Unsicherheiten Rechnung. Daher enthält das Szenario unterschiedliche Sensitivitäten, beispielsweise zu einer breiteren Anwendung von CCS entlang eines CO<sub>2</sub>-Transportnetzes, einem stärkeren Import von Vorprodukten in der Industrie, einer geringeren Sanierungsaktivität oder einer Schwächung des Waldes als Kohlenstoffsenke aufgrund von Stürmen und Dürreperioden.

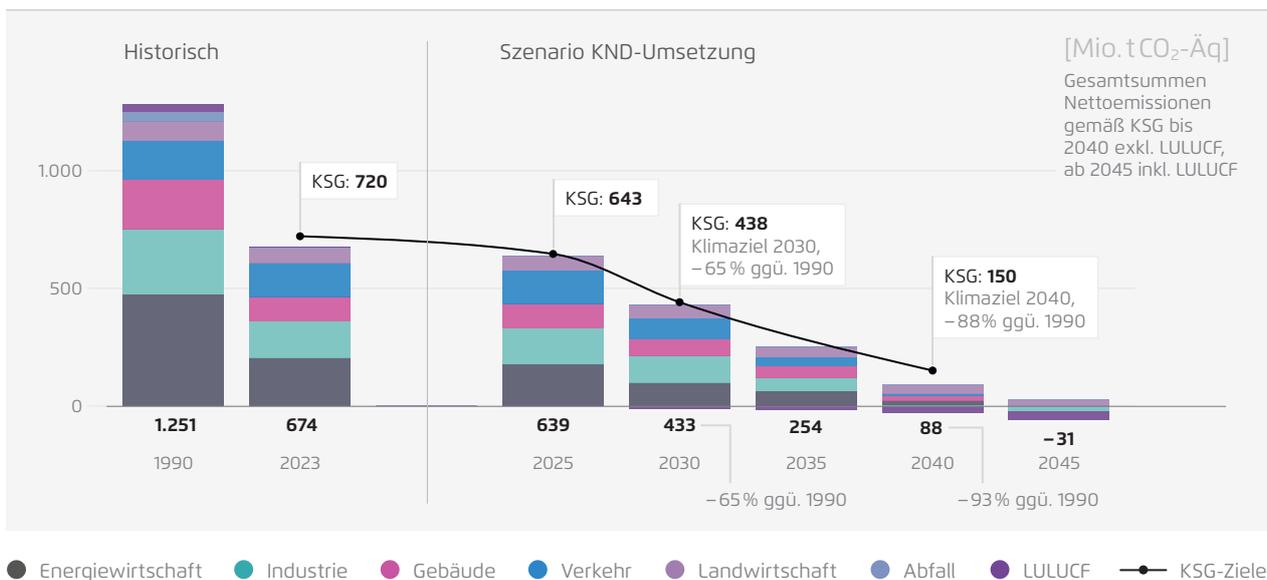
Die nach dem Klimaschutzgesetz zulässige Emissionsmenge für den Zeitraum von 2021 bis 2030 wird eingehalten, die Treibhausgasemissionen sinken 2030 um mehr als 65 Prozent gegenüber 1990. Deutschland erzielt im Jahr 2045 Negativemissionen von 30,7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äq. Ein Großteil der Emissionsminderungen in Energiewirtschaft und Industrie erfolgt bis 2040, angereizt durch die Entwicklung im Europäischen Emissionshandel (ETS I). Sowohl Energiewirtschaft als auch Industrie sind deshalb 2040 nahezu vollständig klimaneutral.

**Drei Viertel der Investitionen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland sind ohnehin erforderlich. Die zusätzlichen Klimaschutzinvestitionen belaufen sich von 2025 bis 2045 auf rund 3 Prozent des Bruttoinlandsprodukts.**

Die **Gesamtinvestitionen** von 2025 bis 2045 belaufen sich auf durchschnittlich 540 Milliarden EUR<sub>2023</sub> pro Jahr – dies entspricht etwa 11 Prozent der Wirtschaftsleistung (Bruttoinlandsprodukt, BIP) Deutschlands in diesem Zeitraum (Abbildung C). Insgesamt nimmt der Investitionsbedarf nach einer erforderlichen Kraftanstrengung bis 2030 spürbar ab.

### Reduktionspfad der Treibhausgasemissionen bis 2045

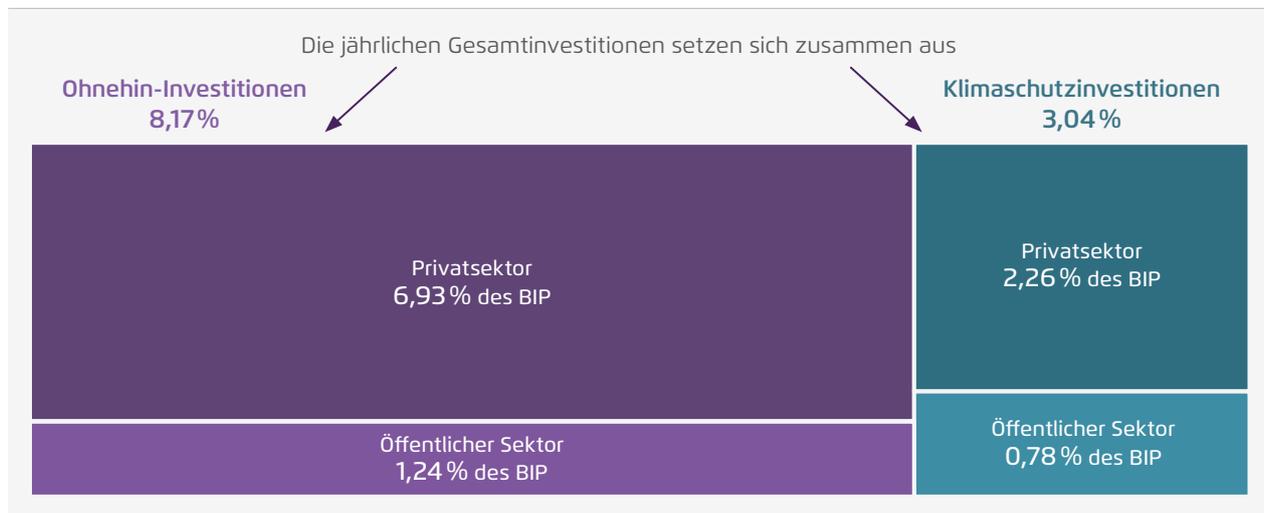
→ Abb. B



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut, Öko-Institut und Universität Kassel (2024), historische Daten: Umweltbundesamt (2024)

## Das Investitionsvolumen liegt im Jahresdurchschnitt bei 11,2 Prozent des Bruttoinlandsprodukts

→ Abb. C



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

Die Gesamtinvestitionen lassen sich in **zwei Gruppen** unterteilen:

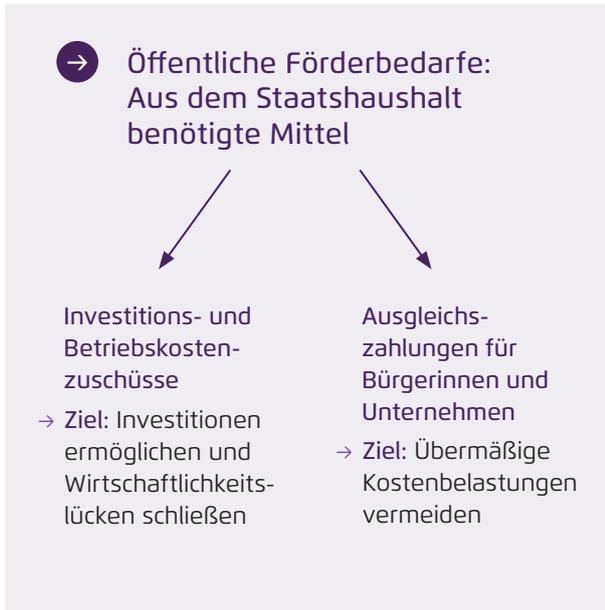
- **Rund drei Viertel der Summe würden auch ohne den Übergang zur Klimaneutralität anfallen (sogenannte Ohnehin-Investitionen)** – hier geht es also um eine Umlenkung von Ausgaben für fossile Technologien hin zu klimaneutralen Investitionen. Im Zeitraum von 2025 bis 2045 betragen diese über alle betrachteten Sektoren hinweg jährlich durchschnittlich 394 Mrd. EUR beziehungsweise 8,1 Prozent des BIP. Auf private Investitionen entfällt dabei ein Anteil von 85 Prozent, auf öffentliche Investitionen ein Anteil von 15 Prozent.
- **Lediglich ein Viertel der Gesamtinvestitionen entfällt auf sogenannte Klimaschutzinvestitionen.** Das sind Mehrausgaben für die Anschaffung klimaneutraler Technologien im Vergleich zu fossilen Referenztechnologien. Die höheren Investitionen bedeuten jedoch nicht immer Mehrkosten über den gesamten Lebenszyklus hinweg. So sind zum Beispiel viele Elektroautos trotz aktuell höheren Anschaffungskosten aufgrund der geringeren Betriebskosten über die gesamte Lebenszeit bereits heute günstiger als Benzin- und Dieselfahrzeuge. Im Zeitraum von 2025 bis 2045 betragen die Klimaschutzinvestitionen über alle betrachteten Sektoren hinweg jährlich durchschnittlich 147 Mrd. EUR beziehungsweise 3 Prozent des BIP. Auf private

Investitionen entfällt dabei ein Anteil von 74 Prozent, auf öffentliche Investitionen ein Anteil von 26 Prozent. Im Szenario finanzieren sich Investitionen in Erneuerbare Energien und Stromnetze zu rund 90 Prozent durch Markterlöse und Entgelte.

### Öffentliche Förderung schließt Wirtschaftlichkeitslücken und vermeidet übermäßige Kostenbelastungen bei Bürger und Bürgerinnen sowie Unternehmen.

Während sich ein Großteil der Investitionen von Unternehmen sowie Bürgerinnen und Bürgern selbst refinanziert, gibt der Förderbedarf an, welche Mittel aus dem Staatshaushalt erforderlich sind, um Wirtschaftlichkeitslücken bei Investitionen zu schließen oder hohe Kosten von Haushalten und Unternehmen abzufedern. Bis 2030 beläuft sich der öffentliche Förderbedarf auf durchschnittlich 58 Mrd. EUR pro Jahr.

Anders als bei anderen Sektoren resultiert im Energiesektor der größte Kostenblock aus den bereits bestehenden Erzeugungsanlagen, die bis 2045 noch mit insgesamt 95 Mrd. EUR zu Buche schlagen. Alle neuen Anlagen, die ab 2025 zugebaut werden, erfordern in Summe bis 2045 lediglich 45 Mrd. EUR – bei einer dann um den Faktor fünf größeren Strommenge.



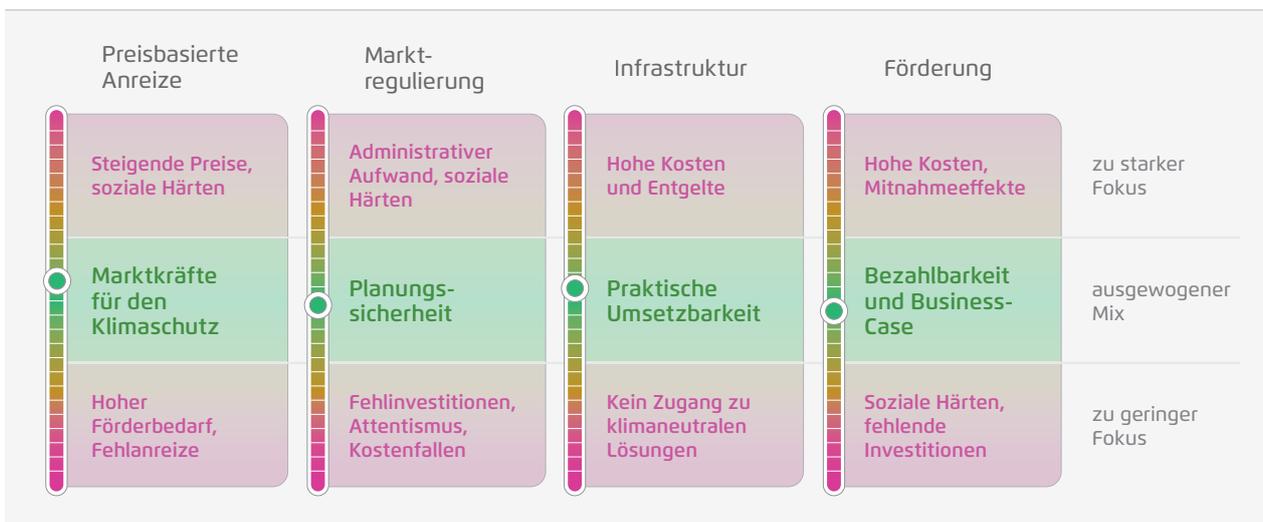
- **Preisbasierte Anreize:** CO<sub>2</sub>-Preise verteuern die Nutzung fossiler Energien, wodurch klimafreundliche Technologien wettbewerbsfähiger werden. Die Investitionskosten für klimaneutrale Alternativen bleiben jedoch unverändert. Durch die Bepreisung von Emissionen steigen die Energiepreise für die Industrie und die Bürgerinnen und Bürger und es kann zu einer starken Belastung einzelner Gruppen kommen, die finanziell oder infrastrukturell bedingt keine Möglichkeit haben, auf klimaneutrale Technologien umzusteigen.
- **Marktregulierung:** Der Zugang zu fossilen Technologien kann eingeschränkt und die Verteilung von Kosten geregelt werden, um Investitionssicherheit zu schaffen. Solche Maßnahmen schaffen zwar eine Nachfrage nach klimafreundlichen Technologien, gewährleisten aber nicht ihre Bezahlbarkeit. Daher sollten diese Maßnahmen vor allem dann zum Einsatz kommen, wenn die Kostendifferenz zu klimaneutralen Lösungen gering oder gar nicht vorhanden ist, aber andere Barrieren Investitionen verhindern. In Fällen, wo größere Kostenlücken bestehen – zum Beispiel im Gebäudebereich – ist eine Kombination mit Fördermaßnahmen zentral. Eine übermäßige Regulierung kann die Komplexität gesetzlicher Regelungen stark erhöhen, und eine zu kleinteilige Steuerung kann Innovationen hemmen.

**Die Kombination unterschiedlicher Politikinstrumente in einem Politikmix kann die erforderlichen Investitionen effizient und sozial gerecht ermöglichen.**

Um den notwendigen Wandel zu ermöglichen, stehen grundsätzlich vier Formen von Politikinstrumenten zur Verfügung. Diese leisten jeweils einen wichtigen Beitrag, bringen aber auch Nachteile mit sich:

**Politik-Mix für eine ausgewogene Klimapolitik**

→ Abb. D



Agora Energiewende (2024)

- **Förderung:** Investitionen in klimafreundliche Technologien können durch finanzielle Anreize wie Zuschüsse oder erleichterte Finanzierung angestoßen werden. Finanzierungsinstrumente sind besonders dann sinnvoll, wenn Technologien über ihren Lebenszyklus hinweg wirtschaftlich sind, jedoch hohe Anfangsinvestitionen eine Hürde darstellen. Durch gezielte Unterstützung können zusätzliche Kosten reduziert und Belastungen für Haushalte und Unternehmen ausgeglichen werden. Eine zu starke Konzentration auf staatliche Förderung kann zu einer sehr hohen staatlichen Haushaltsbelastung, und ein undifferenzierter Einsatz von Fördermitteln zu Mitnahmeeffekten führen, sodass ein kosteneffizienter Übergang zur Klimaneutralität verhindert wird.
- **Infrastrukturentwicklung:** Eine gut ausgebaute Energie- und Verkehrsinfrastruktur ist grundlegend für den Umstieg auf klimafreundliche Alternativen. Klare Regeln und eine zielgerichtete Planung können sicherstellen, dass der Ausbau effizient voranschreitet und der Zugang zu Kapital für Unternehmen verbessert wird, was Investitionen in klimaneutrale Technologien erleichtert. Eine zu starke Konzentration auf die Infrastruktur kann jedoch zu volkswirtschaftlichen Mehrkosten und je nach Finanzierungsmodell zu staatlichen Mehrausgaben beziehungsweise hohen Nutzungsentgelten führen.

Eine ausgewogene Kombination dieser Elemente reduziert diese negativen Auswirkungen und bringt die Stärken der jeweiligen Ansätze zum Tragen: Marktregulierung schafft Planungssicherheit, preisbasierte Anreize mobilisieren die Kräfte des Marktes für den Klimaschutz, und finanzielle Förderung stellt sicher, dass es sozial gerecht zugeht und Einzelne nicht überfordert werden. Das in dieser Studie entwickelte Szenario baut auf einem solchen ausgewogenen Ansatz auf. Dabei liegt der Fokus darauf, die zentralen Politik-Hebel in jedem Sektorkapitel in ihrer Wirkung und ihrem Zusammenspiel darzustellen.

Das hier vorgestellte Zukunftsbild wird sich nicht genau in dieser Form realisieren. Es stellt jedoch ein in sich schlüssiges Bild für den Übergang zu einem klimaneutralen Deutschland dar und schafft hierdurch eine Diskussionsgrundlage über den Weg dorthin. Dabei bestätigen und bekräftigen die Grundzüge des Szenarios insgesamt den bereits 2021 skizzierten Pfad<sup>1</sup>. Unabhängig von den politischen Akzenten, die künftig bei der konkreten Ausgestaltung des Pfades gesetzt werden, ist klar: Es bedarf einer gesellschaftlichen Kraftanstrengung, schneller technologischer Innovationen und einer mutigen Politik, um den Übergang zur Klimaneutralität sozial gerecht und wohlstandsschaffend zu gestalten.

<sup>1</sup> Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045.

# 1 Einleitung

Im Frühjahr 2021 zeigte die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ erstmalig auf, wie Deutschland 2045 klimaneutral werden und dabei seine Wettbewerbsfähigkeit erhalten kann. Mittlerweile ist dieses Ziel im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) verankert und Konsens unter den demokratischen Parteien. Deutschland ist von der Zielsetzungs- in die Umsetzungsphase eingetreten.

Im Energiebereich ist diese Umsetzungsphase – beschleunigt durch die politischen Krisen der letzten Jahre – schon recht weit vorangeschritten. Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine und die darauf folgende Energiepreiskrise sowie der immer stärker spürbare Klimawandel haben gezeigt, dass die Unabhängigkeit von fossilen Energien und der Übergang zur Klimaneutralität existenziell für den Schutz zentraler gesellschaftlicher Werte wie Gesundheit, Wohlstand, Versorgungssicherheit und politischer Freiheit sind. Die Flutkatastrophen der letzten Jahre unterstreichen: Es ist dringender denn je, neben Klimaanpassungen auch in die Emissionsminderung zu investieren. Denn nur wenn die Treibhausgasemissionen global auf netto-null gebracht werden, lässt sich die Erderhitzung begrenzen. Die gute Nachricht ist: Nationale und europäische Klimapolitik wirkt. Die Klimaschutzlücke für eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 bis zum Jahr 2030 ist deutlich geschrumpft, während Deutschland weniger abhängig von fossilen Energieimporten geworden ist.

Gleichzeitig steht die deutsche Wirtschaft vor teils erheblichen Herausforderungen: Die Nachwirkungen der fossilen Energiepreiskrise bleiben deutlich spürbar und die Aussichten für den Standort Deutschland haben sich seit 2021 merklich verschlechtert. Der europäische Emissionshandel führt dazu, dass fossile Investitionen keine Zukunft haben. Gleichzeitig fehlt es aber an einem tragfähigen Rahmen und Planungssicherheit, um die industrielle Basis durch Investitionen in einen klimaneutralen

Industriestandort zu erneuern. Diese Erneuerung ist jedoch notwendig – und bietet gleichzeitig die Chance, Deutschland und Europa durch Innovationen und moderne Technologien wettbewerbsfähiger zu machen.

Klimaneutralität bringt in vielen Bereichen teils erhebliche Veränderungen mit sich – vom Industrie- über den Verkehrs- und Gebäudebereich bis hin zur Landwirtschaft. Außerdem stellt sich nach dem Karlsruher Haushaltsurteil stärker denn je die Frage, wie der Weg zur Klimaneutralität möglichst kostensparend ausgestaltet werden kann, wie mögliche Mehrkosten fair verteilt werden können und wo Ausgleichszahlungen nötig sind. Kurzum, es geht um die Frage: Wie gelingt die Umsetzung zügig, wohlstandsschaffend und gerecht?

Der Übergang zur Klimaneutralität ist eine einzigartige politische Aufgabe. Die Unterstützung in breiten Teilen der Bevölkerung ist einer der zentralen Erfolgsfaktoren. Während die Dekarbonisierung des Energiesektors für viele Bürgerinnen und Bürger kaum spürbar vonstatten ging, wird es in den nächsten Jahren auch Veränderungen geben, die sich konkret auf die Lebensrealität der Bürgerinnen und Bürger auswirken. Das ist herausfordernd und setzt voraus, dass Maßnahmen umsichtig geplant und verständlich kommuniziert werden. Gleichzeitig ist klar, dass auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland immer wieder auch unerwartete Probleme auftauchen werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung sind daher folgende Aspekte besonders wichtig:

1. **Politische Rahmenbedingungen für Kosteneffizienz, Investitionssicherheit und finanzielle Unterstützung** – auch über Legislaturperioden hinweg. Um hier Lösungswege aufzuzeigen, enthält das neue Szenario neben der technoökonomischen Modellierung erstmalig auch eine Berechnung der Investitionsbedarfe und Vorschläge für Politikinstrumente.

## 2. Resilienz auf dem Weg zur Klimaneutralität durch Technologiepuffer und Diversifizierung:

Die tatsächlichen Investitionsentscheidungen in den meisten Bereichen bestätigen die grundsätzlichen Technologiepfade der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“<sup>2</sup>. Gleichzeitig haben die letzten Jahre verdeutlicht, dass Probleme mit Lieferketten und unerwartete Hürden bei der Umsetzung den Umstieg zur Klimaneutralität verzögern können. Resiliente Hochlaufpfade tragen diesen Unsicherheiten Rechnung. Daher enthält das Szenario unterschiedliche Sensitivitäten, beispielsweise zu einer breiteren Anwendung von CCS (*Carbon Capture and Storage*) entlang eines CO<sub>2</sub>-Transportnetzes, einer geringeren Sanierungsaktivität oder einer Schwächung des Waldes als Kohlenstoffsенke aufgrund von Stürmen und Dürreperioden. Klar ist aber auch: Es bedarf einer gesellschaftlichen Kraftanstrengung, schneller technologischer Innovationen und einer mutigen Politik, damit der in dieser Studie dargestellte Pfad Realität werden kann.

## 3. Vertrauen der Bevölkerung in einen sozial gerechten Übergang zur Klimaneutralität stärken:

Klimaneutralität bietet zahlreiche Chancen für Wohlstand und Wohlergehen – und die Möglichkeit, gerade die Situation von Menschen mit geringem Einkommen zu verbessern. Voraussetzung dafür ist die aktive Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern und Unternehmen an wesentlichen Entscheidungen. Darüber hinaus sind öffentliche Finanzmittel zur sozialen Flankierung politischer Maßnahmen erforderlich. Schließlich braucht es ein anschauliches Zukunftsbild, das Orientierung bietet und Chancen greifbar macht.

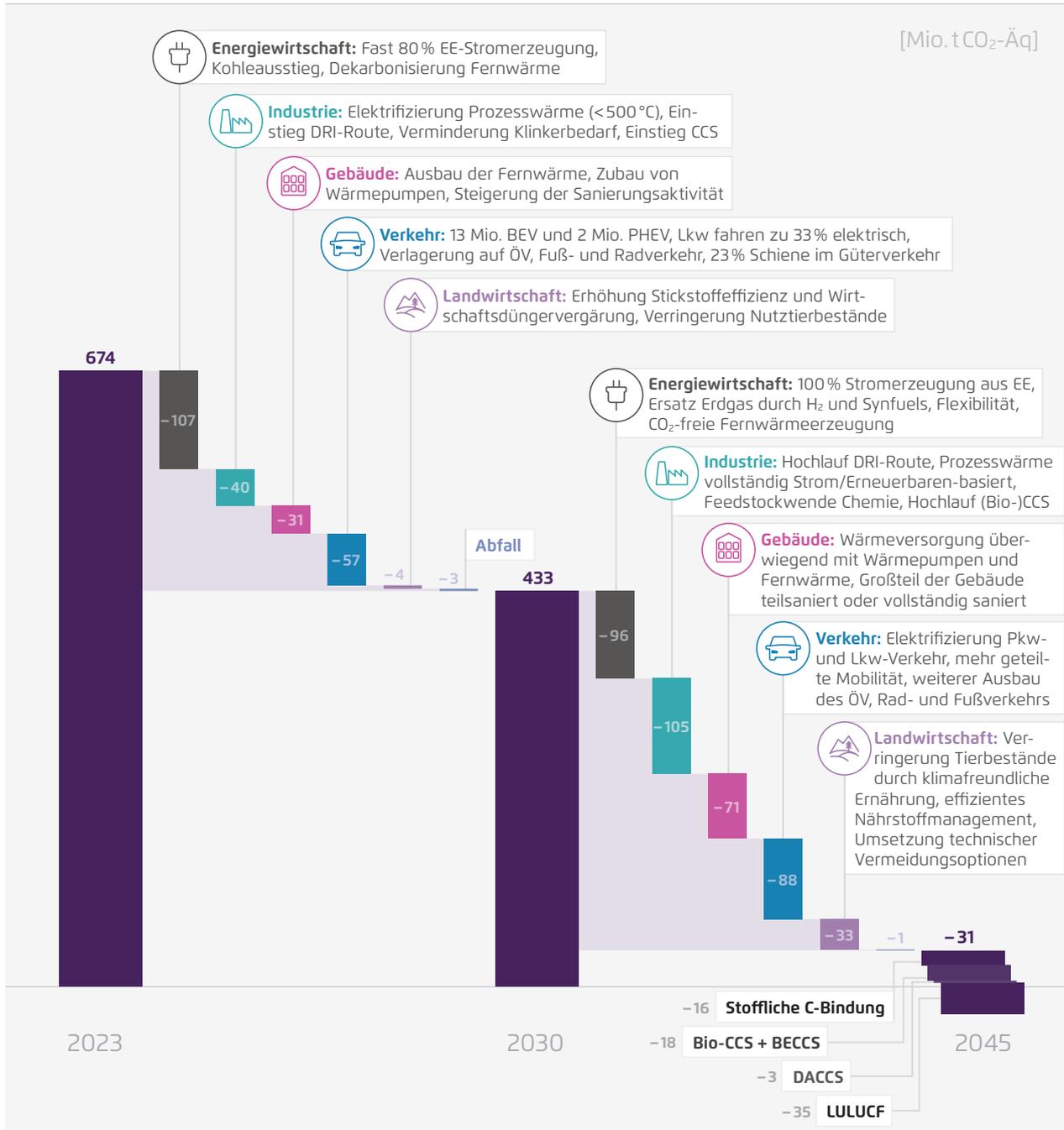
Die vorliegende Studie zeichnet ein solches Zukunftsbild für ein erfolgreiches klimaneutrales Deutschland. Das nächste Kapitel gibt einen Überblick zum Szenario. Die Kapitel 3 und 4 gehen auf die einzelnen Sektoren und die Politikinstrumente ein. Kapitel 5 widmet sich den Investitionsbedarfen, und Kapitel 6 beleuchtet Aspekte des sozialen Ausgleichs mit Fokus auf den Gebäude- und Verkehrssektor. Die Anhänge enthalten eine Übersicht über zentrale Rahmendaten und Modellierungsergebnisse sowie eine Auflistung der öffentlichen Förderbedarfe.

<sup>2</sup> Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045.

## 2 Das Szenario im Überblick

Maßnahmen im Szenario Klimaneutrales Deutschland 2024

→ Abb. 1



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut, Öko-Institut und Universität Kassel (2024). BEV = Batterieelektrische Fahrzeuge; C = Kohlenstoff; CCS = Carbon Capture and Storage; DACCS = Direct Air Carbon Capture and Storage; DRI = Stahlproduktion: Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff und Erdgas; EE = Erneuerbare Energien; H<sub>2</sub> = Wasserstoff; LULUCF = Land Use, Land Use Change, and Forestry; ÖV = Öffentlicher Verkehr; PHEV = Plugin-Hybride

## Leitbild des Szenarios

Das Szenario "Klimaneutrales Deutschland – Von der Zielsetzung zur Umsetzung" orientiert sich an fünf übergeordneten Zielen:



### Günstige und zuverlässige Energieversorgung

Die Umstellung des deutschen Energiesystems erfolgt volkswirtschaftlich effizient. Die Erneuerbaren Energien werden als günstigste Erzeugungsform konsequent ausgebaut. Beim Netzausbau werden Einsparpotenziale gehoben: der Anschluss von Off-shore-Windanlagen erfolgt stärker kostenoptimiert und insgesamt führt eine grundlegende Reform der Regulierung zu mehr Effizienz bei Auslastung und Ausbau der Stromnetze. Preisbasierte Anreize zur Flexibilisierung der Stromnachfrage und Speicher reduzieren die Nutzung regelbarer Kraftwerke und den damit verbundenen Brennstoffeinsatz. Die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten wird vollständig beendet.



### Impulse für eine innovative und wettbewerbsfähige Wirtschaft

Investitionen in klimaneutrale Verfahren und Produkte helfen der Wirtschaft aus der Krise. Es entstehen neue Wertschöpfungsketten, zum Beispiel indem bislang importierte fossile Rohstoffe in der Chemieindustrie durch im Inland nachhaltig angebaute Biomasse ersetzt werden. Zuverlässige Rahmenbedingungen und Zugang zu günstiger Energie sorgen dafür, dass die deutsche Industrie in ihrer Breite erhalten bleibt. Dadurch stellt Deutschland sicher, dass es in den globalen Wachstumsmärkten, die zu etwa drei Viertel auf der Umstellung zur Klimaneutralität basieren<sup>3</sup>, eine wichtige Rolle einnimmt. Der frühe Ausstieg aus fossilen Energieträgern sichert einen Standortvorteil für klimaneutrale Produktion

und damit langfristig den Wirtschaftsstandort im internationalen Wettbewerb.



### Gesamtgesellschaftliche Teilhabe beim Wohnen

Die klimaneutrale Modernisierung von Gebäuden führt zu einer Wertsteigerung des Gebäudebestands. Dabei schützt eine ausdifferenzierte Förderkulisse Eigentümerinnen und Mieter vor unverhältnismäßigen Kostensteigerungen. Sanierungen fördern die Resilienz gegen Hitzewellen und leisten damit auch einen Beitrag zu mehr Gesundheit. Zusätzlicher und bezahlbarer Wohnraum wird im Bestand geschaffen und besser als bislang den Bedürfnissen der Bewohner und Bewohnerinnen angepasst.



### Saubere und zugängliche Mobilität für alle

Durch den Ausbau der Kapazitäten im öffentlichen Verkehr verbessert sich das Mobilitätsangebot der Bürgerinnen und Bürger und damit die Attraktivität ländlicher Räume. Gezielte Investitionshilfen erleichtern Menschen mit geringem Einkommen die Anschaffung effizienter E-Pkw, ein Mobilitätsgeld entlastet sie bereits kurzfristig. Eine geringere Schadstoff- und Lärmbelastung, mit Rad- und Fußverkehr verbundene Bewegung und weniger versiegelte Flächen wirken sich positiv auf Gesundheit und Lebensqualität aus.



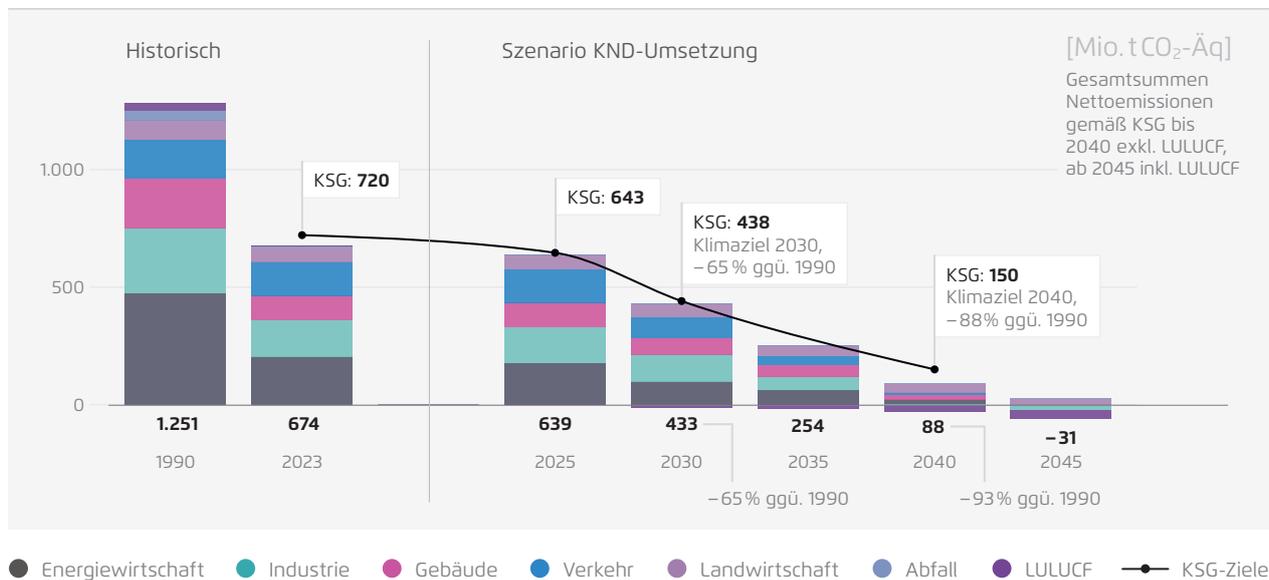
### Eine produktive und resiliente Land- und Forstwirtschaft

Die Landwirtschaft leistet einen deutlich größeren Beitrag zur Klimaneutralität als heute, da ihre Treibhausgasemissionen substanziell sinken, mehr CO<sub>2</sub> auf landwirtschaftlichen Flächen gespeichert wird und sie nachhaltig angebaute Biomasse für die Bioökonomie produziert. Die Maßnahmen tragen dazu bei, dass das Tierwohl gestärkt wird, sich die biologische Vielfalt in Agrarlandschaften erhöht und die Resilienz gegenüber klimatischen Veränderungen steigt.

<sup>3</sup> BDI (2024): Transformationspfade für das Industrieland Deutschland.

## Reduktionspfad der Treibhausgasemissionen bis 2045

→ Abb. 2



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut, Öko-Institut und Universität Kassel (2024), historische Daten: Umweltbundesamt (2024)

Das Szenario erfüllt die verfassungsrechtliche Vorgabe, in Deutschland zeitnah Klimaneutralität herzustellen und dadurch Emissionsminderungen nicht zulasten künftiger Generationen in die Zukunft zu verschieben. Das Ziel von 65 Prozent weniger Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 gegenüber 1990 wird erreicht, auch die nach dem KSG zulässige Gesamtmenge für den Zeitraum von 2021 bis 2030 wird eingehalten. Ein Großteil der Emissionsminderungen erfolgt bis 2040 – zu diesem Zeitpunkt sind, angereizt durch die Entwicklung im Europäischen Emissionshandel (ETS I), sowohl Energiewirtschaft als auch Industrie nahezu vollständig klimaneutral. Ermöglicht durch einen Mix aus preisbasierten Anreizen, Marktregulierung, Infrastrukturausbau und finanzieller Unterstützung nehmen auch in den Sektoren Gebäude und Verkehr bis 2040 die Emissionen stark ab. Land- und Forstwirtschaft können ihren Beitrag zur Klimaneutralität bis 2045 deutlich steigern und gleichzeitig Biodiversitätsschutz, Gesundheit und weitere Nachhaltigkeitsziele stärken.

## 2.1 Gesamtinvestitionen und Klimaschutzinvestitionen

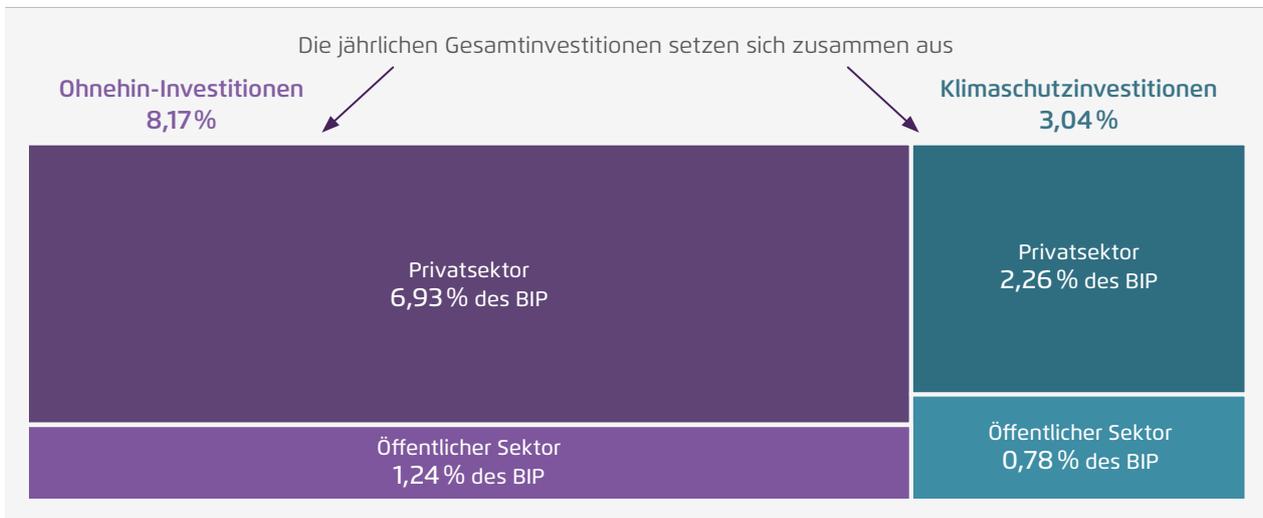
Ein wesentlicher Baustein zur Erreichung von Klimaneutralität ist die Verlagerung von Investitionen weg von fossilen hin zu klimaneutralen Technologien und Infrastrukturen. Daher wurde in dem Szenario erstmalig auch die Höhe der erforderlichen Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen beziffert.

Die **Gesamtinvestitionen** von 2025 bis 2045 belaufen sich auf durchschnittlich 540 Milliarden Euro pro Jahr – dies entspricht etwa 11 Prozent der Wirtschaftsleistung Deutschlands in diesem Zeitraum (Abbildung 3). Davon müssen etwa 18 Prozent durch die öffentliche Hand getätigt werden. Hierzu gehören Investitionen direkt aus staatlicher Hand, wie zum Beispiel Schulen, sowie Investitionen durch Unternehmen, die sich ganz oder teilweise in öffentlicher Eigentümerschaft befinden, zum Beispiel Stadtwerke.

Die Gesamtinvestitionen lassen sich in **zwei Gruppen** unterteilen (Abbildung 4):

### Das Investitionsvolumen liegt im Jahresdurchschnitt bei 11,2 Prozent des Bruttoinlandsprodukts

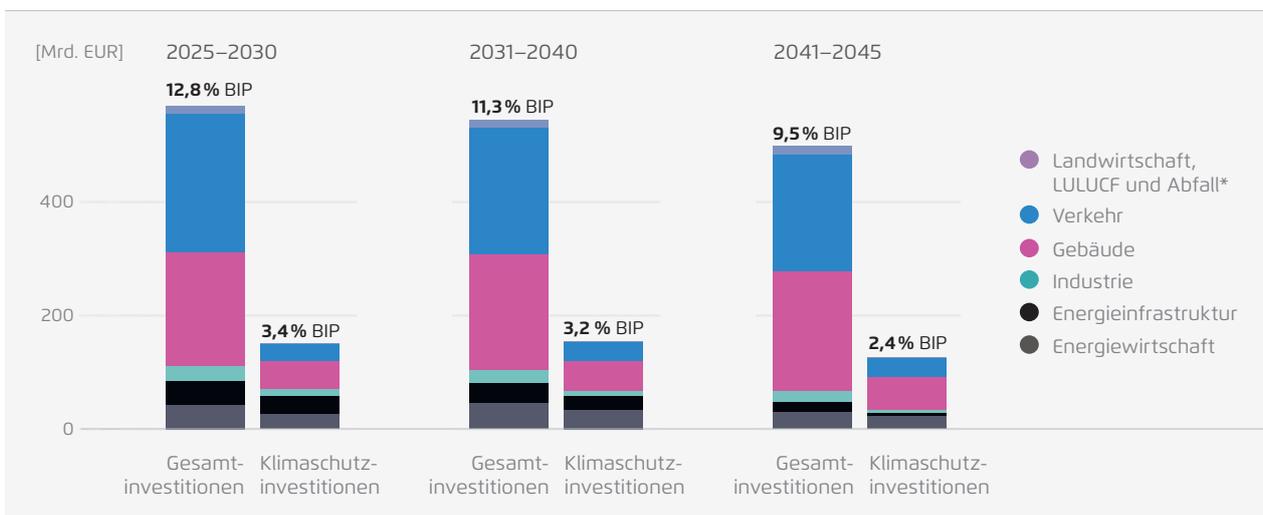
→ Abb. 3



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

### Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen in den Sektoren als Anteil am Bruttoinlandsprodukt

→ Abb. 4



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). Anteil am Bruttoinlandsprodukt des jeweiligen Zeitraums, in realen Preisen (2023). \*Berechnungen umfassen nicht alle Kategorien notwendiger Investitionen.

→ Rund drei Viertel der Summe würde auch ohne den Übergang zur Klimaneutralität anfallen (sogenannte **Ohnehin-Investitionen**) – hier geht es also um eine Umlenkung von Ausgaben für fossile Technologien hin zu klimaneutralen Investitionen.

→ Ein Viertel der Gesamtinvestitionen entfällt auf sogenannte **Klimaschutzinvestitionen**. Das sind **Mehrausgaben für die Anschaffung** klimaneutraler Technologien im Vergleich zu fossilen Referenztechnologien – zum Beispiel der höhere Anschaffungspreis einer Wärmepumpe im Vergleich zu einer Gasheizung.

**Die höheren Investitionen bedeuten jedoch nicht immer Mehrkosten über den gesamten Lebenszyklus hinweg.** So sind zum Beispiel viele Elektroautos trotz aktuell höheren Anschaffungskosten aufgrund der geringeren Betriebskosten über die gesamte Lebenszeit bereits heute günstiger als Benzin- und Dieselfahrzeuge.

Die politische Herausforderung besteht darin, dass die Frage, ob beim Übergang zur Klimaneutralität Mehrkosten entstehen oder nicht, vor allem für private Haushalte durch individuelle Faktoren bestimmt wird: zum Beispiel durch den Zustand der Gebäudehülle im Kontext von Sanierungen, Eigentümer- oder Vermieterereigenschaft, Verfügbarkeit von Verkehrs- und Fernwärmeinfrastruktur etc. Die politische Instrumentierung kann daher nicht mit Blick auf die Lebenszykluskosten eines einzelnen Produkts, sondern nur unter Berücksichtigung der Gesamtumstände erfolgen. Die notwendigen Investitionen und öffentlichen Finanzbedarfe werden in Kapitel 5 genauer untersucht.

## 2.2 Politikoptionen für den Übergang zur Klimaneutralität

In dieser komplexen Gemengelage hat der Staat mehrere Möglichkeiten, den Umstieg auf klimaneutrale Alternativen zu ermöglichen beziehungsweise zu erleichtern und dabei die Verteilung der Anschaffungs- und Betriebskosten zu beeinflussen:

### Preisbasierte Anreize

Preisbasierte Anreize wie zum Beispiel ein CO<sub>2</sub>-Preis können dazu beitragen, negative Umwelteffekte einzupreisen und damit die Wirtschaftlichkeitslücke klimaneutraler Technologien gegenüber fossilen zu schließen. Dadurch entstehen staatliche Mehreinnahmen. Dies erfolgt dadurch, dass fossile Optionen verteuert werden. Die absoluten Kosten für klimaneutrale Investitionen sinken also hierdurch nicht, was für Menschen mit geringem Einkommen oder Unternehmen, die im internationalen Wettbewerb

stehen, mit sozialpolitisch nicht akzeptablen Belastungen oder dem Risiko einer Abwanderung von Industriebranchen verbunden sein kann. Daher können weitere Maßnahmen zum Ausgleich der Mehrkosten erforderlich werden – die Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung können hierfür einen Beitrag leisten.

### Marktregulierung

Marktregulierung kann in verschiedenen Formen auftreten. Im Kontext der Finanzierung des Übergangs zur Klimaneutralität stellen unter anderem Regeln für den Marktzugang von Technologien, Vorgaben zur Kostenaufteilung und die Preisregulierung bei natürlichen Monopolen wichtige Handlungsoptionen des Staates dar. Durch derartige Maßnahmen entstehen im Staatshaushalt keine direkten Belastungen.

- Die Marktregulierung durch **Standards für Technologien** ist in der Vergangenheit vielfach erfolgreich erfolgt, zum Beispiel das sukzessive Verbot des Einsatzes von FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffen) in neuen Kühlschränken oder die Beendigung der Nutzung von verbleitem Benzin. Marktregulierung schafft Planungs- und Investitionssicherheit für Konsumentinnen und Konsumenten sowie Hersteller. Auch die Nachfrage nach alternativen Produkten steigt, was dazu beiträgt, dass die Kosten pro Produkt sinken (Skaleneffekte). Da auch diese Option aber nicht zwangsläufig bewirkt, dass die klimaneutrale Technologie günstiger wird als das fossile Referenzmodell, sollte diese Option vor allem dann genutzt werden, wenn die Kostendifferenz ohnehin gering ist beziehungsweise mit finanzieller Unterstützung kombiniert werden.
- **Vorgaben zur Kostenaufteilung** sind vor allem dann notwendig, wenn preisbasierte Anreize nicht ihre Wirkung entfalten können, weil Kostenbelastungen und Handlungsmöglichkeiten auseinanderfallen. Ein Beispiel dafür ist das CO<sub>2</sub>-Kostenaufteilungsgesetz, das die Aufteilung des CO<sub>2</sub>-Aufschlags für fossiles Heizen im Gebäudebereich regelt. Vor der Regelung trugen die Mietenden uneingeschränkt die CO<sub>2</sub>-Kosten, waren jedoch selbst nicht in der Lage, über

Abhilfemaßnahmen wie zum Beispiel den Einbau einer Wärmepumpe zu entscheiden.

- Eine **Preisregulierung** durch den Staat ist insbesondere dann erforderlich, wenn durch natürliche Monopole der marktwirtschaftliche Wettbewerb außer Kraft gesetzt wird und ein Machtungleichgewicht zwischen Anbietenden und Nachfragenden entsteht. Dies ist zum Beispiel bei der Energieinfrastruktur der Fall.

## Infrastruktur

Die Verfügbarkeit von Energie- und Verkehrsinfrastruktur wie zum Beispiel Strom- und Wärmenetze, CO<sub>2</sub>-Infrastruktur oder öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) ist eine Grundvoraussetzung für den Umstieg auf klimaneutrale Alternativen. In jedem Fall ist hier eine staatliche Regulierung erforderlich. Ergänzend können klare gesetzliche Regelungen für die Planung der Infrastruktur dafür Sorge tragen, dass der Ausbau zielkompatibel und effizient erfolgt. Darüber hinaus kann der Staat durch eine direkte Beteiligung an Netzgesellschaften die Finanzkraft von Unternehmen stärken und so den Zugang zu Kapital zu günstigeren Konditionen und in größerem Umfang ermöglichen. Schließlich ist eine (Teil-) Finanzierung von Infrastruktur aus Steuermitteln eine Option, wie dies aktuell in Deutschland beim Straßenbau vollständig der Fall ist.

## Finanzielle Unterstützung

Finanzielle Unterstützungsmaßnahmen verfolgen grundsätzlich zwei unterschiedliche Zwecke, die jedoch auch in einem Instrument kombiniert werden können: die Unterstützung von Investitionen in klimaneutrale Technologien einerseits und der Ausgleich von Mehrbelastungen durch den Übergang zur Klimaneutralität andererseits.

**Unterstützung für Investitionen in klimaneutrale Technologien** kann durch Unterstützung bei der Finanzierung sowie durch staatliche Zuschüsse zu Anschaffungs- und Betriebskosten erfolgen. Die

entstehenden Mehrkosten können entweder durch den allgemeinen Haushalt oder im Rahmen einer Umlagefinanzierung ausgeglichen werden.

- **Unterstützung bei der Finanzierung** ist vor allem dann eine Möglichkeit, wenn Investitionen über den gesamten Lebenszyklus hinweg bereits wirtschaftlich sind, es jedoch für Privatpersonen oder Unternehmen in der aktuell angespannten Wirtschaftslage beziehungsweise aufgrund zu geringer Ersparnisse herausfordernd ist, die höheren Anfangsinvestitionen aufzubringen.

- **Zuschüsse zu Anschaffungs- und Betriebskosten:** Dabei kann es sich sowohl um finanzielle Unterstützung für die Anschaffung klimaneutraler Technologien, zum Beispiel Zuschuss für eine Wärmepumpe, als auch um Unterstützung für den Betrieb einer Anlage, zum Beispiel Vergütung pro erzeugter Menge Energie handeln. Um begrenzte Haushaltsmittel möglichst sinnvoll einzusetzen, sollten diese Zuschüsse auf diejenigen Bürgerinnen, Bürger und Unternehmen begrenzt werden, die sie wirklich brauchen. Die mit der Förderung verbundenen Mehrkosten können durch die Erhebung einer **Umlage** gedeckt werden. In diesem Fall fallen die Kosten nicht für die öffentlichen Haushalte an, sondern innerhalb einer Gruppe, die ein bestimmtes Gut oder eine Dienstleistung in Anspruch nimmt. So haben die Stromkunden in der Vergangenheit durch die EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)-Umlage den Ausbau der Erneuerbaren Energien mitfinanziert.

Um bestimmte Gruppen gezielt zu entlasten, kann der Staat aus dem Haushalt **Ausgleichszahlungen** finanzieren. Dies kann aus industrie- oder sozialpolitischen Gründen sinnvoll sein. So soll zum Beispiel die Strompreiskompensation die Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Unternehmen absichern. Die Auszahlung eines allgemeinen Mobilitäts- oder Klimagelds kann vorübergehend sinnvoll sein, weil es aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Lebensumstände kaum möglich sein wird, in allen Einzelfallkonstellationen zu große Mehrbelastungen mit gezielten Investitionshilfen zu verhindern.

### 2.3 Vom Instrument zum Paket: Gründe für eine Kombination verschiedener Politikinstrumente

Grundsätzlich handelt es sich bei Treibhausgasemissionen ohne politische Eingriffe um ein Marktversagen, da die an der Umwelt entstehenden Schäden und die damit verbundenen Wohlstandsverluste sich nicht in den Preisen widerspiegeln. Damit liegt der Schluss nahe, dass eine Bepreisung von Emissionen bereits ausreichen könnte, um die notwendigen Investitionen zur Verhinderung dieser Schäden auszulösen. Tatsächlich spielt die Bepreisung von Treibhausgasemissionen eine zentrale Rolle bei der Erreichung der Klimaneutralität. Gleichzeitig gibt es eine Reihe von Gründen, weswegen eine Kombination von Instrumenten in einem so genannten Politikmix deutliche Vorteile gegenüber der alleinigen Bepreisung von Emissionen beziehungsweise einer einseitigen Nutzung bestimmter Politikinstrumente aufweist.

Diese lassen sich in zwei Gruppen einteilen: erstens, Argumente für eine Erweiterung der Politikinstrumente über die Bepreisung von Emissionen hinaus. Zweitens ist auch ein einseitiger Fokus auf ordnungsrechtliche Instrumente oder finanzielle Förderungen mit Nachteilen verbunden. Eine Politik mit Augenmaß wird daher eine Kombination anstreben.

Zu den Gründen, weswegen eine alleinige Bepreisung von Emissionen zu kurz greift, zählen:

→ **Bestimmte Marktversagen bleiben trotz der Bepreisung von Emissionen bestehen:** Die konkrete Zusammensetzung des Politikmix sollte die Verhaltensstrukturen und die jeweiligen Besonderheiten in den verschiedenen Bereichen berücksichtigen. Gerade in den Sektoren Gebäude und Verkehr treffen Privatpersonen einen wesentlichen Teil der Investitionsentscheidungen. Die Verbraucherinnen und Verbraucher haben häufig nur unvollständige Informationen über zukünftige Kostenentwicklungen. Außerdem zeigen Studien sehr deutlich, dass die für die Zukunft absehbare Verteuerung fossiler Betriebskosten, wie sie durch die europäischen Emissionshandelssysteme ETS I (für die Energiewirtschaft, energieintensive Industrie,

innereuropäischen Luftverkehr und Schifffahrt) und ETS II (vor allem für den Gebäude- und Straßenverkehrssektor) erfolgt, bei der Kaufentscheidung systematisch unterschätzt wird.<sup>4</sup> Ein anderes Beispiel ist die Kostenverteilung zwischen Mietenden und Vermietenden. Ohne zusätzliche Maßnahmen fallen die Kosten der CO<sub>2</sub>-Bepreisung bei den Mietenden an, die Kosten einer neuen Heizung bei den Vermietenden. In der Folge finden Investitionen in klimaneutrale Technologien nicht statt.

→ **Unsicherheiten auf dem Weg zur Klimaneutralität und daraus folgende Investitionszurückhaltung:**

Das Risiko eines hohen CO<sub>2</sub>-Preises ist bereits ausreichend, um Investitionen in fossile Anlagen zu unterbinden. Daraus folgt aber noch nicht, dass eine kapitalintensive Investition in eine klimaneutrale Alternative sich rechnet, also einen klaren Business-Case hat. Dies ist eines der drängendsten Probleme und die zentrale Herausforderung beim Übergang zu einer klimaneutralen Industrie in Deutschland. Hier können Vorgaben der Marktregulierung und gezielte Förderprogramme für Investitionen die nötige Investitions- und Planungssicherheit schaffen.

→ **Gerechtigkeitsaspekte:** Die politischen und vor allem finanziellen Veränderungen beim Übergang zur Klimaneutralität sind so groß, dass sie Gerechtigkeitserwägungen berühren. Aus dem verfassungsrechtlichen Sozialstaatsprinzip ergibt sich ein Gestaltungsauftrag des Staates, für eine gerechte Sozialordnung zu sorgen und dies nicht allein marktwirtschaftlichen Kräften zu überlassen.

→ **Verknüpfung mit wirtschafts-, geo- und sicherheitspolitischen Strategien:** Der Übergang zur Klimaneutralität geht mit einer grundlegenden technologischen Verschiebung einher. Hieraus können sich industrie- und geopolitisch Chancen und Risiken ergeben. Aus diesen Gründen kann es sinnvoll sein, die Ansiedlung oder den Erhalt von Schlüsselindustrien für die Erreichung von Klimaneutralität in Deutschland zu fördern, auch wenn dies mit Haushaltsbelastungen verbunden ist.

<sup>4</sup> Siehe Castro et al. (2020): A review of agent-based modelling of climate-energy policy; Safarzyńska (2017): Integrating behavioural economics into climate-economy models: some policy lessons.

## Politik-Mix für eine ausgewogene Klimapolitik

→ Abb. 5



Agora Energiewende (2024)

→ **Synergien mit weiteren Politikfeldern:** Die Wahl bestimmter politischer Maßnahmen hängt häufig auch damit zusammen, ob sich damit Synergien zu den Politikfeldern Gesundheit, Biodiversität, Sozialpolitik etc. herstellen lassen. So kann es zum Beispiel aus sozial- und gesundheitspolitischer Sicht wünschenswert sein, beitragsfreies Essen in Schulen und Kitas zur Verfügung zu stellen.

Die Nachteile der vier Kategorien von Politikinstrumenten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Preisbasierte Anreize:** Durch die Bepreisung von Emissionen steigen die Energiepreise für die Industrie und für die Bürgerinnen und Bürger und es kann zu einer starken Belastung einzelner Gruppen kommen, die finanziell oder infrastrukturell bedingt keine Möglichkeit haben, auf klimaneutrale Technologien umzusteigen.
- **Marktregulierung:** Eine einseitige Nutzung von Marktregulierung kann die Komplexität gesetzlicher Regelungen stark erhöhen und durch den Versuch einer zu kleinteiligen Steuerung Innovationspotenziale hemmen. Darüber hinaus kann es ohne eine Flankierung durch finanzielle Unterstützungsmaßnahmen auch hier zu sozialpolitisch inakzeptablen Belastungen kommen.
- **Infrastruktur:** Auch eine zu starke staatliche Einflussnahme auf den Ausbau von Infrastruktur

kann zu Ineffizienzen und damit volkswirtschaftlich höheren Kosten führen.

- **Förderung:** Eine zu starke Konzentration auf staatliche Förderung kann zu einer sehr hohen staatlichen Haushaltsbelastung und bei einem undifferenzierten Einsatz von Fördermitteln zu Mitnahmeeffekten führen, sodass ein kosteneffizienter Übergang zur Klimaneutralität verhindert wird.

**Eine ausgewogene Kombination dieser Elemente reduziert diese negativen Auswirkungen und bringt die Stärken der jeweiligen Ansätze zum Tragen:**

Marktregulierung schafft Planungssicherheit, preisbasierte Anreize mobilisieren die Kräfte des Marktes für den Klimaschutz und finanzielle Förderung stellt sicher, dass es sozial gerecht zugeht und Einzelne nicht überfordert werden. (Abbildung 5).

Das in dieser Studie entwickelte Szenario baut auf einem solchen ausgewogenen Ansatz auf. Im folgenden Kapitel wird jeweils dargestellt, welche Instrumente in den jeweiligen Sektoren zugrundegelegt wurden. Der Fokus der Analyse liegt dabei nicht auf einer möglichst detaillierten Darstellung der Instrumente. Vielmehr geht es darum, die zentralen Politikhebel in ihrer Wirkung und ihrem Zusammenspiel darzustellen.

## 3 Die Sektoren im Detail

### 3.1 Energiewirtschaft

Der Sektor Energiewirtschaft umfasst die Herstellung von Strom und Fernwärme sowie die Gasversorgung, Mineralö Raffinerien und die Herstellung von Kohleprodukten wie Koks und Briketts. Auf dem Weg zur Klimaneutralität wird die Bedeutung von Strom und Fernwärme stark zunehmen, während die Erdgasversorgung, Mineralölverarbeitung und Herstellung von Kohleprodukten schrittweise zum Erliegen kommen. Im Gegenzug kommen Wasserstoff und strombasierte Energieträger zum Einsatz. Dies reduziert die Importabhängigkeit Deutschlands erheblich.

Mit 257 von 746 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq) entfielen mehr als ein Drittel der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen 2022 auf den Energiesektor. Vor allem durch klimapolitische Maßnahmen auf EU- und nationaler Ebene sind die Emissionen im Energiebereich seit 2014 um rund 40 Prozent gesunken. Hauptgrund hierfür war der Ausbau Erneuerbarer

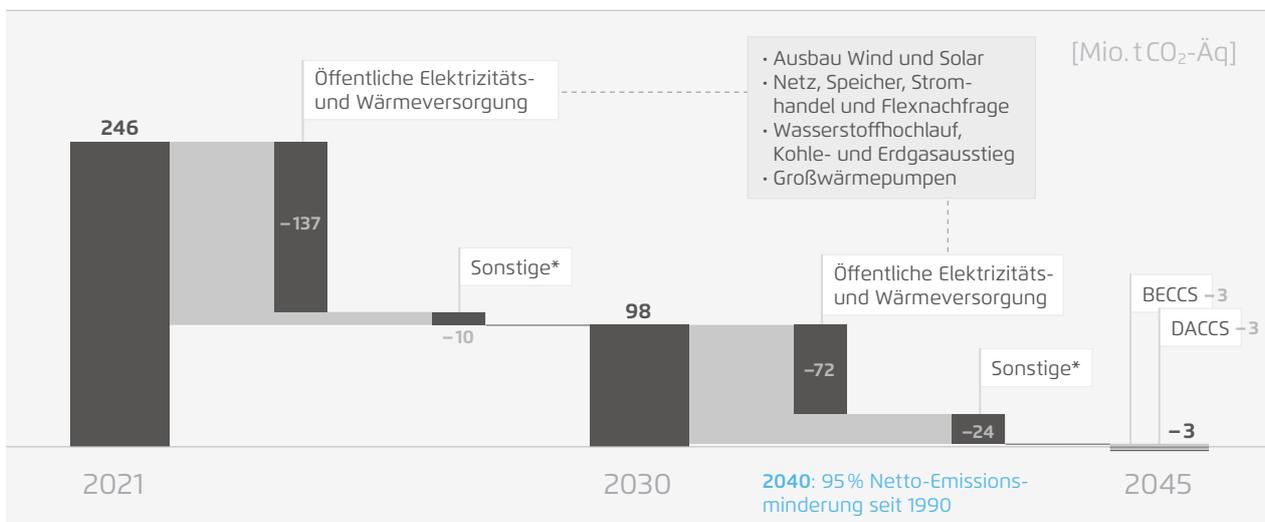
Energien – diese erreichten 2023 einem Anteil von 52 Prozent an der Stromerzeugung.

Der Stromsektor bildet das Fundament für ein klimaneutrales Energiesystem, da Strom in den meisten Fällen die kostengünstigste und effizienteste Form ist, um die Nachfrage der Industrie, von Gebäuden und dem Verkehr klimaneutral zu decken. Die wesentlichen Pfeiler eines zukunftsfesten, modernisierten Stromsystems sind der konsequente Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Stromnetze inklusive der Verbindungen in die Nachbarländer. Hinzu kommt eine Ausweitung der Energiespeicherung und eine starke Flexibilisierung der Stromnachfrage (Abbildung 6). Im Bereich der Fernwärme werden neben einem starken Ausbau strombasierter Wärmeerzeugung weitere klimaneutrale Wärmequellen wie Geothermie und unvermeidbare Abwärme erschlossen.

Durch die stärkere Nutzung von Strom erhöht sich die Effizienz des Energiesystems. Auch die Abhängigkeit von Energieimporten sinkt von knapp 2500 TWh im Jahr 2019 auf 390 TWh im

Energiewirtschaftssektor – Reduktion der Treibhausgasemissionen

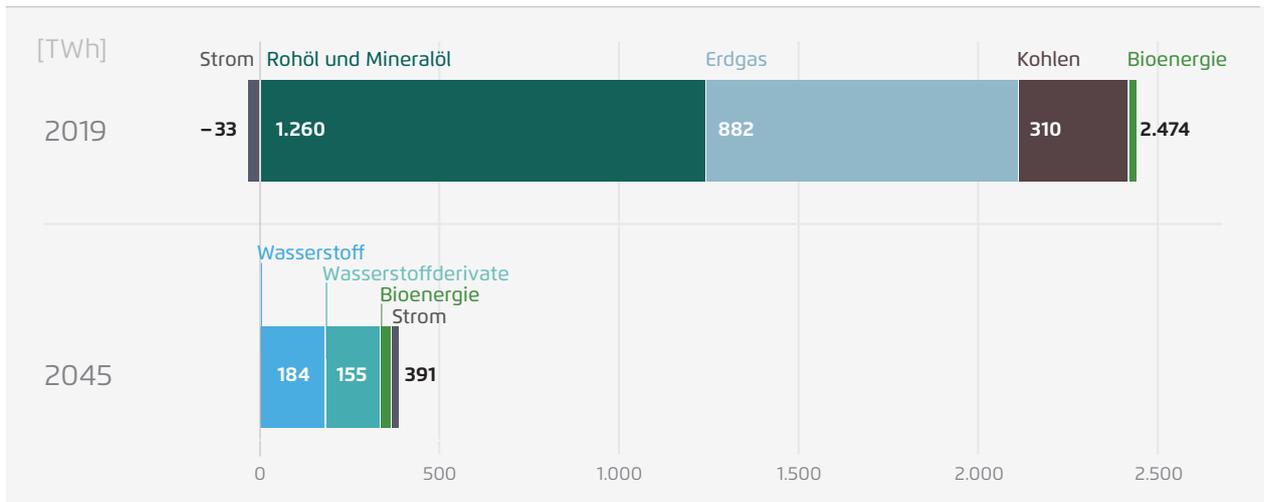
→ Abb. 6



Agora Energiewende und Prognos (2024). \* Mineralö Raffinerien (CRF 1.A.1.b), Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (CRF 1.A.1.c), diffuse Emissionen (1.B), Pipelinetransporte (1.A.3.e)

## Reduktion des Nettoimports von Energieträgern bis 2045

→ Abb. 7



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024), historische Daten: AG Energiebilanzen (2024). Positiver Wert ist Nettoimport, negativer Wert ist Nettoexport.

Jahr 2045 und damit um fast 85 Prozent (Abbildung 7).

ähnlichen Niveau und sinken zwischen 2030 und 2045 auf weniger als 13 Cent/kWh ab.

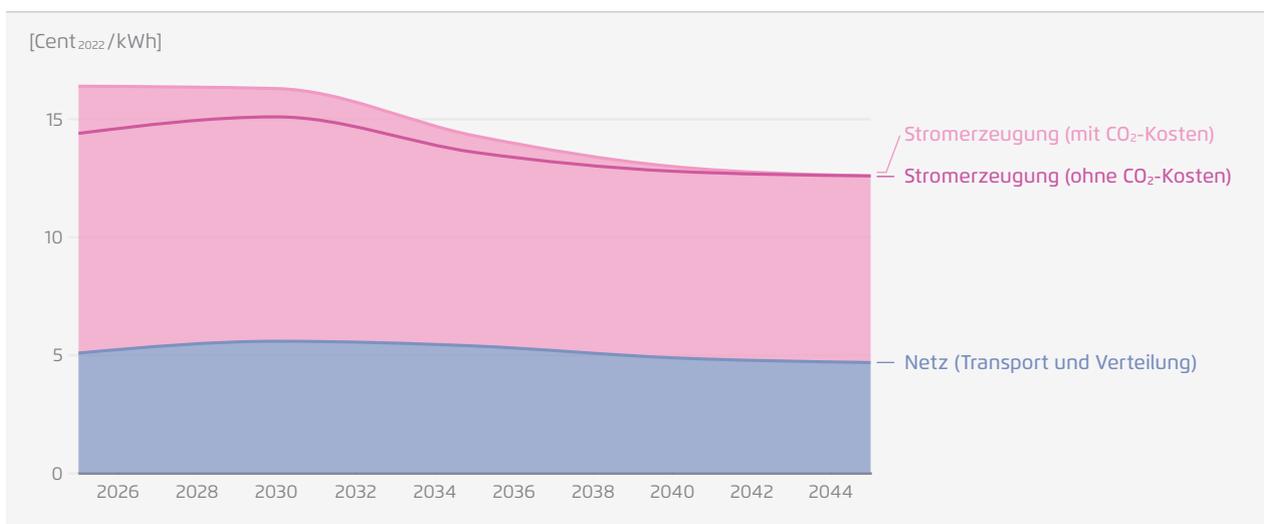
Gleichzeitig bleiben die spezifischen Stromsystemkosten über diesen Zeitraum relativ konstant: Den erheblichen Investitionen steht eine deutliche Ausweitung der Stomnachfrage gegenüber, sodass die durchschnittlichen Kosten nach unten gehen. Sie bleiben von 2025 bis 2030 mit 16 Cent / Kilowattstunde (kWh) auf einem

### 2025 bis 2030: Der Sprint bis zum Jahr 2030

Die Entwicklung in der Energiewirtschaft bis 2030 ist im Szenario geprägt von einem starken Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie – im Zuge der sich beschleunigenden Elektrifizierung

## Spezifische Stromsystemkosten bis 2045

→ Abb. 8



Agora Energiewende und Prognos (2024). H<sub>2</sub>-Netzkosten sind anteilig in den Brennstoffkosten der Stromerzeugung enthalten.

in Industrie und Verkehr – einer erheblich steigenden Nachfrage nach Strom.

### Ausbau der Erneuerbaren Energien

Der Ausbau der Photovoltaik (PV) steigt von aktuell 15 Gigawatt (GW) pro Jahr weiter an, sodass das EEG-Ausbauziel von 215 GW im Jahr 2030 erreicht wird. PV-geeignete Dächer werden möglichst vollständig belegt. Flächen werden durch Multi-Use-Ansätze effizient und gesamtgesellschaftlich gewinnbringend genutzt, indem PV unter Einhaltung von Naturschutzkriterien etwa als Agri-PV, Moor-PV und Parkplatz-PV installiert wird. Kommunale Beteiligungsmöglichkeiten sichern die Akzeptanz für PV-Freiflächen und Windanlagen zusätzlich ab.

Beim Ausbau der Windkraft an Land hingegen werden statt des anvisierten EEG-Ausbauziels von 115 GW im Jahr 2030 nur 98 GW erreicht (Abbildung 9). Hier kann trotz einer deutlichen Steigerung des Zubaus der niedrige Ausbau in der ersten Hälfte der 20er-Jahre nicht vollständig ausgeglichen werden. Auch bei Windkraft auf See wird das Ausbauziel von 30 GW mit 26 GW verfehlt,

wesentlich bedingt durch Verzögerungen bei den Netzanschlüssen. Vor diesem Hintergrund erreicht der Anteil der Erneuerbaren an der gestiegenen Bruttostromnachfrage im Jahr 2030 76 Prozent, das EEG-Ziel von 80 Prozent wird 2032 erreicht.

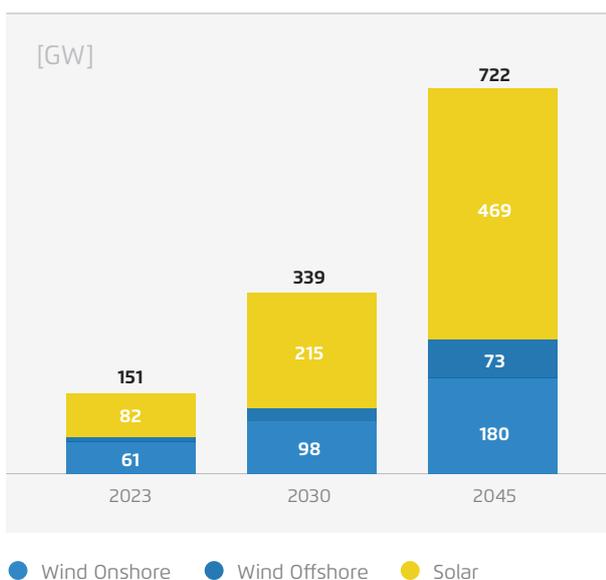
Um einen möglichst kosteneffizienten Ausbau zu ermöglichen, wird das EEG weiterentwickelt. Bei Dach-PV-Anlagen sorgen Anreize zum Vor-Ort-Verbrauch und ein barrierearmer Fördermechanismus für einen ausgewogenen Einspeiseanreiz. Die Wirtschaftlichkeit von neuen EE (Erneuerbare Energien)-Großanlagen wird abgesichert, indem ein sogenanntes „produktionsunabhängiges Instrument“ einerseits die Investition der Anlagenbetreiber staatlich absichert, andererseits Anreize setzt, die Wind- oder PV-Anlagen möglichst systemdienlich auszuliegen und zu betreiben. Ergänzt wird es durch *Power Purchase Agreements* (PPAs).

### Flexibilität

Dank eines erheblichen Digitalisierungsfortschritts können Unternehmen und Bürgerinnen und Bürger 2030 Stromtarife wählen, die es erlauben, ohne Komforteinbußen deutlich flexibler als heute auf Stromangebot und -nachfrage reagieren zu können. Stromversorger bieten dynamische Stromtarife an und Netzentgelte werden zeitvariabel ausgestaltet. Haushalte, die das Laden von E-Pkw sowie den Einsatz von Wärmepumpen und Heimspeichern flexibel betreiben, profitieren so von günstigen Strompreisen. Die Netzentgelte für die energieintensive Industrie werden so ausgestaltet, dass statt ineffizientem Dauerverbrauch – dort wo es technisch und organisatorisch möglich ist – flexibleres Verbrauchsverhalten wirtschaftlich attraktiv wird. Neue Elektrolyseure (6 GW), Batterien (60 GW, inklusive Heimspeicher) und 6 GW *Power-To-Heat*-Kessel werden dynamisch entsprechend der Strompreise und Netzengpässe betrieben. Dadurch stabilisieren sich die Marktwerte, Abregelungen von Solar- und Windanlagen nehmen ab und brennstoffbasierte Kraftwerke kommen seltener zum Einsatz.

### Installierte Leistung

→ Abb. 9



## Regelbare Kraftwerksleistung

Der ETS I-Minderungspfad mit der Umsetzung der EU-ETS-Reformen führt dazu, dass die letzten neuen CO<sub>2</sub>-Zertifikate 2039 auf den Markt kommen. Im Szenario steigt der EU-ETS I-Preis auf rund 130 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub>. Dadurch wird die teurere Kohleverstromung bis 2030 vollständig aus dem Markt gedrängt – ein Teil der Kraftwerke wird allerdings als Reserve vorgehalten. Damit wird die Frage gesicherter Kraftwerksleistung immer wichtiger. Im Szenario werden bis 2030 10 GW neue Gaskraftwerke gebaut, bis 2035 kommen weitere 15 GW hinzu, die perspektivisch mit Wasserstoff betrieben werden. Um die Entwicklung dieser Projekte mit der notwendigen Geschwindigkeit zu ermöglichen, werden staatliche Ausschreibungen zum Bau von H<sub>2</sub>-ready-Gaskraftwerken durchgeführt und das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) auf die Nutzung von Wasserstoff ausgerichtet. Gleichzeitig wird der zukünftige Einsatz von Brennstoffen minimiert, indem dezentrale, marktliche Kapazitätsmechanismen die Breite der Flexibilitätstechnologien im Wettbewerb anreizen. Darüber hinaus erfolgt der KWK (Kraft-Wärme-Kopplung)-Betrieb ausschließlich stromgeführt.

## Fernwärme

Die Fernwärmenachfrage aus Gebäude- und Industriesektor steigt zwischen 2020 und 2030 um knapp 10 Prozent auf 122 TWh. Die Anzahl der an das Fernwärmenetz angeschlossenen Gebäude mit Wohnraum erhöht sich von heute etwa 1,4 Millionen auf 2,2 Millionen im Jahr 2030.

Der Umstieg auf klimaneutrale Wärmeerzeugung erfolgt vor allem durch den Einsatz neuer Großwärmepumpen und Elektrokessel deutlich schneller als bislang; insgesamt kommen die klimaneutralen Quellen auf 32 TWh Wärmeerzeugung (ohne Bioenergie). Ermöglicht wird diese Entwicklung durch einen Instrumentenmix: Eine Stromsteuersenkung und zeitvariable Netzentgelte reduzieren die Stromkosten für Großwärmepumpen und fördern ihren systemdienlichen Betrieb. Eine Aufstockung und Ausweitung der Förderung wird über die Bundesförderung

Effiziente Wärmenetze (BEW), kurzfristig über eine Anpassung des KWKG und langfristig durch ein neues Instrument gewährleistet. Zur Sicherstellung des nötigen Kapitals für die Investitionen werden bestimmte Risiken, zum Beispiel Anschlussraten beim Ausbau von Wärmenetzen, durch die öffentliche Hand abgesichert.

Diese Maßnahmen und Marktentwicklungen senken die Treibhausgasemissionen bis 2030 auf 98 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Sie liegen damit im Vergleich zu 2020 um 55 Prozent niedriger.

## Erdgas

Der Erdgasverbrauch geht bis zum Jahr 2030 um 16 Prozent gegenüber 2021 auf 739 TWh zurück. Der Großteil des Rückgangs entfällt dabei auf den Gebäudesektor: Durch den schrittweisen Übergang zu Wärmepumpen und Fernwärme sinkt der Erdgasverbrauch hier um mehr als ein Viertel. Zeitgleich sinkt der Gasbedarf der Industrie. In der Stromerzeugung steigt der Erdgasverbrauch hingegen – bedingt durch den Kohleausstieg – vorübergehend an.

Netzseitig wirken sich die Verbrauchsrückgänge am stärksten auf die Gasverteilnetze aus. Im Kontext der kommunalen Wärmeplanung entwickeln Kommunen Pläne für den Umgang mit den zunehmend weniger ausgelasteten Gasverteilnetzen. Parallel dazu wird der Ordnungsrahmen für Gasverteilnetze überarbeitet, um den Netzbetreibern bei angemessenem Vorlauf Stilllegungen von Teilen der Verteilnetze zu ermöglichen, Stranded Assets zu vermeiden und Kundinnen und Kunden vor unverhältnismäßigen Anstiegen der Gasnetznutzungsentgelte zu schützen. Nur ein kleiner Teil der Gasverteilnetze wird später zu Wasserstoffnetzen umgerüstet; für die übrigen Netze werden Stilllegungen zum Regelfall – gesetzlich vorgegebene Kriterien minimieren Rückbauverpflichtungen und senken so die Kosten.

## Energiewirtschaft – zentrale Politikinstrumente

→ Abb. 10

 <b>Marktregulierung</b>	 <b>Preisbasierte Anreize</b>	 <b>Finanzielle Unterstützung</b>
→ Absicherung EE-Ausbau: Investitionsinstrument (Bund), beschleunigte Flächenausweisungen (Länder) und zügige Genehmigungen (Kommunen)	→ Möglichkeit zur Kombination von PPA und staatlichen Investitionsinstrumenten, die Preissignale reflektieren	→ Absicherung der Wirtschaftlichkeit von Dach-PV über eine Kombination von Vor-Ort-Verbrauch mit einer einfachen Einspeiseprämie
→ Verpflichtung der Stromversorger zur Garantie der Versorgungssicherheit ihrer Kunden (dezentrale Kapazitätsmechanismen/Hedging)	→ Lösen von einheitlicher Strompreiszone und Phase-in dynamischer Netzentgelte und Tarifmodelle	
→ Ende staatlicher CO <sub>2</sub> -Zertifikatsausgabe 2039 (ETS I)	→ CO <sub>2</sub> -Preisfad auf 132 bzw. 194 EUR je Tonne im Jahr 2030 bzw. 2045 (ETS I)	→ Ausschreibungen steuerbarer Back-up-Kraftwerke, Förderung H <sub>2</sub> -Einsatz über Umlagesystem
→ Gasverteilnetze: Stilllegungen ermöglichen, Stranded Assets und unverhältnismäßige Anstiege der Netznutzungsentgelte vermeiden	→ Fernwärme-Verbraucherschutz durch Transparenzplattform und Ex-post-Preisaufsicht	→ Bundesförderung Effiziente Wärmenetze mit 3 Mrd. EUR/Jahr fortführen, Risiken des Fernwärmeausbaus absichern

Agora Energiewende (2024)

## 2030 bis 2040: Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Stromsystem

### Ausbau Erneuerbarer Energien

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung betragen 2040 nur noch 13 Gramm pro Kilowattstunde (kWh) und liegen damit 98 Prozent niedriger als 1990. Durch eine umfassende Elektrifizierung in allen Sektoren steigt die Stromnachfrage von 730 TWh im Jahr 2030 auf rund 1.000 TWh im Jahr 2040. Das Tempo des weiteren Ausbaus Erneuerbarer Energien bleibt dabei auf hohem Niveau, sodass die Gesamtzahl der Anlagen steigt, auch wenn viele EE-Anlagen der ersten Generation ersetzt werden müssen. Die Finanzierung des Ausbaus großer EE-Anlagen kann nun, nach Vollendung des Kohleausstiegs, zu immer größeren Anteilen über Marktmechanismen erfolgen.

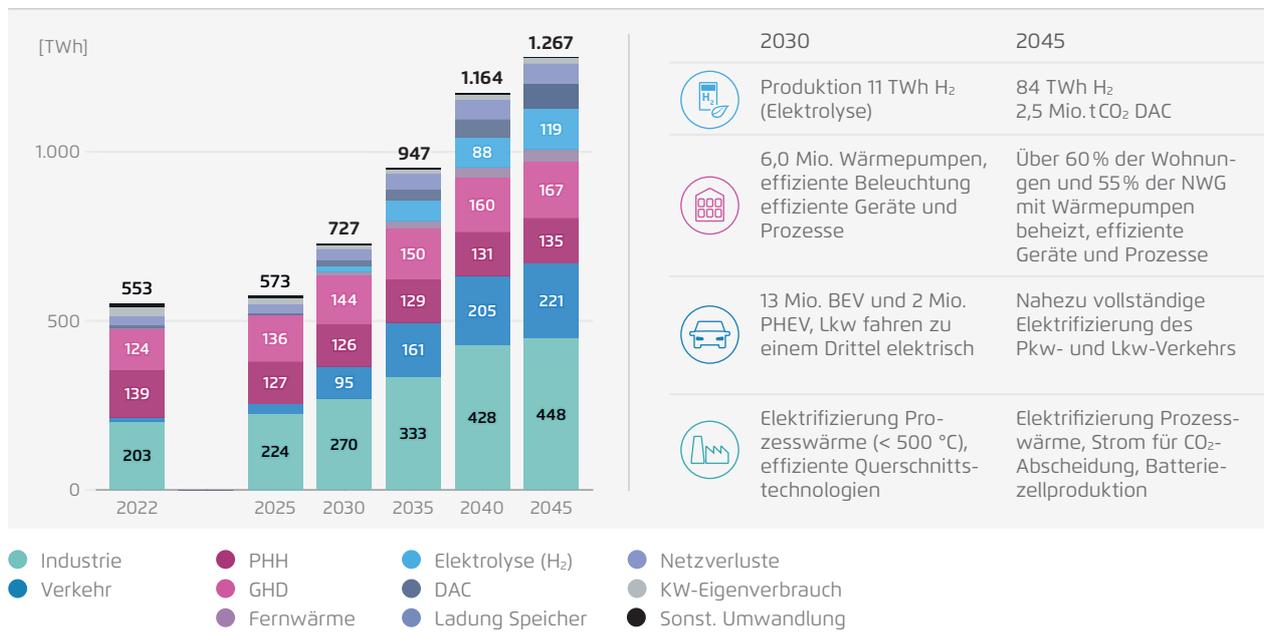
Der Zubau auf 67 GW Wind-Offshore-Anlagen bis 2040 erfolgt effizient: Er ist Teil eines mit den

Nachbarstaaten koordinierten Systems, das die Erträge der Windparks auf See verbessert und für den gleichen Gesamtertrag eine geringere Anzahl an Anlagen benötigt als in einem rein national optimierten System. Dies gilt insbesondere für Deutschland, das vergleichsweise geringe Seeflächen innerhalb seiner ausschließlichen Wirtschaftszone aufweist. Die Windanlagen selbst sowie ihre Netzanschlüsse sind europäische Verbundsysteme. Die Netzanschlussleistung nach Deutschland für Projekte ab 2030 kann kostensparend um 35 Prozent geringer ausfallen als die installierte Windleistung.

Deutschland profitiert noch auf weitere Art von der voranschreitenden Integration in den europäischen Strommarkt: Die Grenzkuppelkapazitäten, die die Stromaustauschkapazitäten zwischen Deutschland und seinen Nachbarmärkten bestimmen, werden im Szenario über das bisher geplante Maß auf 48 GW in 2040 ausgebaut.

## Stromnachfrage nach Sektoren

→ Abb. 11



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). H<sub>2</sub> = Wasserstoff; KW = Kraftwerk; DAC = Direct Air Capture; PHH = Private Haushalte; GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen; NWG = Nichtwohngebäude; BEV = Batterie-Elektrische Fahrzeuge; PHEV = Plugin-Hybride; Verbrauch von Speichern (brutto) beinhaltet Pumpspeicher und stationäre Batteriespeicher in der öffentlichen Versorgung. Der Stromverbrauch von Heimbatterien in Kombination mit PV-System wird hier nicht berücksichtigt.

### Flexibilität

Örtlich differenzierte Preissignale gewinnen zunehmend an Bedeutung, um Angebot und Nachfrage zu koordinieren und die Gesamtsystemkosten zu entlasten. Verschiedene Strompreiszonen innerhalb Deutschlands oder lokale Großhandelspreise sind effizienter als zuvor in der Lage, wetterabhängigen Verbrauch und Erzeugung und zeitabhängige Netzrestriktionen in eine effiziente tägliche Einsatzplanung von Kraftwerken, Speichern und flexiblen Verbrauchern umzusetzen und Standortentscheidungen für Neuanlagen so zu beeinflussen, dass sie den höchsten energiewirtschaftlichen Nutzen haben.

Auf Verteilnetzebene werden bis 2040 die dynamischen lokalen Netzentgelte von einem flächendeckenden Angebot zur neuen Norm. So erhöht sich die Anzahl flexibler Stromverbraucher. Im Szenario wird angenommen, dass durch sie zusätzliche Netzengpässe minimiert werden.

### Regelbare Kraftwerksleistung

Zudem nimmt die sukzessive Umstellung der Erdgasverstromung auf Wasserstoff an Fahrt auf. Der Anteil von Wasserstoff im Stromsektor steigt bis 2040 auf 54 Prozent. Um die Einsatzstunden der Erdgaskraftwerke zu senken und die Preisspitzen zu dämpfen, wird ab 2035 eine H<sub>2</sub>-Brennstoffkostenförderung eingeführt, die bei knappen Haushaltsmitteln über eine Umlage auf den Stromendkundenpreis finanziert werden kann. Ein Großteil der brennstoffbasierten Kraftwerke wird nur sehr selten genutzt. 2040 werden daher 10 GW an Kraftwerksleistung kostensparend als *Synfuel*-Kraftwerke betrieben. Denn diese haben zwar höhere Brennstoffkosten, bei weniger als 300 Benutzungsstunden fallen die Kapitalkosten jedoch deutlich stärker ins Gewicht. So wird auch der Infrastrukturbedarf an Wasserstoffnetzen und -speichern reduziert.

### Fernwärme

Die erzeugte Wärmemenge steigt zwischen 2030 und 2040 um rund 20 Prozent auf 168 TWh Wärme, bedingt durch eine weitere Steigerung der Anschlusszahlen von Gebäuden. Im Industriebereich geht die Nachfrage hingegen zurück, da vor allem Prozessdampf verstärkt vor Ort produziert wird.

Den größten Beitrag zur Wärmeerzeugung leisten Großwärmepumpen, die bis 2040 60 TWh Wärme pro Jahr liefern, daneben kommen auch tiefe Geothermie (14 TWh), industrielle Abwärme (9 TWh), Biomasse (22 TWh, mit biogenem Abfall) und Wärme aus Wasserstoff-KWK-Anlagen (24 TWh) sowie noch 19 TWh Erdgas zum Einsatz. Neben Kurzfristwärmespeichern zur Überbrückung von einigen Stunden spielen außerdem große saisonale Wärmespeicher eine wichtigere Rolle, 2040 liefern sie insgesamt 8 TWh Wärme. Die Wärmeerzeugung aus fossilen Abfällen in Abfallverbrennungsanlagen geht durch den Einbezug der Müllverbrennung in die CO<sub>2</sub>-Bepreisung und ein Vorschreiten der Kreislaufwirtschaft zurück; für die verbleibenden schwer vermeidbaren Emissionen aus der Abfallverbrennung von 2 Mio. t CO<sub>2</sub> in 2045 wird CCS eingesetzt.

### Erdgas

Zwischen 2030 und 2040 beschleunigt sich der Rückgang des Gasverbrauchs in Industrie und Gebäuden erheblich. Nach 2035 greift dann sehr schnell die Verknappung von Emissionszertifikaten im EU-ETS I, sodass der Erdgasausstieg in der Industrie 2040 nahezu vollzogen ist. Im Gebäudebereich dringen Wärmepumpen und Fernwärme weit in den Gebäudebestand vor.

Da sich der verbleibende Erdgasverbrauch auf den Kraftwerksbereich konzentriert, reduziert sich der Bedarf an Netzinfrastruktur erheblich. Ähnlich sieht es beim schrittweise stärker zum Einsatz kommenden Wasserstoff aus, der vorrangig in Energiewirtschaft und energieintensiver Industrie genutzt wird: auch hier fokussiert die Bereitstellung auf Transportnetze mit höheren Druckstufen. Der Großteil der Erdgasverteilnetze

wird deshalb in diesem Zeitraum stillgelegt – und treibt so wiederum den Energieträgerwechsel in den Nachfragesektoren voran.

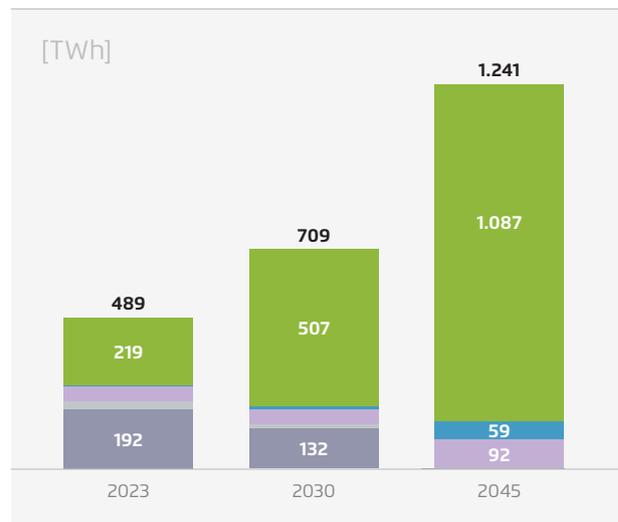
### 2040 bis 2045: Unterwegs zu netto Null und Negativemissionen

Durch die Elektrifizierung bei den Gebäuden, im Verkehr und in der Industrie steigt die Netto-stromerzeugung bis 2045 auf knapp 1.241 TWh an (Abbildung 12). Die installierte Leistung der Erneuerbaren Energien erreicht bei Wind an Land 180 GW, bei Wind offshore 73 GW und bei der PV 470 GW, davon 251 GW auf Dächern. Zwischen 2040 und 2045 erfolgt der vollständige Umstieg von Erdgas auf Wasserstoff und zum geringen Anteil auf flüssige synthetische Energieträger.

85 Prozent des Stroms wird direkt durch Erneuerbare Energien erzeugt. Allerdings verbleibt im Winterhalbjahr trotz Batteriespeichern, flexiblen Stromverbrauchern und Ausbau der Stromaustauschkapazitäten mit den europäischen Nachbarn eine residuale

Nettostromerzeugung

→ Abb. 12



● Kohle und Erdgas ● Sonstige ● H<sub>2</sub>-basiert, Bioenergie  
 ● Großspeicher\* ● Windkraft, Solar, Wasserkraft

Agora Energiewende und Prognos (2024). \*inklusive Vehicle-to-Grid, exklusive Heimspeicher

Stromnachfrage, die durch regelbare H<sub>2</sub>- und *Synfuel*-Kraftwerke (7 Prozent der Stromerzeugung) sowie Batteriespeicher und Pumpspeicherkraftwerke (weitere 6 Prozent) gedeckt werden. Dabei erzeugen Wasserkraftwerke etwa 65 TWh Strom. *Synfuel*-Kraftwerke stellen 2045 30 GW gesicherte Leistung bereit, kommen jedoch nur selten zur Abdeckung der Spitzenlast zum Einsatz und erzeugen lediglich 10 TWh Strom.

Da die meisten Gebäude energetisch saniert wurden, bleibt in der Fernwärme die erzeugte Wärmemenge zwischen 2040 und 2045 weitgehend konstant, obwohl mittlerweile rund 3,2 Millionen Gebäude an Wärmenetze angeschlossen sind. In dieser Zeit werden die letzten Schritte zur (annähernden) Klimaneutralität vollzogen.

### 3.2 Industrie

Der **Industriesektor** umfasst das verarbeitende Gewerbe und die Bauwirtschaft. Rund 60 Prozent der Treibhausgasemissionen der Industrie entfallen auf die Herstellung von Stahl, Zement und Chemierprodukten. Die restlichen 40 Prozent gehen auf die Herstellung weiterer energieintensiver Produkte, insbesondere von Glas, Kalk, Papier und Aluminium

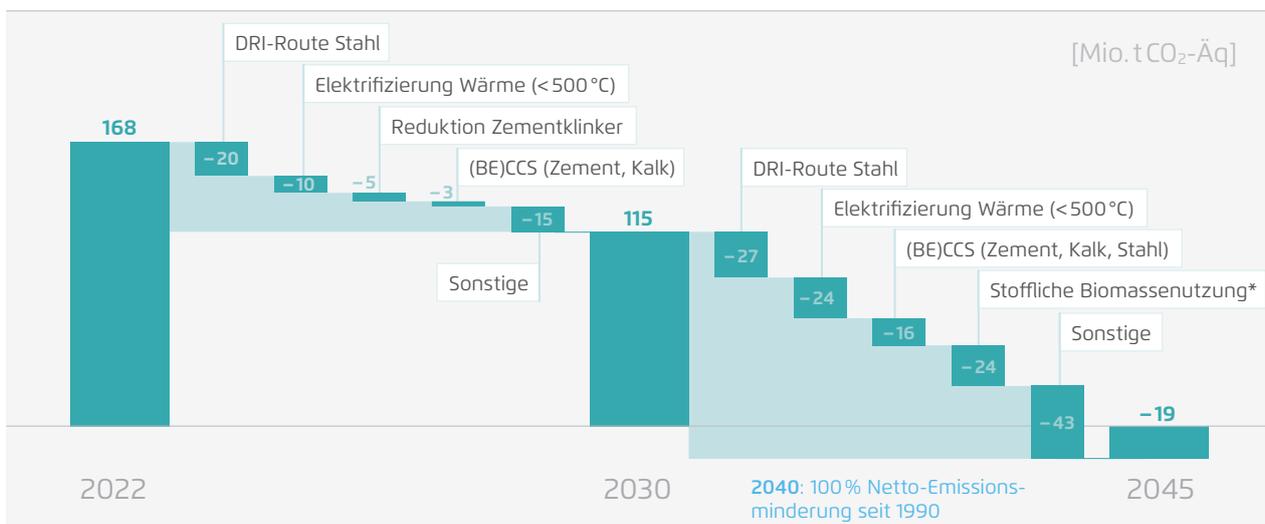
sowie Produkte weniger energieintensiver Branchen, zurück. Die Emissionen der Industrie sind zu rund zwei Dritteln energiebedingte Emissionen aus der Verbrennung meist fossiler Energieträger und zu einem Drittel prozessbedingte Emissionen.

Im Jahr 2022 lagen die **Treibhausgasemissionen** des Industriesektors gemäß der KSG-Abgrenzung bei 168 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.<sup>5</sup> In den Jahren 2022 und 2023 gingen die Emissionen stark zurück, vor allem als Folge von konjunktur- und energiepreisbedingten Produktionsrückgängen. Hierzu zählen vor allem Lieferengpässe im Kontext der Covid-19-Pandemie und die durch den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine ausgelöste fossile Energiepreiskrise. Zugleich gibt die Reform des ETS I der Industrie ein ambitioniertes Klimaneutralitätsziel vor: Dadurch, dass im Jahr 2039 die letzten Emissionszertifikate ausgegeben werden, muss die Industrie bis 2040 weitgehend klimaneutral sein.

5 Diese und folgende Aussagen zu Treibhausgas-Mengen bis 2023 nach UBA 2024 „Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor Industrie des Klimaschutzgesetzes (KSG)“.

Industriesektor – Reduktion der Treibhausgasemissionen

→ Abb. 13



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). \*in der Chemieindustrie, inkl. Bio-CCS

Um die Industrie in einer angespannten wirtschaftlichen Lage zu unterstützen, braucht sie zuvorderst Planungssicherheit. Damit die Emissionen im Industriesektor auch bei wieder ansteigenden Produktionsmengen sinken, müssen Investitionen in klimaneutrale Produktionsprozesse deutlich beschleunigt werden. Daneben sind auch die Verfügbarkeit von wettbewerbsfähigem Strom und Wasserstoff und der dafür erforderlichen Infrastrukturen (*upstream*-Prozesse) sowie die Etablierung neuer Märkte für klimafreundliche Grundstoffe (*downstream*-Prozesse) zentral.

### 2025 bis 2030: Strom löst Erdgas als zentralen Energieträger ab

Die **Treibhausgasemissionen** der Industrie sinken bis 2030 um rund 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq auf 115 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Strom wird gegenüber Erdgas wirtschaftlich attraktiv und löst zunehmend Erdgas als zentralen Energieträger für die Industrie ab. Ermöglicht wird dies durch den konsequenten Hochlauf der Erneuerbaren Energien und den Ausbau der Strom- und Wasserstoffnetze, eine Abgabenreform, unter anderem bei den Netzentgelten, sowie eine Investitionsförderung für industrielle Wärmepumpen, um die Elektrifizierung industrieller Prozesswärme anzureizen. Bis 2030 erfolgt der Technologiehochlauf bei direktelektrischen Lösungen und bis 2040 dann die Marktdurchdringung in der Breite (Abbildung 14).

### Stahlindustrie

Rund ein Drittel der Einsparung kommt aus der Stahlindustrie durch den erfolgreichen Aufbau von Anlagen zur Direktreduktion von Eisenerz (DRI) in Größenordnung der bereits angekündigten und durch Bund, Länder und EU geförderten Investitionen. Diese werden anfangs mit Erdgas und Wasserstoff und zu kleinen Teilen mit aus Biomasse gewonnenem Synthesegas betrieben. Es wird angenommen, dass die Stahlnachfrage sich bis 2030 wieder auf dem Niveau von 2019 stabilisiert und sich auch die Stahlproduktion erholt.

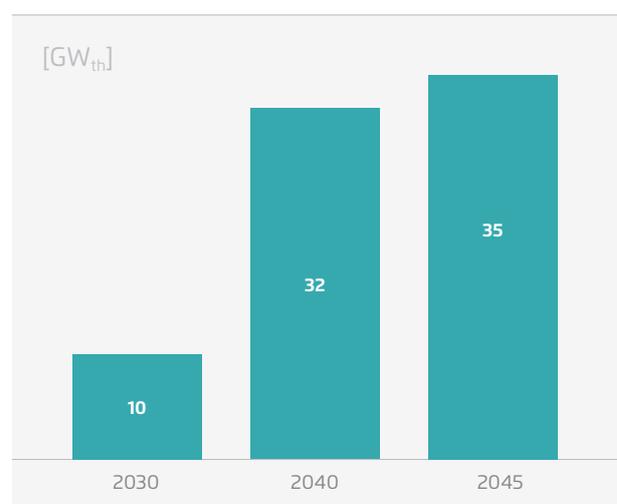
Mehrkosten der CO<sub>2</sub>-ärmeren Grundstoffproduktion auf Produktebene machen nur einen geringen Anteil des Kaufpreises aus – durch den Einsatz von „grünem“ Stahl in Fahrzeugen liegen die Mehrkosten beispielsweise bei 1 bis 2 Prozent des Fahrzeugpreises. In einem stark wettbewerbsorientierten Markt können beispielsweise Vorgaben in der öffentlichen Beschaffung für mit Grünstahl hergestellte Fahrzeuge ohne sehr große Mehrkosten helfen, die entsprechende Kaufbereitschaft zu erschließen.

### Zementindustrie

Die zweithöchsten absoluten Einsparungen fallen bei der Herstellung von Zement an, da die Nachfrage nach Zementklinker um mehr als ein Viertel sinkt. Das liegt am demographiebedingten Rückgang des Neubaus in Verbindung mit vermehrtem Holzbau, einem effizienteren Einsatz von Zement zur Betonherstellung sowie einer Absenkung des Klinkeranteils in Zementen. Eine höhere Materialeffizienz entlang der Wertschöpfungskette wird durch Anpassungen der Zement- und Baunormen sowie sogenannte *Embodied-Carbon*-Standards, die Grenzwerte für den CO<sub>2</sub>-Gehalt in Gebäuden setzen, angereizt. Ein weiterer Meilenstein bis

### Wärmepumpenhochlauf in der Industrie

→ Abb. 14



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

2030 ist der Einstieg in die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung, durch das zunehmende Preissignal des ETS I angereizt und durch staatliche Förderungen unterstützt.

### Chemieindustrie

Die Chemieindustrie steigt bis 2030 in die Umstellung der Eingangsstoffe für chemische Prozesse – sogenannte *Feedstocks* – ein: Statt aus Rohöl werden Chemikalien und Kunststoffe zunehmend auf Basis recycelter Kunststoffe hergestellt. Dies senkt die Emissionen im Abfallsektor, da weniger Kunststoff verbrannt wird. Angereizt wird die Entwicklung im Kunststoffbereich durch eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung im Abfallsektor, Quoten für den Rezyklateinsatz oder den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe bei der Herstellung von Verpackungen. Mindestanforderungen für Produktgruppen werden im Kontext der EU-Ökodesign-Verordnung sowie in Vorgaben für die öffentliche Beschaffung eingeführt. Die Dekarbonisierung der Düngemittelherzeugung erfolgt durch verstärkte Importe grünen Ammoniaks. Zur Absicherung der Düngemittel- und Nahrungsmittelproduktion behält Deutschland auch eigene Produktionsanlagen.

### Branchenübergreifende Entwicklungen

Um diesen **Technologiehochlauf zu ermöglichen**, nutzen Unternehmen anstehende Investitionszyklen für klimafreundliche Investitionen: Jede neu investierte Anlage ist nahezu klimaneutral. Insbesondere ab 2027 entfaltet der EU-Emissionshandel durch die Einführung des Grenzausgleichsmechanismus (*Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM*) und das damit verbundene Auslaufen der kostenfreien Zuteilungen eine Anreizwirkung zugunsten emissionsarmer Prozesse.<sup>6</sup> Parallel schließen Förderprogramme die verbleibende Kostenlücke zu konventionellen Technologien. Klimaschutzverträge für die energieintensive Industrie werden fortgeführt und so weiterentwickelt, dass sie auch Kleinstunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zugänglich sind und weitere Anwendungsbereiche finden

<sup>6</sup> Aktuell erhält die Industrie, die vom EU-ETS I erfasst ist, zu großen Teilen die notwendigen Emissionszertifikate kostenlos zugeteilt, um Verlagerungen der Emissionen ins Ausland (*Carbon Leakage*) zu verhindern. Ab 2026 wird dieses System des *Carbon-Leakage*-Schutzes schrittweise durch einen CBAM ersetzt. Die kostenlose Zuteilung für die Herstellung von Waren, die unter das CBAM fallen, wird ab dem Jahr 2026 bis zum Jahr 2034 schrittweise reduziert.

## Industriesektor – zentrale Politikinstrumente

→ Abb. 15

 Marktregulierung	 Preisbasierte Anreize	 Finanzielle Unterstützung
→ Labels für klimafreundliche Grundstoffe	→ EU-ETS I: Auslaufen kostenloser Zuteilung, Einführung CBAM, Ende CO <sub>2</sub> -Zertifikatsausgabe 2039	→ Klimaschutzverträge: Fortführung und Weiterentwicklung für energieintensive Industrien und KMU
→ Quoten für klimafreundliche Grundstoffe in der öffentlichen Beschaffung, Embodied-Carbon-Standards für Gebäude	→ Preissignale für Substitution fossiler Rohstoffe durch Biomasse und Recycling	→ Investitionsförderung für industrielle Wärmepumpen, Fokus KMU (Förderprogramm, Investitionsprämie)
→ Bedarfsgerechte CO <sub>2</sub> - und H <sub>2</sub> -Infrastruktur	→ Reform der Netzentgeltregulierung für Flexibilität	→ Fortführung Strompreiskompensation, Stromsteuersenkung
→ Begleitender Dialog zur Industrietransformation mit Wirtschaft, Politik und Wissenschaft	→ Finanzielle Anreize für den Einsatz klimafreundlicher Grundstoffe bei Endprodukten	→ Stärkung der Forschungs- und Innovationsförderung

(beispielsweise Dampferzeugung). Auf der **Nachfrageseite** sichern Anreize zum Kauf von klimaneutral hergestellten Produkten die notwendigen Investitionsentscheidungen ab, hierzu zählen beispielsweise Labels für klimafreundliche Grundstoffe.

Um das erforderliche Tempo zu erreichen, ist das **Leitmotiv** bei allen regulativen Vorhaben, die Komplexität zu reduzieren. Die Praktikabilität der Umsetzung steht im Zentrum. Bei der Einführung neuer Maßnahmen wird geprüft, wo bestehende Regelwerke genutzt oder vereinfacht werden können, bei Beibehaltung des Ambitionsniveaus und der Effektivität der Maßnahmen.

### 2030 bis 2040: Das Ende der fossilen Ära

In den 2030er-Jahren werden in allen Industriebranchen die Prozesse in der Breite auf **klimaneutrale Technologien** umgestellt: Durch Elektrifizierung, verstärkte Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz sowie den Einsatz von Wasserstoff und Biomasse werden Treibhausgasemissionen weitgehend vermieden. CCS wird für nicht vermeidbare Emissionen und Negativemissionen eingesetzt und bis 2040

bereits weitgehend skaliert, sodass 25 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2040 gespeichert werden. Durch diese Maßnahmen und beschleunigt durch die Verknappung von Emissionsberechtigungen im EU-ETS I wird die Industrie bereits bis 2040 netto klimaneutral. Der Erdgasverbrauch sinkt bis zum Jahr 2040 auf nahe null, der Stromverbrauch erhöht sich gegenüber 2025 bis 2040 um 90 Prozent auf 428 TWh (Abbildung 16).

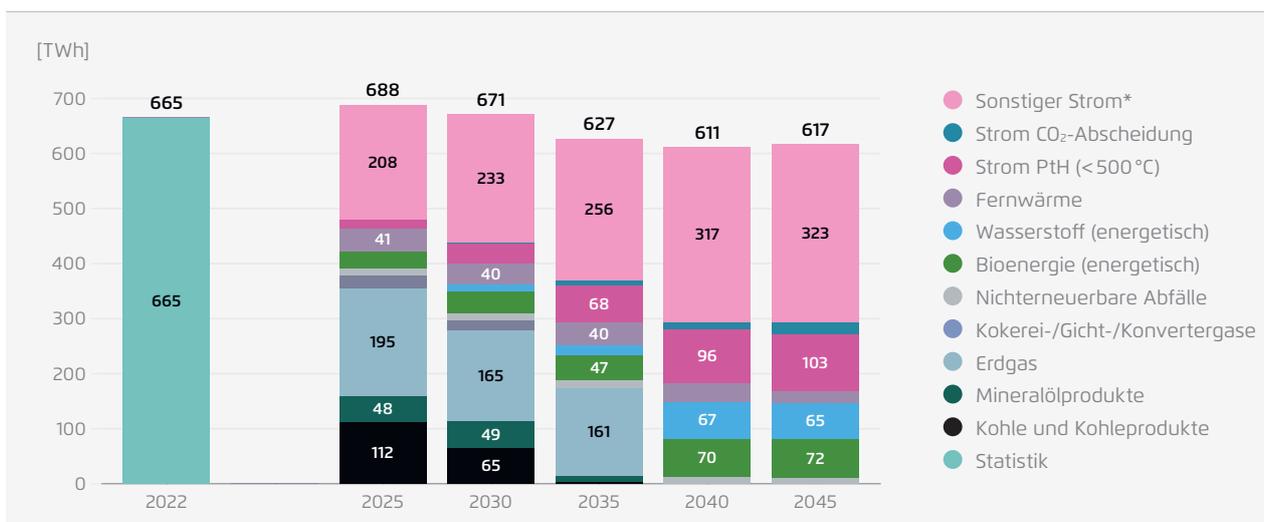
Da sich viele Unternehmen noch inmitten der Umstellung auf klimaneutrale Technologien befinden und vor kostenintensiven Modernisierungen stehen, sind Förderprogramme wie Klimaschutzverträge weiterhin wichtig. Die Umstellung wird durch eine industriepolitische Strategie und einen institutionalisierten Dialog mit Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft begleitet. Bei sich abzeichnenden regionalen oder branchenspezifischen Herausforderungen wird die Wirtschaft strukturpolitisch unterstützt.

### Stahlindustrie

Die **Stahlindustrie** steigt bis 2035 vollständig von der Kohle-basierten Hochofenroute auf DRI-Anlagen um, die anfangs noch vorrangig mit Erdgas betrieben werden. An den Standorten, an denen langfristig

Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Industriesektor

→ Abb. 16



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024), historische Daten: AG Energiebilanzen (2024). \*Sons-tiger Strom umfasst den herkömmlichen industriellen Strombedarf, zusätzlichen Strom für Elektrifizierung von Prozesswärme oberhalb von 500 °C sowie für neu angesiedelte Industrien, insbesondere die Batterie- und Chipherstellung. PtH = Power to Heat

ohnehin eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur benötigt wird, kann das entstehende CO<sub>2</sub> teilweise über CCS abgeschieden und gespeichert werden. Bis 2040 werden alle DRI-Anlagen mit Wasserstoff und biogenem Synthesegas betrieben. Durch CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung der entstehenden biogenen CO<sub>2</sub>-Mengen werden bis 2040 innerhalb der Stahlindustrie negative Emissionen in Höhe von 3 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt.

### Zementindustrie

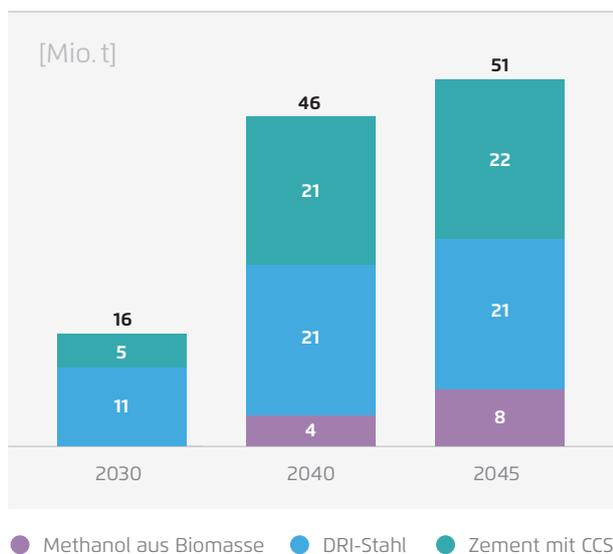
Die Zementindustrie reduziert ihre Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2040 auf eine Mio. t CO<sub>2</sub>. Entlang der gesamten Betonbau-Wertschöpfungskette erfolgt eine Effizienzsteigerung in Bezug auf den Klinkereinsatz, sodass die CO<sub>2</sub>-intensive Klinkerproduktion weiter sinkt. Das gelingt trotz wieder ansteigender Bautätigkeit durch Infrastrukturausbaubedarfe im Tiefbau. Bis 2040 erfolgt der vollständige Hochlauf der CO<sub>2</sub>-Abscheidung an fast allen verbleibenden Zementöfen.

### Chemieindustrie

In der Chemieindustrie werden ab 2030 chemisches Recycling und die stoffliche Nutzung von Biomasse ausgeweitet. Inländisch verfügbare Biomasse ersetzt fossiles Naphtha bei der Herstellung von Chemikalien und Kunststoffen. Bei der Verarbeitung von Biomasse anfallendes, prozessbedingtes biogenes CO<sub>2</sub> wird an infrastrukturell günstig gelegenen Standorten abgeschieden und geologisch gespeichert (sogenanntes Bio-CCS) – so werden in Produkten und in geologischen Speichern in Summe 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq biogener Kohlenstoff gebunden. Der Einsatz von importierten Erdölprodukten verringert sich so um rund 60 Prozent gegenüber dem Niveau vor der Pandemie. Durch die Umstellung der Produktionsprozesse, die Nutzung heimischer Biomasse und die Erschließung neuer Geschäftsmodelle entsteht neue Wertschöpfung im Land, gerade auch in ländlichen Regionen.

Um den Hochlauf innovativer biomassebasierter Verfahren zu ermöglichen, sind Finanzierungsmechanismen wie beispielsweise eine Umlage auf Kunststoffprodukte erforderlich. Mittelfristig scheint außerdem eine Bepreisung von stofflich genutztem fossilen Kohlenstoff im Sinne einer Ressourcenverbrauchsabgabe sinnvoll.

### Verfügbarkeit emissionsarm\* hergestellter Grundstoffe → Abb. 17



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). \* Grundstoffe mit deutlich reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zur konventionellen Produktion, inklusive Zement mit übergangsweise nur teilweiser CO<sub>2</sub>-Abscheidung und DRI-Stahl mit übergangsweisem Erdgaseinsatz.

### Branchenübergreifende Entwicklungen

Der in der Chemie- und Papierindustrie benötigte **Prozessdampf** wird im Szenario bis 2040 fast vollständig fossilfrei erzeugt. Hierfür spielen im Temperaturbereich bis 200 °C Wärmepumpen und bei höheren Temperaturen Elektrokessel eine zentrale Rolle. Bei hohen Strompreisen, insbesondere im Winter, werden sie um wasserstoffbetriebene KWK und Biomassekessel ergänzt. Die Dampfbereitstellung in KWK-Anlagen wird zunehmend flexibilisiert und optimiert sich am Strommarkt. So können die nachgelagerten Industrieprozesse zu jeder Zeit den erforderlichen Dampf beziehen.

**Märkten** für emissionsarm hergestellte Grundstoffe und Produkte kommt eine tragende Rolle zu. In den 2030er Jahren findet der zentrale Hochlauf statt, sodass bis 2040 ein Großteil der Grundstoffe

## → Was, wenn grüne energieintensive Vorprodukte günstig importiert werden?

Aufgrund eines internationalen Wettbewerbsdrucks könnte sich ein Teil der Wertschöpfungskette der Grundstoffindustrie in andere Länder verlagern – entweder weil die regulatorischen Rahmenbedingungen für einen attraktiven klimaneutralen Produktionsstandort in Deutschland nicht geschaffen worden sind oder weil grüne energieintensive Vorprodukte schneller günstig auf dem Weltmarkt verfügbar sind. In der Folge käme es – anders als im Haupt-Szenario angenommen – zu einem weitreichenden Import **energieintensiver Vorprodukte**. In einer Variante wurde daher untersucht, wie sich Importe von direkt reduziertem Eisen (DRI), das den weitaus höchsten Energiebedarf in der Stahlwertschöpfungskette hat, sowie Methanol für die Kunststoffherstellung auswirken würden. Die nachgelagerten Erzeugungsstufen bleiben dabei in Deutschland erhalten. Mögliche Auswirkungen auf Wertschöpfung und Arbeitsplätze wurden im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Allerdings haben frühere Studien einen nur begrenzten Effekt in diesen Bereichen festgestellt.<sup>7</sup>

In einem solchen Alternativszenario, in dem 2030 2,9 Mio. t, 2035 16,3 Mio. t und 2045 17,3 Mio. t DRI importiert werden, sinkt die Strom-, Wasserstoff- und Dampfnachfrage deutlich. Insgesamt liegt der industrielle Wasserstoffbedarf um 8 Prozent im Jahr 2035 und um 35 Prozent (35 TWh) im Jahr 2045 niedriger als im Hauptszenario. Hinzu kommen bis zum Jahr 2045 Einsparungen von 6,9 TWh Strom und 17,5 TWh Dampf.

Durch Methanol-Importe von 7,8 Mio. t im Jahr 2045 geht die Nachfrage nach holzartiger Biomasse um 14,4 Mio. t zurück und verdrängt damit die inländische Produktion biogener Feedstocks in Kombination mit CCS. Dadurch werden ab 2040 13 Mio. t weniger CO<sub>2</sub> eingespeichert. Auch in der Stahlherstellung sinkt der Bedarf für die Abscheidung und Einspeicherung von CO<sub>2</sub>, da in dieser Variante keine erdgasbetriebenen Direktreduktionsanlagen mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung vorkommen. Daher kann die CO<sub>2</sub>-Infrastruktur kleiner dimensioniert werden als beim vollständigeren Erhalt der gesamten Wertschöpfungsketten in Deutschland.

<sup>7</sup> Agora Industry (2023): 15 Insights on the Global Steel Transformation.

emissionsarm hergestellt wird (Abbildung 17). Neben Labels werden Quoten und fiskalische Instrumente, die bei Endprodukten den Einsatz von klimafreundlichen Grundstoffen fördern, in der Breite eingesetzt.

### 2040 bis 2045: Die Industrie als Netto-Kohlenstoffsenke

Nach 2040 spielt die Industrie neben den Landnutzungssektoren eine entscheidende Rolle bei der biogenen Kohlenstoffbindung. Im Jahr 2045 werden Netto-Negativemissionen in Höhe von 19 Mio. t CO<sub>2</sub> innerhalb des Industriesektors gebunden.

Dabei spielt die Chemieindustrie eine entscheidende Rolle: Insgesamt werden durch Bio-CCS und beim

Recycling im Jahr 2045 14 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq abgeschieden und gespeichert.<sup>8</sup> Bis 2045 wird ein Großteil der fossilen *Feedstocks* durch die stoffliche Nutzung heimischer Biomasse, das Recycling von Kunststoffabfällen sowie durch importiertes Methanol ersetzt. Bis 2050 steigt die Chemieindustrie vollständig aus der Nutzung fossiler Rohstoffe aus.

Zudem werden die letzten **Industriekraftwerke** von Erdgas auf klimaneutralen Wasserstoff umgestellt. Alle verbleibenden Öfen in der Zement- und Kalkindustrie sind 2045 mit CCS ausgestattet. Da der Klinkerbedarf in den 2040er-Jahren weiter sinkt,

<sup>8</sup> Zusätzlich wird noch eine Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq an mit fossilen *Feedstocks* betriebenen Steamcrackern abgeschieden und gespeichert.

ist für einzelne Öfen die Umrüstung knapp vor 2040 für wenige Betriebsjahre wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll, sodass diese 2045 stillgelegt werden.

### 3.3 Gebäude

Der Gebäudesektor umfasst im Szenario die Sektoren Private Haushalte (PHH) sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD).<sup>9</sup> Rund drei Viertel des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen entfallen dabei auf die privaten Haushalte. Die Energie wird überwiegend – ebenfalls zu rund drei Vierteln – für Heizung und warmes Wasser verwendet.

In Zukunft, so das Zielbild des Szenarios, soll ausreichend bezahlbarer und bedarfsgerechter Wohn- und Gewerberaum bereitstehen. Der Gebäudebestand soll klimaneutral werden und angesichts häufigeren Extremwetters gesundes Wohnen und Arbeiten ermöglichen. Die Weiterentwicklung des Bestandes

erfolgt flächen- und ressourceneffizient. Dazu dienen die folgenden zentralen Strategien:

Die **Wärmeversorgung** wird auf Erneuerbare Energien umgestellt. Dekarbonisierte Wärmenetze und mit erneuerbarem Strom betriebene Wärmepumpen sind dabei Schlüsseltechnologien. Deutlich effizientere Gebäude, die weniger Energie verbrauchen, fangen die im Winter geringer ausfallende erneuerbare Stromerzeugung auf.

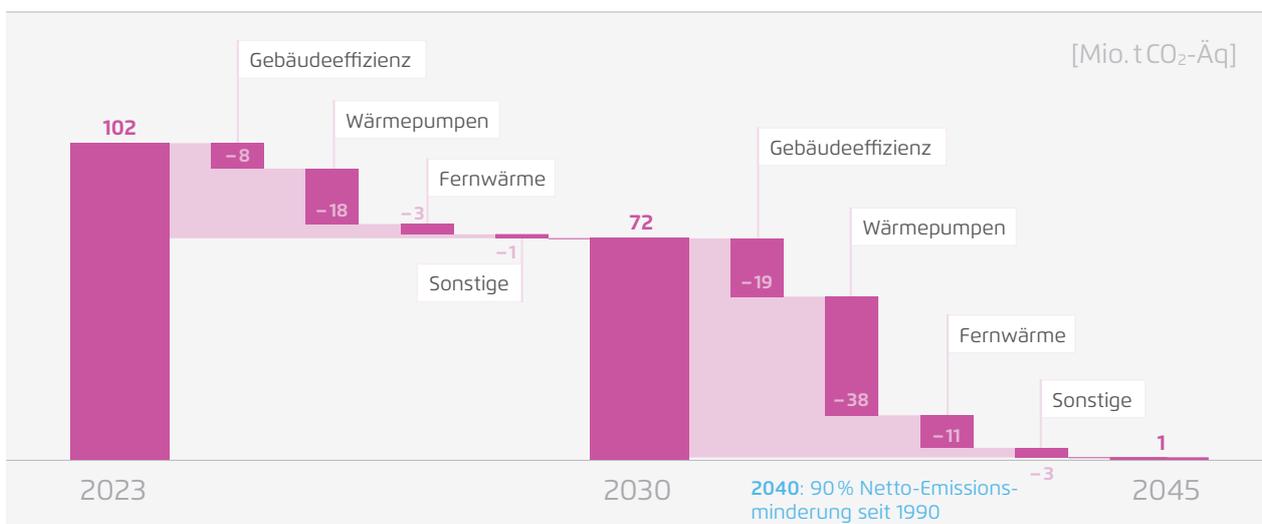
Das gelingt durch beschleunigte und tiefere Gebäudesanierungen. Sie schaffen zugleich eine Wertsteigerung und tragen zu einem gesünderen, klimaresilienteren Wohnen bei. Ein wichtiger Schlüssel für die ressourceneffiziente Wohnraumbeschaffung ist der verstärkte **Wohnungsbau im Gebäudebestand** (Aufstocken, Umbauen, Umnutzung von Gewerbeimmobilien).

Bisher sind die Fortschritte im Gebäudesektor überschaubar. Über 65 Prozent des Verbrauchs an Raumwärme und Warmwasser werden durch Erdgas und Heizöl gedeckt. Die Sanierungsaktivität bei der Gebäudehülle stieg in der Vergangenheit nicht wesentlich. Und seit 2005 entstehen jährlich

<sup>9</sup> Bei der Darstellung von Energieverbräuchen in PHH und GHD sind die Verbräuche an Strom und Fernwärme enthalten. Bei der Darstellung von Emissionen sind entsprechend der Abgrenzung im KSG nur die Emissionen der Brennstoffe enthalten.

## Gebäudesektor – Reduktion der Treibhausgasemissionen

→ Abb. 18



Agora Energiewende und Prognos (2024)

nur etwa 10 Prozent des neuen Wohnraums im Gebäudebestand.

Im Ergebnis sanken die Jahresemissionsmengen zwischen 2020 und 2023 zwar von 119 auf rund 102 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq, doch der Sektor verfehlte wiederholt sein Ziel nach dem KSG. Zudem ist ein Teil der bisherigen Einsparung auf besonders warme Witterung im Winter zurückzuführen.

Wegen der langen Lebensdauer von Gebäuden und Anlagen wirken Anreize zur Umstellung der Wärmeversorgung und energetischen Sanierung nur langsam. Daher ist es besonders wichtig, sie frühzeitig auf den Weg zu bringen. Außerdem hat frühes Handeln den Vorteil, dass die Umstellung besser im Rahmen der natürlichen technologischen Lebenszyklen von Anlagen gelingen kann.

## 2025 bis 2030: Zügiger Einstieg in grüne Wärmeversorgung und Gebäudesanierung

### Erneuerbare Heizung und effiziente Gebäude

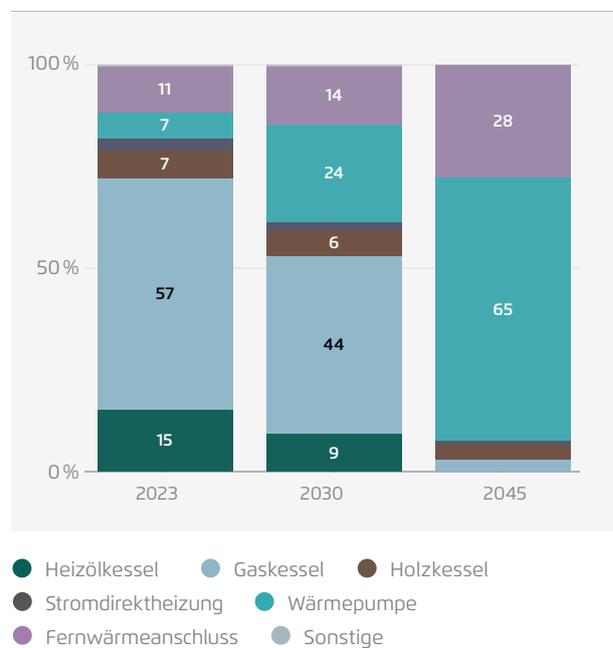
In der **Wärmeversorgung** steigt die Zahl jährlich neu an die Fernwärme angeschlossener Gebäude von aktuell 40.000 auf 90.000 im Jahr 2030. Ab dem Jahr 2028 werden jährlich 600.000 bis 650.000 Wärmepumpen neu eingebaut, vor allem in Bestandsgebäuden. Das entspricht in etwa dem heutigen Absatz an Gaskesseln. Mehrheitlich handelt es sich um Luft-Wasser-Wärmepumpen (LW-WP). Einen neuen Baustein bilden Luft-Luft-Wärmepumpen (LL-WP) – kleine und preisgünstige, Klimaanlage-ähnliche Geräte, welche auch kühlen können und unter anderem Etagenheizungen ersetzen oder (vorübergehend) in Kombination mit bestehenden Gasheizungen genutzt werden. Die Bedeutung von Holz als Baustoff nimmt zu. Zugleich behalten Holzessel einen Anteil von rund 6 bis 7 Prozent des Heizungsmarktes. Im Jahr 2030 werden 14 Prozent der Gebäudenutzfläche mit Fernwärme und 24 Prozent mit Wärmepumpen beheizt (Abbildung 19).

Um den **Raumwärmebedarf zu senken**, steigt die Sanierungsrate bis 2030 auf rund 1,6 Prozent.

Bei Vollsanierungen wird mindestens die dritthöchste Effizienzklasse, Klasse B, erreicht.<sup>10</sup> Deutlich häufiger sind jedoch Teilsanierungen einzelner Gebäudekomponenten; dabei ist die Effizienz der Komponenten mit Klasse B kompatibel. Ein zunehmender Anteil neuen **Wohnraums** entsteht durch Aufstockungen, Umnutzungen von Büroräumen oder Umbau und Untervermietung großer Wohnungen und Häuser.

## Beheizungsstruktur im Gebäudebestand

→ Abb. 19



Agora Energiewende und Prognos (2024)

Die Treibhausgasemissionen sinken auf 72 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 2030. Das Ziel des KSG von maximal 66 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq<sup>11</sup> wird allerdings verfehlt, da insbesondere die Gebäudesanierung erst langsam ihre Wirkung entfaltet.

<sup>10</sup> Die Skala der Energieeffizienzklassen für Wohngebäude reicht von A+ bis H.

<sup>11</sup> Basierend auf den gem. § 5 Abs. 5 i.V.m. Anlage 2a KSG angepassten Jahresemissionsmengen (Stand: 29.09.2024).

Um diese Entwicklung zu erreichen, müssen finanzielle, politische und soziale Herausforderungen gemeistert werden. Die Ertüchtigung von Gebäuden, Wärmenetzen und Heizungen erfordern substantielle Investitionen: Im Szenario steigen sie von 200 Mrd. EUR jährlich im Zeitraum von 2025 bis 2030 auf 210 Mrd. EUR jährlich im Zeitraum von 2040 bis 2045. Um die nötigen privaten Investitionen zu stimulieren, ist ein kluger politischer Rahmen erforderlich. Zugleich gilt es, vulnerable Gruppen vor Energiearmut zu schützen und die Kosten und Nutzen im vermieteten Bestand fair auf die Mietenden und Vermietenden zu verteilen. Im Szenario wird ein wirkungsvoller und ausgewogener Politikmix eingesetzt, um diese Herausforderungen zu adressieren.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> CO<sub>2</sub>-Preis, Marktregulierung und Förderinstrumente wurden direkt in ihren Auswirkungen modelliert. Weitere unterstützende Instrumente werden qualitativ beschrieben.

### Effiziente Preisanreize

Ein wesentlicher Baustein sind ökonomische Anreize. Der CO<sub>2</sub>-Preis steigt bis 2030 auf 124 EUR<sub>2022</sub>/t. Zugleich macht eine Reform der Steuern, Abgaben und Umlagen grünen Strom wettbewerbsfähiger gegenüber Erdgas. Eine Reform der Netzentgelte schafft Anreize für flexiblen Stromverbrauch und reduziert die Stromkosten von Wärmepumpen. Die EU-Taxonomie wird so umgestaltet, dass sie die Sanierung der ineffizientesten Gebäude honoriert.

Dies reicht aber für sich genommen nicht aus, um ein Umsteuern einzuleiten. Wegen der hohen Investitionskosten und Unsicherheiten über künftige Preise können oder wollen viele Immobilieneigentümerinnen nicht investieren. Zudem reduzieren hohe CO<sub>2</sub>-Preise typischerweise die verfügbaren finanziellen Mittel. Der Anreiz fällt im vermieteten Bestand außerdem schwächer aus, da Brennstoffkosten und



### Investitions- und Planungssicherheit durch einen nationalen CO<sub>2</sub>-Mindestpreis für Gebäude und Verkehr schaffen

Ab Beginn des Jahres 2027 tritt der EU-weite Emissionshandel ETS II in Kraft, der vor allem Emissionen aus dem Gebäudesektor und Straßenverkehr bepreist. Schätzungen zur Höhe der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Preise sind mit großen Unsicherheiten behaftet; sie reichen für das Jahr 2030 von 50 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub> bis hin zu über 200 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub>.<sup>11</sup> Das Preisniveau wird vor allem dadurch beeinflusst, ob und wie zeitnah insbesondere Länder mit hohen ETS II-Emissionen wie Deutschland weitere effektive Klimaschutzinstrumente verabschieden, die die CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit auch die Nachfrage nach CO<sub>2</sub>-Zertifikaten senken. Im Szenario wurde vor dem Hintergrund der zusätzlichen Klimaschutzinstrumente ein CO<sub>2</sub>-Preis in Höhe von 124 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub> für 2030 angenommen, der bis 2045 auf 188 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub> steigt.

Sollten zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen jedoch ausbleiben, könnte es zu schnell ansteigenden Preisen kommen. In diesem Fall könnte – insbesondere ohne ausreichende soziale Ausgleichsmechanismen – ein hoher politischer Druck entstehen, den ETS II-Preis durch zusätzliche Eingriffe auf einem niedrigen Niveau zu deckeln. Dies würde voraussichtlich zu einer Verfehlung der europäischen Klimaziele und in Deutschland potenziell zu einem Preisrückschritt gegenüber der bis 2026 geltenden nationalen CO<sub>2</sub>-Bepreisung führen. Um dies zu vermeiden und Planungs- und Investitionssicherheit für Bürgerinnen und Unternehmen zu schaffen, wäre die Einführung eines nationalen CO<sub>2</sub>-Mindestpreises in der oben genannten Höhe sinnvoll. Dieser könnte rechtssicher über einen CO<sub>2</sub>-Aufschlag bei der Energiesteuer implementiert werden.

<sup>11</sup> Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2023): Der CO<sub>2</sub>-Preis für Gebäude und Verkehr.

Teile des CO<sub>2</sub>-Preises von den Mietenden getragen werden. Schließlich sollten die CO<sub>2</sub>-Preise nicht beliebig steigen, denn sie belasten besonders Haushalte mit niedrigerem Einkommen.

### Eine zukunftssichere Marktregulierung

Daher sorgen Infrastrukturplanung und Marktregulierung für Planungssicherheit und für die nötige Geschwindigkeit und Ambition, sodass die CO<sub>2</sub>-Preise niedriger bleiben. Bei der **Wärmeversorgung** haben das Gesetz zur Kommunalen Wärmeplanung (WPG) und die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) bereits wichtige Weichen gestellt. Doch kurzfristig löste die öffentliche Debatte um das GEG Verunsicherung aus. Um Investitionssicherheit langfristig zu sichern und eine zukunftsfeste Umstellung der Wärmeversorgung schon vor 2026 beziehungsweise 2028 einzuleiten, nimmt das Szenario an, dass die Kommunen zügig zielkompatible Wärmepläne erstellen. Die Bürgerinnen und Bürger werden schon vor Abschluss der Planung über Vorrang- oder Ausschlussgebiete für den Wärmenetzausbau informiert. Verbraucherschutz und Vertrauen in die Fernwärme werden durch Regeln zur Preistransparenz sowie eine Preisaufsicht gestärkt. Außerdem erhalten Gasverteilnetzbetreiber im Szenario die gesetzliche Möglichkeit, mit hinreichender vorheriger Ankündigung Teile von Gasverteilnetzen stillzulegen. So können Haushalte rechtzeitig in Alternativen investieren und sich vor hohen Gaspreisen schützen.

Im Bereich der **Gebäudesanierung** werden die Anforderungen an Teilsanierungen zukunftsfest angehoben, sodass sie mit Effizienzklasse B kompatibel sind. Im Einklang mit der europäischen Gebäuderichtlinie (*Energy Performance of Buildings Directive*, EPBD) werden bis 2030 die 16 Prozent ineffizientesten Nichtwohngebäude renoviert. Auch für Wohngebäude gilt im Szenario eine Mindesteffizienz: Einfamilienhäuser im Jahr 2027 mindestens Klasse G, Mehrfamilienhäuser mindestens Klasse F. Mit den ambitionierteren – aber wegen des besseren Verhältnisses von Volumen und Außenfläche auch leichter zu erreichenden – Standards für Mehrfamilienhäuser werden die Mieter und Mieterinnen vor hohen Heizkosten geschützt. Die Standards steigen

2030 um eine Klasse. Ausnahmen gelten für wirtschaftlich nicht zumutbare Fälle. Für die vorzeitige Erreichung der Standards wird ein Förderbonus gewährt. Vereinfachungen im Baurecht machen das Bauen kostengünstiger und erleichtern es, mehr **Wohnraum** im Gebäudebestand zu schaffen.

### Eine verlässliche Förderung

Eine verlässliche Förderung hilft, hohe Anfangsinvestitionen zu stemmen. Die Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) und weitere Förderprogramme werden fortgeführt und die Fördermittel auf einem Niveau von circa 20 Mrd. EUR pro Jahr verstetigt. Ein Teil der Mittel wird genutzt, um hohe Kostenbelastungen bei Haushalten mit geringen finanziellen Mitteln abzufedern. Zugleich gewinnt die Finanzierung über vergünstigte Kredite zu vereinfachten Zugangsbedingungen an Bedeutung. Diese beheben gezielt das Problem hoher Anfangskosten und sparen gleichzeitig die Finanzmittel öffentlicher Haushalte.

In der **Wärmeversorgung** wird die Förderung vollständig umgeschichtet in erneuerbar betriebene Heizungen. Hybridlösungen und Holzheizungen werden nicht mehr gefördert, da Holz vor allem stofflich Verwendung finden soll. Fördermittel für die **Gebäudehülle** fließen ab 2025 nicht mehr in den – ohnehin schon sehr effizienten – Neubau, sondern vollständig in Bestandssanierungen. Die Förderung für Einzelmaßnahmen wird gestärkt, um in Kombination mit individuellen Sanierungsfahrplänen pragmatische, schrittweise erfolgende Sanierungen zu erleichtern. Bestehende Förderprogramme für **Aufstockung, Umbau oder Umnutzung** bestehender Gebäude werden weitergeführt und stark ausgeweitet. Die Bundesförderung Effiziente Wärmenetze (BEW) wird fortgeführt, um Netzerweiterungen und erneuerbare Wärmeerzeugung zu finanzieren. Die Fördermittel werden auf rund 3 Mrd. EUR pro Jahr angehoben, und so besser an den Bedarf angepasst.

Begleitend zum Politikmix erleichtern neue Vertriebsmodelle (wie Heizungsleasing) den Umstieg auf Wärmepumpen. Serielle Sanierungen und „Sanierungssprints“ ermöglichen schnellere Sanierungen,

Gebäudesektor – zentrale Politikinstrumente

→ Abb. 20

 <b>Marktregulierung</b>	 <b>Preisbasierte Anreize</b>	 <b>Finanzielle Unterstützung</b>
→ Planbarer Pfad von Mindesteffizienzanforderungen an Wohn- und Nichtwohngebäude unter Berücksichtigung von Härtefällen	→ CO <sub>2</sub> -Preis im ETS II: 124 EUR <sub>2022</sub> /t 2030 und 188 EUR <sub>2022</sub> /t 2045	→ Fortführung und soziale Ausgestaltung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (Sanierung und Heizungstausch) in Höhe von 20 Mrd. EUR/Jahr
→ Fortführung der 65%-Erneuerbaren-Anforderung an Heizungen im GEG	→ Einführung eines nationalen CO <sub>2</sub> -Mindestpreises	→ Neue Modelle der Kreditfinanzierung
→ Bei Teilsanierungen: Anforderungen an Komponenten kompatibel mit Effizienzklasse B	→ Umgestaltung der EU-Taxonomie, um Anreize für Sanierung der ineffizientesten Gebäude zu bieten	→ Ausweitung von Förderprogrammen zur Wohnraumschaffung im Bestand
→ Gesetzliche Möglichkeit, Gasverteilernetze mit rechtzeitiger Ankündigung stillzulegen	→ Günstiges Strom- / Gaspreisverhältnis durch Senkung von Netzentgelten und Stromsteuer; Wärmepumpen werden attraktiver	

Agora Energiewende (2024)

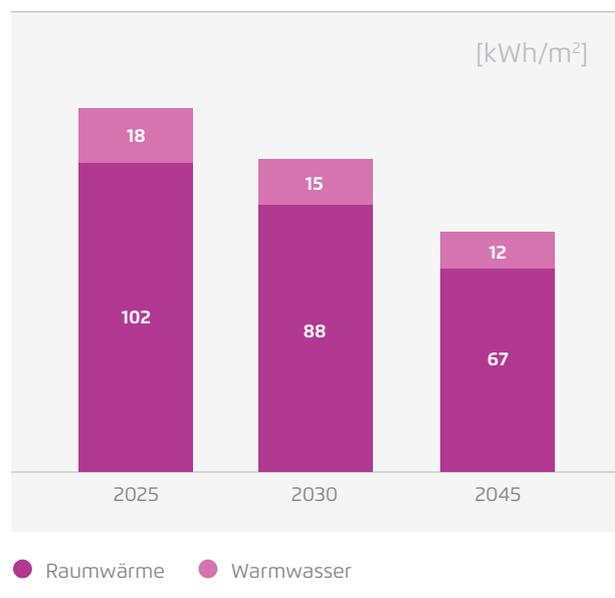
realisieren Skaleneffekte und ermöglichen es, Fachkräfte effizienter zu einsetzen.

Einsatz vom Holz als Energieträger ist ab 2030 rückläufig, während gleichzeitig die Bedeutung von Holz als Baustoff weiter zunimmt.

2030 bis 2040: Verstetigung des Umbaus

In der **Wärmeversorgung** beschleunigt sich nach Abschluss der Kommunalen Wärmeplanung der Ausbau der Wärmenetze. Die Anzahl der jährlich neu angeschlossenen Gebäude steigt bis 2040 auf 110.000. Für Gebäude, die nicht an Wärmenetzen anliegen, werden überwiegend elektrische Wärmepumpen angeschafft. Neue fossil befeuerte Heizungen werden mit Blick auf das nahende Ziel der Klimaneutralität und entsprechende regulatorische Vorgaben nicht mehr eingebaut. Der Anteil der mit Gas beheizten Gebäudenutzfläche sinkt somit im Szenario von heute 57 Prozent auf 18 Prozent im Jahr 2040. Davon sind 14 Prozent Erdgas; 3 Prozent der Gebäude vor allem in ländlichen Gebieten werden mit Biomethan beheizt, ein Prozent in der Nachbarschaft großer H<sub>2</sub>-Abnehmer mit H<sub>2</sub>-Gaskesseln. Mit dem fallenden Gasverbrauch steigen die Kosten pro gelieferter Kilowattstunde, sodass die Verbraucherinnen zunehmend aus dem Erdgas aussteigen. Immer mehr Gasnetze werden somit unwirtschaftlich und stillgelegt. Der

Spezifischer Endenergiebedarf im Gebäudebestand → Abb. 21



Agora Energiewende und Prognos (2024)

Auch der **Energieverbrauch** sinkt weiter durch verbesserten Wärmeschutz (Abbildung 21). Die Sanierungsrate bleibt hoch, bei rund 1,65 Prozent; das Ambitionsniveau etwa bei Klasse B.

Diese Veränderungen werden durch eine Fortschreibung des Maßnahmenmixes bis 2030 ermöglicht. Der ETS-II-Preis steigt bis 2040 auf 172 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub>. Die Mindesteffizienzanforderungen an Wohngebäude steigen in Dreijahresschritten bis 2036; sie liegen dann bei der Effizienzklasse D für Einfamilienhäuser. In Einklang mit der EPBD sind bis 2033 die 26 Prozent ineffizientesten Nichtwohngebäude renoviert.

### 2040 bis 2045: Der Gebäudesektor wird klimaneutral

Die beschriebenen Instrumente werden fortgeführt; der ETS II-Preis steigt auf 188 EUR<sub>2022</sub>/t CO<sub>2</sub>. In der **Wärmeversorgung** sind Gas- und Heizölkessel schon vor 2045 weitgehend durch Wärmenetze oder dezentrale Wärmepumpen ersetzt worden. Die im Jahr 2045 noch verbleibenden Gaskessel (3 Prozent der Gebäudenutzfläche) werden vollständig mit Biomethan oder Wasserstoff betrieben. Elektrische Wärmepumpen werden mit 65 Prozent der

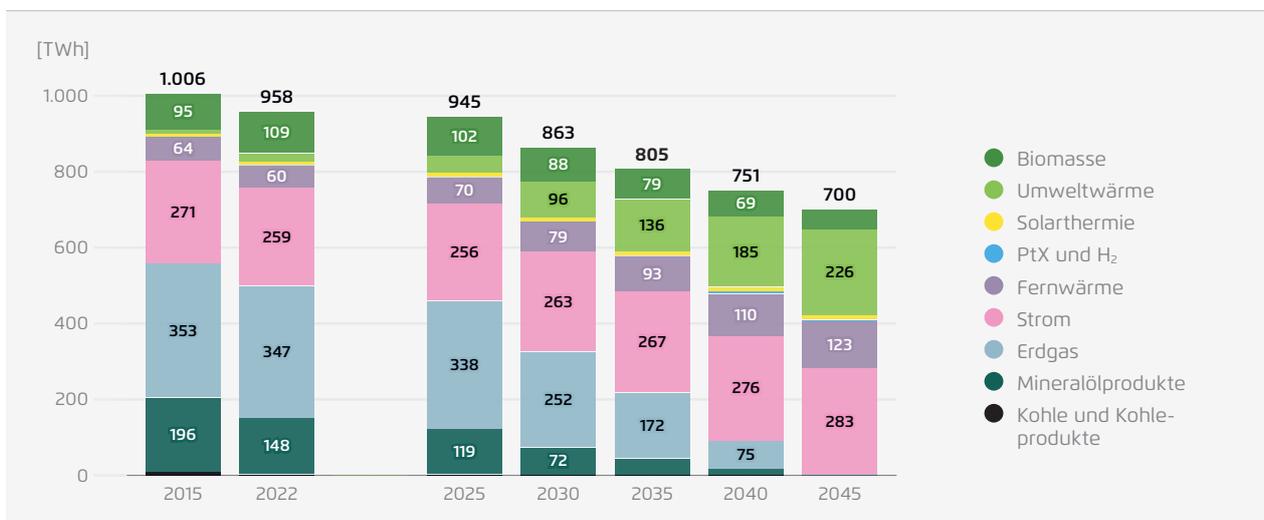
Gebäudenutzfläche zum wichtigsten Wärmeerzeuger. In dichtbesiedelten Gebieten mit hoher Wärmedichte hat auch die Fernwärme große Bedeutung; insgesamt werden 28 Prozent der Gebäudenutzfläche mit Fernwärme beheizt. Noch 4 Prozent entfallen auf Holz.

Die Menge an **Neubauten** verbleibt – wie schon seit 2025 – auf einem niedrigeren Niveau als im Zeitraum 2015 bis 2020. Dies ist im Wesentlichen auf die stagnierende beziehungsweise leicht rückläufige Bevölkerung zurückzuführen. Auch der Erhalt und die Aufwertung von bestehendem Wohnraum, die Umwidmung von Gewerbe- in Wohnflächen und die verbesserte Ausnutzung des Bestands tragen zum reduzierten Neubaubedarf bei. Bei einer weiterhin hohen **Sanierungsaktivität** mit einer Sanierungsrate von rund 1,5 Prozent erfolgt ein wesentlicher Teil der Wertschöpfung in der Bauwirtschaft durch Sanierungen.

Abbildung 22 zeigt die Entwicklung der Energieverbräuche, die sich daraus ergeben. Obwohl Strom eine hohe Bedeutung erlangt, steigt der Stromverbrauch wegen Effizienzsteigerungen der Gebäude und Gerätekäuf. Im Ergebnis emittiert der Gebäudesektor 2045 nur noch 1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq jährlich, was durch Negativemissionen in den Sektoren LULUCF (*Land Use, Land Use-Change and Forestry*) und Industrie mehr als ausgeglichen wird.

Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Gebäudesektor

→ Abb. 22



Agora Energiewende und Prognos (2024), historische Daten: AG Energiebilanzen und UBA (2024).

### 3.4 Verkehr

Der **Verkehrssektor** umfasst in der Abgrenzung des KSG den Straßenverkehr, den Schienenverkehr, die Küsten- und Binnenschifffahrt sowie den inländischen Luftverkehr. Mit über 95 Prozent entfallen nahezu alle nationalen Emissionen des Sektors auf die Verbrennung fossiler Kraftstoffe im Straßenverkehr, wobei wiederum Pkw etwa 60 Prozent und Nutzfahrzeuge knapp 40 Prozent der Emissionen verursachen. Hinzu kommen der internationale Flugverkehr und die Seeschifffahrt, die jedoch nicht in den Geltungsbereich des KSG fallen. Die Fortschritte im Verkehrssektor sind bislang gering. Seit 1990 sind die Emissionen erst um gut 10 Prozent gefallen, seine Minderungsziele gemäß des KSG hat der Sektor 2022 und 2023 jeweils deutlich verfehlt.

Die wirkmächtigste Maßnahme zur Emissionsenkung ist die **Elektrifizierung des Personen- und Straßengüterverkehrs**; begleitet werden muss sie von der **Mobilitätswende**, das heißt einer Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr auf den Fuß-, Rad- und öffentlichen Verkehr. Beide Strategien sichern zugängliche und bezahlbare Mobilität für alle Bürgerinnen und Bürger und Unternehmen – insgesamt steigt die Verkehrsleistung sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr bis 2045 an. Eine

geringere Schadstoff- und Lärmbelastung, mit Rad- und Fußverkehr verbundene Bewegung und weniger versiegelte Flächen tragen zu besserer Gesundheit und mehr Lebensqualität bei. Diese Entwicklungen kommen vor allem Haushalten mit geringem Einkommen zugute.

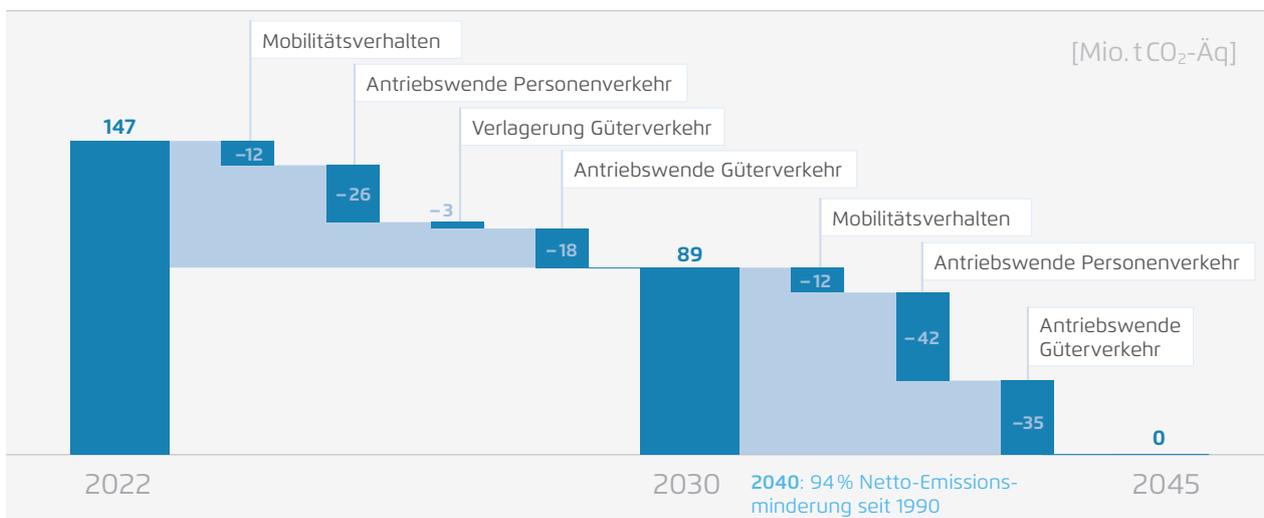
Aufgrund der langen Fahrzeugnutzungsdauern ist die **umgehende Umsetzung von Maßnahmen**, die die Antriebswende im Pkw- und Lkw-Bereich beschleunigen, zentral, um Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. Da auch die Steigerung von Kapazitäten im öffentlichen Verkehr im Allgemeinen sowie auf der Schiene im Besonderen sehr zeitaufwändig ist und sich zudem ein Investitionsrückstau gebildet hat, sind ebenfalls zeitnah Investitionen in die Infrastruktur erforderlich.

#### 2025 bis 2030: Der Verkehrsbereich holt auf

Auch wenn mithilfe zahlreicher Klimaschutzmaßnahmen die Antriebs- und Mobilitätswende im Verkehrsbereich bis 2030 deutlich Fahrt aufnimmt, verfehlt der Sektor mit 89 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 2030 sein indikatives KSG-Sektorziel. Die kumulativen Verfehlungen von 2021 bis 2030 summieren sich auf 133 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq – liegen damit jedoch um

Verkehrssektor – Reduktion der Treibhausgasemissionen

→ Abb. 23



Agora Verkehrswende und Öko-Institut (2024)

64 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq niedriger als im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario im Rahmen des Projektionsberichts der Bundesregierung.

### Antriebswende im Personenverkehr

Die Fortschritte werden durch einen **Mix aus preisbasierten Instrumenten, Marktregulierung und Förderung** erreicht – ihre volle Wirkung entfalten die Maßnahmen aufgrund des hohen Ausgangsbestands an Pkw mit Verbrennungsmotoren und der noch nicht voll ausgebauten Infrastruktur jedoch erst nach 2030.

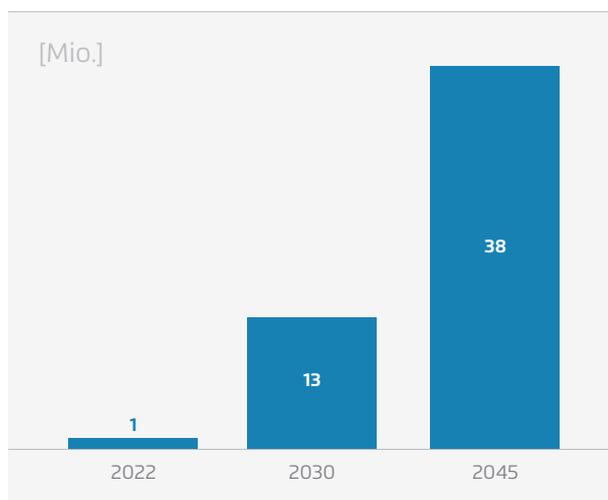
Preisbasierte Instrumente adressieren sowohl die Fahrzeugnutzung als auch die Anschaffungsscheidung. Dazu zählt insbesondere eine stärker emissionsorientierte und zum Zeitpunkt der Erstzulassung ansetzende Kfz-Besteuerung. Aus den Einnahmen werden Förderinstrumente finanziert, die gezielt die Anschaffung preiswerter und energieeffizienter vollelektrischer Pkw erleichtern und die noch bestehende Wirtschaftlichkeitslücke schließen; mittels verschiedener Beschaffungsmodelle, die auch Gebrauchtwagen umfassen, sollen insbesondere auch Haushalte mit geringem Einkommen beim Umstieg auf Elektromobilität unterstützt werden. Bei den gewerblichen Neuzulassungen wird

die Elektrifizierung durch eine Reform der Dienstwagenbesteuerung unterstützt; dabei wird der zu versteuernde geldwerte Vorteil von Verbrenner-Dienstwagen von heute 1 auf 1,5 Prozent angehoben. Dennoch wird aufgrund der bereits eingetretenen Verzögerungen das Ziel der Bundesregierung von 15 Millionen vollelektrischer Pkw auf der Straße im Jahr 2030 nicht erreicht (12,6 Millionen, siehe Abbildung 24).

Diese fahrzeugorientierten preisbasierten Instrumente verstärken die Wirkung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte, die für Planungssicherheit bei Verbraucherinnen und Verbrauchern und Infrastrukturanbietern sowie Investitionssicherheit und Entwicklungsdruck bei den Automobilherstellern sorgen.

Der Ersatz der Pendlerpauschale durch ein einkommensunabhängiges Mobilitätsgeld federt die Kosteneffekte des CO<sub>2</sub>-Preises für vulnerable Gruppen ab. Die Einführung eines allgemeinen Tempolimits von 130 km/h auf Autobahnen reduziert den Energiebedarf im Straßenverkehr und damit auch die Emissionen von mit fossilen Kraftstoffen angetriebenen Verbrennern. Die Richtlinie über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge und CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte bewirken, dass Busse im Stadtverkehr ab Anfang der 2030er-Jahre überwiegend elektrisch und auch dank staatlicher Förderungen für Verkehrsunternehmen bezahlbar sind.

### Bestand vollelektrischer Pkw → Abb. 24



Agora Verkehrswende und Öko-Institut (2024), historische Daten: Kraftfahrtbundesamt (2024)

### Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr

Der Ausbau von öffentlicher Infrastruktur fördert eine Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf öffentliche Verkehrsmittel sowie Rad- und Fußverkehr. Eine dichtere Taktung, erhöhte Pünktlichkeit, besser erreichbare Haltestellen, vereinfachte Tarifgestaltung sowie vernetzte und flexible Angebote setzen Anreize für den Umstieg. Die Fortführung des Deutschland-Tickets ermöglicht auch weiterhin eine preisgünstige Alternative zum Pkw. Auch die parallele Verteuerung des fossilen Pkw-Verkehrs durch den CO<sub>2</sub>-Preis, die Angleichung der Steuersätze auf Diesel und Ottokraftstoff sowie die Einführung eines Inflationsausgleichs bei der Energiesteuer unterstützen die Verlagerung. Zudem wird Ende des Jahrzehnts

eine fahrleistungsabhängige Pkw-Maut eingeführt, die zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur und eines attraktiven öffentlichen Verkehrs (ÖV) beiträgt und weitere Verlagerungsanreize setzt; in dem Zuge wird die bisherige jährlich zu entrichtende Kfz-Steuer für alle Pkw abgeschafft.

Die umfassende **Ertüchtigung und Modernisierung sowie der Ausbau des Schienennetzes** ermöglichen eine erste Stufe des Deutschlandtakts und kommen auch dem Schienengüterverkehr zugute; sie führen zu einer Phase des Wachstums und der Verlagerung von Warentransporten auf die Schiene.

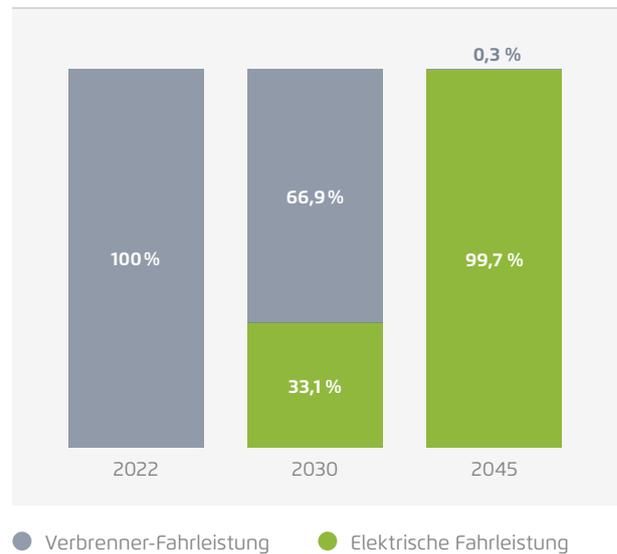
Die ambitionierten Verlagerungsziele der Bundesregierung, bis 2030 eine Verdopplung der Verkehrsleistung im Schienenpersonenverkehr und ein Anteil von 25 Prozent an der Verkehrsleistung im Schienengüterverkehr zu erreichen, werden aufgrund der Versäumnisse der Vergangenheit dennoch nicht erreicht.

### Antriebswende im Straßengüterverkehr

Das Regierungsziel, im Jahr 2030 ein Drittel der Fahrleistung von schweren Lkw elektrisch oder auf Basis strombasierter Kraftstoffe zu erbringen, wird erreicht. Bei den schweren Lkw, die einen Großteil ihrer Gesamtfahrleistung in den ersten Nutzungsjahren erbringen, steigen die Neuzulassungsanteile von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben auf über 70 Prozent. Der Anteil elektrischer Fahrleistung im Straßengüterverkehr liegt bei 33 Prozent (Abbildung 25).

Dabei sorgen insbesondere die CO<sub>2</sub>-Differenzierung der Lkw-Maut, die CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge sowie das Angleichen der Energiesteuer für Diesel für den schnellen Markthochlauf vollelektrischer Lkw. Aufgrund des starken Preisdrucks in der Logistikbranche lohnt sich für immer mehr Nutzungskonstellationen der Umstieg. Damit dies gelingt, werden öffentliche Flächen für Ladepunkte ausgewiesen, Ladeeinrichtungen standardisiert und Netzkapazitäten geschaffen. Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene unterstützen den Aufbau der Lkw-Ladeinfrastruktur, die Anschaffung effizienterer Trailer und den Umstieg auf

### Anteil elektrischer Fahrleistung im Straßengüterverkehr → Abb. 25



Agora Verkehrswende und Öko-Institut (2024), historische Daten: Kraftfahrtbundesamt (2024)

alternative Antriebe durch Beiträge zu den Mehrkosten der Fahrzeuge beziehungsweise Liquiditätshilfen.

### Luftverkehr

Die Energiebesteuerung von Kraftstoffen im inner-europäischen Verkehr sowie das Anheben der Ticketsteuer führen zur stärkeren Internalisierung von externen Kosten des Luftverkehrs. Der Einsatz erster Mengen an erneuerbaren Kraftstoffen wird über die europäische Mengenquote *ReFuelEU Aviation* angereizt.

### 2030 bis 2040: Vom Sorgenkind zum Vorreiter

Der Verkehrssektor wird in den 2030er-Jahren vom Sorgenkind zum Vorreiter. Antriebs- und Mobilitätswende lassen die Verkehrsemissionen in den 2030er-Jahren rasch sinken, auf 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq bis 2040.

### Antriebswende im Straßenverkehr

Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs setzt sich ab 2030 mit hohem Tempo weiter fort. Ab 2035 werden ausschließlich emissionsfreie Pkw

## Verkehrssektor – zentrale Politikinstrumente

→ Abb. 26

 Marktregulierung	 Preisbasierte Anreize	 Finanzielle Unterstützung
→ Steigerung und Verstetigung der Mittel sowie Planungsbeschleunigung für einen schnellen Ausbau der Schienen-, Fuß- und Radverkehrsinfrastruktur sowie des ÖPNV-Angebots	→ Einführung eines nationalen CO <sub>2</sub> -Mindestpreises	→ Attraktive und einfache ÖPNV-Tarife, Fortsetzung des Deutschlandtickets  → Kaufförderung für E-Autos mit Staffelung nach Preis und Energieverbrauch sowie sozialer Ausgestaltung
	→ Reform von Kfz-Steuer (Fälligkeit bei Erstzulassung, stärkere CO <sub>2</sub> -Orientierung), Dienstwagenbesteuerung (Anhebung des geldwerten Vorteils von Verbrennern)	
→ Allgemeines Tempolimit auf Autobahnen	→ Schrittweise Einführung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut	→ Umwandlung der Entfernungspauschale zu einem Mobilitätsgeld
→ Treibhausgasminderungsquoten für Kraftstoffe (Fokus insbesondere auf Luft- und Seeverkehr)	→ Inflationsanpassung und Angleichung der Energiesteuersätze	→ Unterstützung des raschen Aufbaus von Ladeinfrastruktur, insbesondere für Lkw
	→ Energiebesteuerung von Intra-EU-Flügen	

Agora Verkehrswende (2024)

zugelassen, darunter dominieren batterieelektrische Fahrzeuge (*Battery Electric Vehicle*, BEV). Brennstoffzellen-Fahrzeuge (*Fuel Cell Electric Vehicle*, FCEV) nehmen aufgrund ihrer deutlich höheren Gesamtnutzungskosten eine zu vernachlässigende Rolle ein. Der Bestand von Pkw mit Verbrennungsmotor geht zügig zurück; steigende Nutzungskosten vor allem aufgrund des CO<sub>2</sub>-Preises bewirken, dass sich Haushalte früher als heute üblich von ihren Verbrenner-Pkw trennen.

Eine Nebenfolge der voranschreitenden Elektrifizierung sind stetig sinkende Einnahmen aus der Energiesteuer. Um den Ausbau und Erhalt der Verkehrsinfrastruktur sicherzustellen sowie die Kosten fair auf alle Antriebsarten zu verteilen, wird eine fahrleistungsabhängige Pkw-Maut schrittweise in die vollständige Umsetzung überführt.

Nach den Stadtbussen sind auch Busse im Regional- und Fernverkehr größtenteils elektrisch unterwegs.

Bei den schweren Lkw liegt der Neuzulassunganteil von vollelektrischen Fahrzeugen im Jahr 2035

ebenfalls bei fast 100 Prozent, dabei dominieren BEV mit fast 80 Prozent, FCEV kommen auf knapp 20 Prozent.

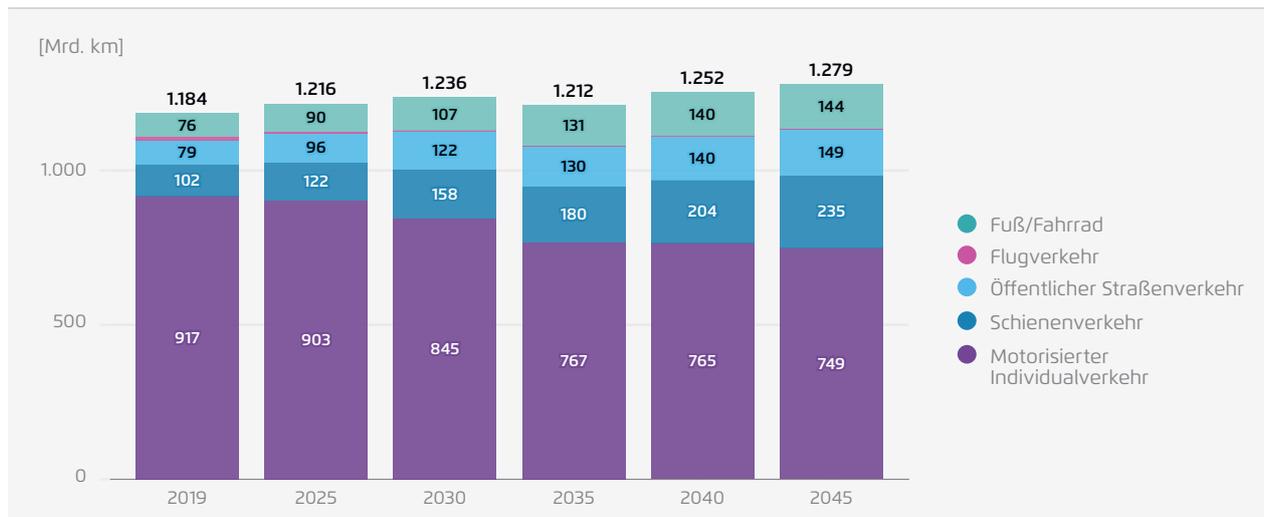
Die Verwendung von Biokraftstoffen im Straßenverkehr geht ab 2030 stetig zurück und endet im Jahr 2040; sie fokussiert sich zunehmend auf den Luft- und Schiffsverkehr, wo anders als im Straßenverkehr eine kostengünstigere direkte Elektrifizierung nicht möglich ist. Als Ausgangsrohstoff für die Biokraftstoffherstellung dienen zunehmend Rest- und Abfallstoffe (fortschrittliche Biokraftstoffe) nach der europäischen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (*Renewable Energy Directive*, RED).

### Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr

Die Verlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zum ÖV sowie Rad- und Fußverkehr setzt sich fort, nicht zuletzt aufgrund der fortgesetzten Infrastrukturinvestitionen. Die Verkehrsleistung im Schienenverkehr verdoppelt sich zwischen 2019 und 2040, der öffentliche Straßenverkehr wächst um 77 Prozent im gleichen Zeitraum und

## Entwicklung der Personenverkehrsnachfrage

→ Abb. 27



Agora Verkehrswende und Öko-Institut (2024)

der Rad- und Fußverkehr um 85 Prozent (Abbildung 27). Neben der Attraktivitätssteigerung des ÖV trägt der Ausbau von geteilten Mobilitätsangeboten (*Car-sharing, Ride-Sharing, autonome On-Demand-Angebote*) zu einem stetig abnehmenden Pkw-Bestand bei.

### Luftverkehr

Zur Reduktion von Emissionen im Flugverkehr dient eine Beimischquote für nachhaltige Flugkraftstoffe (*Sustainable Aviation Fuels, SAF*), die bis 2040 – und darüber hinaus – immer weiter ansteigt. Im Emissionshandel werden ab 2030 auch Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte berücksichtigt, die freie Zuteilung wird vollständig abgeschafft.

Eine steigende Ticketsteuer und der fortschreitende Ausbau der Schieneninfrastruktur fördern den Umstieg von Flugzeug und Pkw auf die Bahn zusätzlich. Ein Teil der Einnahmen aus der Luftverkehrssteuer sowie den ETS-Einnahmen werden zur Förderung des Produktionshochlaufs für alternative Kraftstoffe eingesetzt.

### 2040 bis 2045: Klimaschutz kommt an

Der **Endenergiebedarf** des Verkehrs liegt im Jahr 2045 bei knapp 280 TWh und beträgt damit weniger als die Hälfte des Endenergiebedarfs im Jahr 2023.

Bei gleichbleibend hoher Mobilität sind die Haupttreiber dieser Energieeinsparung die effizienteren elektrischen Antriebe sowie die Verlagerung auf die Schiene und den öffentlichen Straßenpersonenverkehr. Der Endenergiebedarf im Jahr 2045 wird zu 80 Prozent durch Strom gedeckt, weitere 12 Prozent durch Wasserstoff, 8 Prozent durch strombasierte Kraftstoffe.

Pkw- und Lkw-Bestand sind bis 2045 **nahezu vollständig elektrifiziert**. Der Trend hin zur Nutzung eines qualitativ und quantitativ gut ausgebauten ÖV sowie zum Rad- und Fußverkehr verstetigt sich. Es trennen sich noch mehr Haushalte von ihrem Verbrenner-Pkw, lediglich rund 2,4 Mio. Verbrenner- und Hybrid-Pkw verbleiben im Bestand des Jahres 2045, der insgesamt noch gut 40 Mio. Pkw umfasst. Erreicht wird dies durch die konsequente Umsetzung und Fortführung der oben beschriebenen Maßnahmen, wobei Förderbedarfe für Haushalte und Unternehmen im Laufe der Zeit deutlich abnehmen.

Im Straßengüterverkehr liegt der Anteil von Verbrenner-Lkw über 12 Tonnen bei 3 Prozent, während batterieelektrische Lkw 85 Prozent und Brennstoffzellen-Lkw 12 Prozent ausmachen. Angereizt durch die auf 100 Prozent steigende Treibhausgas-Minderungsquote für den Straßenverkehr werden letzte verbleibende Bedarfe an flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen durch strombasierte Kraftstoffe gedeckt.

Eine sehr geringe Restmenge fossiles Kerosin wird noch im nationalen Luftverkehr verbraucht, da ausreichende Mengen an emissionsfreien Kraftstoffen für den Luftverkehr erst im Jahr 2050 zur Verfügung stehen. Aufgrund des erst im Jahr 2050 vollständig erneuerbaren Kraftstoffmix im inländischen Luftverkehr fallen in 2045 geringe Restemissionen von weniger als 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq an.

### 3.5 Landwirtschaft

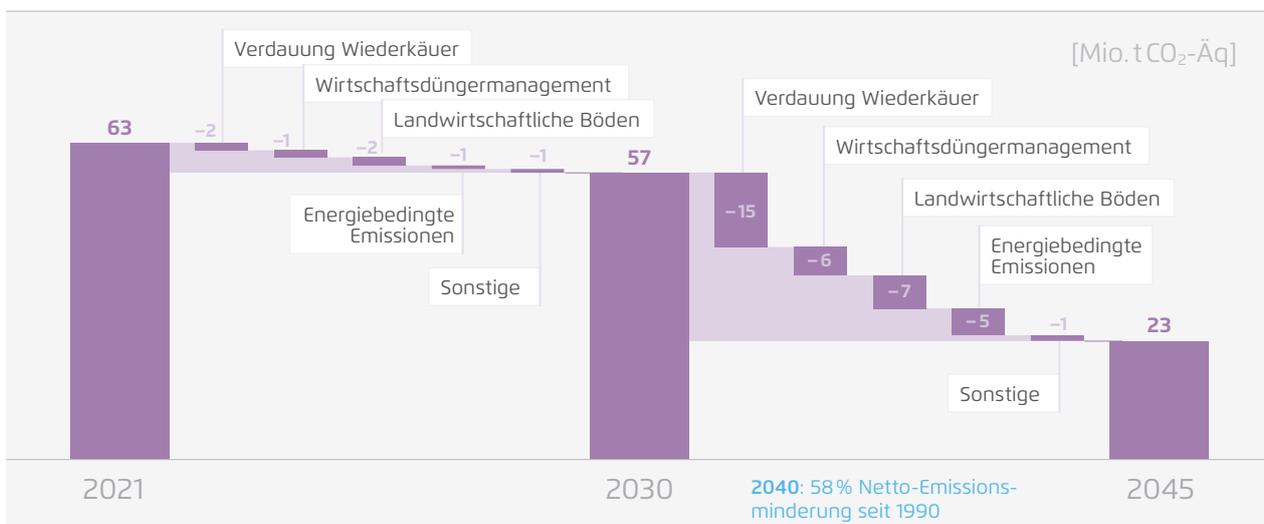
Der Landwirtschaftssektor umfasst im Wesentlichen Emissionen aus der Nutztierhaltung, dem Wirtschaftsdüngermanagement und Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden. Mehr als die Hälfte der Emissionen stammen aus der Nutztierhaltung – hauptsächlich durch verdauungsbedingte Methanemissionen von Wiederkäuern. Etwa ein Viertel sind Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden; energiebedingte Emissionen machen nur etwa 10 Prozent aus. Seit 2005 sind die landwirtschaftlichen Emissionen nur um 6 Prozent gesunken. Grund für den leichten Rückgang waren vor allem abnehmende Nutztierbestände.

Die Landwirtschaft und die landwirtschaftliche Nutzung von Moorböden, die im Sektor LULUCF erfasst wird, verursachten im Jahr 2021 etwa 12,6 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen. Dieser Anteil wird in den kommenden Jahren aufgrund der sinkenden Treibhausgasemissionen anderer Sektoren steigen.

Die Landwirtschaft produziert nicht nur Lebens- und Futtermittel und nachwachsende Rohstoffe für die Bioökonomie. Sie pflegt und gestaltet Landschaften und Ökosysteme, ist für das Wohlergehen von Nutztieren verantwortlich und kann dazu beitragen, der Atmosphäre CO<sub>2</sub> zu entziehen und den Kohlenstoff in Pflanzen und Boden zu binden. Die Landwirtschaft kann einen deutlich größeren Beitrag zur Klimaneutralität leisten als bisher, wenn ihre Treibhausgasemissionen substanziell sinken, mehr Kohlenstoff auf landwirtschaftlichen Flächen gespeichert wird und sie mehr Biomasse für die Bioökonomie produziert. Gleichzeitig ist es möglich, die biologische Vielfalt in Agrarlandschaften zu erhöhen und das Tierwohl zu verbessern. Klimaneutral wird die Landwirtschaft aber nicht, denn nicht alle mit der Haltung von Tieren und der Bewirtschaftung von Böden verbundenen Emissionen lassen sich vermeiden. Die verbleibenden Emissionen müssen im Jahr 2045 daher durch negative Emissionen ausgeglichen werden.

Landwirtschaftssektor – Reduktion der Treibhausgasemissionen

→ Abb. 28



Agora Agrar und Öko-Institut (2024) basierend auf UBA (2023), Agora Agriculture (2024) und Projektionsbericht Bundesregierung (2024)

Außerdem ist es wichtig, die Landwirtschaft an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Resiliente Systeme sind eine wichtige Grundlage für die Produktivität des Sektors. Besonders wertvoll sind Maßnahmen für den landwirtschaftlichen Klimaschutz und die Klimaanpassung, wenn sie Zusatznutzen für weitere Umweltschutzziele wie den Schutz der Biodiversität oder den Boden- und Gewässerschutz leisten.

Wichtige Handlungsfelder für einen größeren Beitrag zum Klimaschutz sind die Förderung einer stärker pflanzenbasierten Ernährung und damit einhergehend die Verringerung des Konsums und der Produktion tierischer Produkte, die Förderung von strukturierten Agrarlandschaften, die mehr Gehölze wie etwa Hecken, schnellwachsende Bäume oder Agroforstsysteme als heute enthalten, und der effiziente Einsatz von Düngemitteln. Auch technische Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sowohl in der Tierhaltung als auch im Ackerbau können einen relevanten Beitrag zur Emissionsminderung leisten.

Diese Potenziale der Landwirtschaft können dann mobilisiert werden, wenn die Beiträge zur Nachhaltigkeit durch politische Rahmenbedingungen zu einer ökonomischen Chance für Landwirtinnen und Landwirte werden. Außerdem bedarf es fairer Ernährungsumgebungen für Konsumentinnen und Konsumenten, die es ihnen leicht machen, sich gesund und nachhaltig zu ernähren.

## 2025 bis 2030: Veränderung beginnen

Basierend auf der Annahme, dass die Nachfrage nach tierischen Produkten bis 2030 weiterhin abnehmen wird und eine stärker pflanzenbetonte Ernährung an Bedeutung gewinnt, setzt sich der seit 2018 bestehende Rückgang der Nutztierbestände im Szenario bis zum Jahr 2030 fort. Eine solche Entwicklung ist für viele tierhaltende Betriebe eine Herausforderung und daher ist es wichtig, ihnen andere Einkommensmöglichkeiten zu eröffnen. Die Honorierung eines höheren Tierwohls ist eine solche Einkommensmöglichkeit.

Bei sinkenden Nutztierbeständen in den tierintensiven Regionen fällt weniger Wirtschaftsdünger an und die regionalen Stickstoffbilanzüberschüsse gehen zurück. Diese Entwicklung, gemeinsam mit einem effizienteren Nährstoffmanagement, hat das Potenzial, die Treibhausgasemissionen zu verringern. Zu einem effizienteren Nährstoffmanagement gehören unter anderem die Reduktion der Stickstoffverluste in Ställen und Lagern, ein Anstieg der Wirtschaftsdüngervergärung und der Einsatz von emissionsarmen Ausbringungstechnologien.

Der Einsatz von anderen Minderungstechnologien zur Reduktion der Treibhausgasemissionen gewinnt im Szenario an Bedeutung. Dazu gehören die Beimischung von Zusatzstoffen (zum Beispiel Futterzusatzstoffe, Stoffe zur Gülleansäuerung, Nitrifikationsinhibitoren und andere Düngezusatzstoffe) und die Präzisionslandwirtschaft. Bis 2030 leisten diese Technologien aufgrund ihrer begrenzten Verbreitung allerdings noch keinen substanziellen Beitrag zur Emissionsminderung.

Außerdem hat eine stärkere Integration von Gehölzstrukturen auf landwirtschaftlichen Flächen, zum Beispiel in Form von Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen, vielfältige Potenziale. Gehölze binden CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in der oberirdischen Biomasse und im Wurzelsystem, produzieren Biomasse, mit der fossile Rohstoffe ersetzt werden können und leisten einen Beitrag zum Schutz der Biodiversität und zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, wenn sie sinnvoll in die Agrarlandschaft integriert werden.

## Ausgewählte Maßnahmen

Damit die Landwirtschaft ihre Nachhaltigkeitspotenziale realisieren kann, sollten die politische Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass sie wirtschaftliche Chancen aus den Beiträgen zur Nachhaltigkeit eröffnen. Einen Beitrag dazu kann eine umfassende Klimapolitik für die Landwirtschaft leisten. Bis 2030 sollten die Eckpfeiler entwickelt sein. Dazu gehört die Definition eines Minderungsziels für die Treibhausgasemissionen für die Jahre nach 2030.

## Landwirtschaftssektor – zentrale Politikinstrumente

→ Abb. 29

 Marktregulierung	 Preisbasierte Anreize	 Finanzielle Unterstützung
→ Definition eines Minderungsziels für Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft für die Jahre nach 2030	→ Politikmix zur Verringerung der THG-Emissionen aus der Nutztierhaltung, inkl. Bepreisung	→ Zahlungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) zur Entlohnung gesellschaftlich gewünschter Leistungen
→ Standards und Kennzeichnung zur Verbesserung des Tierwohls	→ Bepreisung von Stickstoffüberschüssen	→ Langfristige staatliche Tierwohlprämien
→ Gesundheitliche Qualitätsstandards in der Gemeinschaftsverpflegung zur Schaffung fairer Ernährungsumgebungen	→ Finanzielle Anreize zur Minderung von Pflanzenschutzmittelrisiken	→ Förderung von THG-Minderungstechnologien in Tierhaltung und Ackerbau
	→ Förderung fairer Ernährungsumgebungen	→ Stärkung der Koordinierung auf Landschaftsebene und Innovationspartnerschaften

Agora Agrar (2024)

Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU sollte zunehmend zur Entlohnung von gesellschaftlich gewünschten Leistungen eingesetzt werden. Dazu zählen beispielsweise eine standortangepasste und vielfältige Fruchtfolgegestaltung, die Bewirtschaftung kleiner landwirtschaftlicher Bewirtschaftungseinheiten, der Erhalt und die Pflege halbnatürlicher Landschaftselemente sowie der Erhalt und die schonende Bewirtschaftung von Dauergrünland. Die Ausweitung der Flächen mit Gehölzen kann durch Investitionszuschüsse und gegebenenfalls Erhaltungsprämien für Kohlenstoff- oder Biodiversitätsleistungen unterstützt werden.

Tierwohlleistungen sollten mit staatlichen Tierwohlprämien unterstützt werden, damit die Tierhaltung in Deutschland im internationalen Wettbewerb bestehen kann. Wichtig ist, dass Landwirtinnen und Landwirte für das verbesserte Tierwohl langfristig verlässlich entlohnt werden, damit sie entsprechende Investitionsentscheidungen fällen können.

Faire Ernährungsumgebungen tragen dazu bei, dass eine gesunde und nachhaltige Ernährung zugänglich und erschwinglich für alle Bürgerinnen und Bürger ist. Hierzu gehört unter anderem, dass öffentliche Einrichtungen, wie Krankenhäuser, Schulen oder

Pflegeeinrichtungen eine Verpflegung anbieten, die an gesundheitliche Qualitätsstandards gebunden ist. Eine nachhaltige beitragsfreie Verpflegung in Kita und Schule ermöglicht allen Kindern den Zugang zu gesunden Mahlzeiten und macht Inhalte der Ernährungsbildung erlebbar.

Anreize für eine stärker pflanzliche Ernährung können auch durch eine veränderte Besteuerung von Lebensmitteln gesetzt werden: zum Beispiel durch eine schrittweise Anhebung des reduzierten Mehrwertsteuersatzes für tierische Produkte auf das reguläre Maß und eine Reduzierung des Steuersatzes für Obst, Gemüse oder Hülsenfrüchte. Gleichzeitig ist es wichtig, dass die Sozial- und Fiskalpolitik den Zugang zu gesunden und nachhaltigen Ernährungsweisen auch in sozioökonomisch vulnerablen Teilen der Bevölkerung unterstützt und so Ernährungsarmut mindert.

### 2030 bis 2040: Klima- und Biodiversitätsschutz als ökonomische Chance für die Landwirtschaft

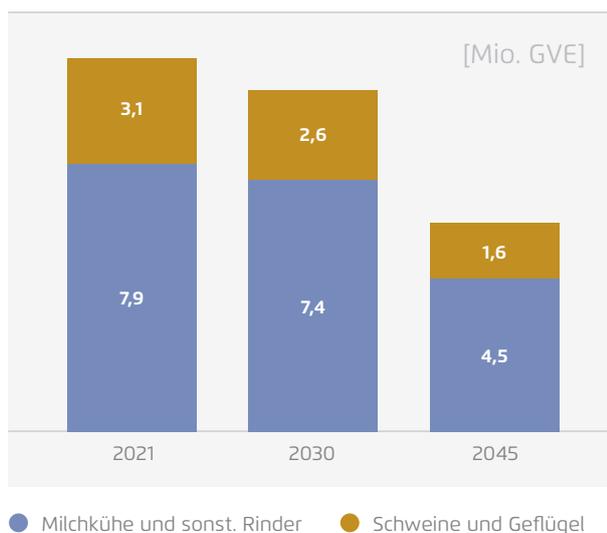
In dem Szenario werden zwischen 2030 und 2040 viele der oben skizzierten politischen Maßnahmen in der Breite wirksam, sodass der Reduktionspfad für Treibhausgasemissionen steiler wird.

Ein wichtiges Element ist die breite Etablierung von fairen Ernährungsumgebungen, die unter anderem dazu beitragen, dass die Nachfrage nach tierischen Produkten sinkt. So nehmen im Szenario die Emissionen aus der Nutztierhaltung ab (Abbildung 30) und werden nicht durch höhere Importe von tierischen Produkten aus anderen Ländern lediglich verschoben.

Technische Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen, wie die Gabe von Futterzusatzstoffen zur Verringerung der Methanemissionen sowie die Verwendung von Zusatzstoffen bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern und der Ausbringung von Düngemitteln, werden ab 2030 zunehmend eingesetzt.

Kleinere Schläge, vorzugsweise im Streifenanbau, sowie ein deutlich größerer Anteil von Gehölzstrukturen wie Hecken, schnellwachsenden Bäumen und Agroforstsystemen auf landwirtschaftlichen Flächen kombinieren den Schutz der Biodiversität mit der Etablierung von Kohlenstoffsenken und dem Ersatz fossiler Rohstoffe.

Entwicklung des Tierbestands → Abb. 30



Agora Agrar und Öko-Institut (2024) basierend auf UBA (2023), Agora Agriculture (2024) und Projektionsbericht Bundesregierung (2024). GVE = Großvieheinheiten

### Ausgewählte Maßnahmen

Klare Zielvereinbarungen über die Höhe der Treibhausgasemissionen für die Jahre 2040 und 2045 sind wichtige Bausteine für einen ambitionierten Klimaschutz in der Landwirtschaft. Die Bepreisung von Emissionen, aber auch die Entlohnung negativer Emissionen setzen die richtigen Anreize für den Klimaschutz.

Ein mögliches Instrument ist ein Emissionshandel für die Landwirtschaft und landwirtschaftlich genutzte Moore. Ein solcher Emissionshandel sollte die wichtigsten Emissionsquellen einbeziehen: die Emissionen aus der Tierhaltung, die Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden und die Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren. Eine Bepreisung der Emissionen aus der Tierhaltung sollte mit einem Grenzausgleich für emissionsintensive Produkte wie etwa Milchpulver, Butter und Rindfleisch einhergehen.

Landwirtinnen und Landwirte, die auf Moorstandorten wirtschaften, sollten die Emissionszertifikate in den ersten Jahren kostenlos erhalten, da derzeit weder die Voraussetzungen zur Wiedervernässung noch Wertschöpfungsketten zur nassen Nutzung vorhanden sind. Bei frühzeitiger Vernässung könnten die Landwirte die Zertifikate verkaufen und so neues Einkommen durch vermiedene Emissionen generieren.

Die Anlage von Gehölzstrukturen auf landwirtschaftlichen Flächen kann aufgrund ihres Beitrags zur Kohlenstoffbindung zu einem großen Teil durch Gelder aus der Klimafinanzierung entlohnt werden, ohne die negativen Emissionen direkt in den ETS einzubeziehen.

### 2040 bis 2045: Nachhaltig und produktiv – die Zukunft der Landnutzung

Ein wichtiges Element für die weitere Verringerung der Emissionen bis zum Jahr 2045 ist die im Szenario skizzierte Fortsetzung des Trends zu einer pflanzenbetonten Ernährung. Basierend auf der Annahme, dass im Jahr 2045 im Vergleich zum Jahr 2021 etwa

halb so viele tierische Produkte konsumiert werden, trägt diese Entwicklung dazu bei, dass sich auch die Nutztierbestände bis 2045 nahezu halbieren. Gleichzeitig sind technische Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Tierhaltung und im Ackerbau sowie Zahlungen für Gemeinwohlleistungen etabliert.

In dem Szenario liegen die jährlichen Treibhausgasemissionen in der Berichtskategorie Landwirtschaft bei etwa 23 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq (Abbildung 28).

Energiebedingte Emissionen können durch eine Verbesserung der Energieeffizienz und den Einsatz

### → Chancen für die Stärkung ländlicher Gebiete

Die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland wird in den kommenden Jahren vom Übergang zur Klimaneutralität geprägt sein. Dies kann auch in ländlichen Regionen Chancen eröffnen, birgt aber gleichzeitig die Gefahr, dass Ungleichheiten zwischen städtischen und einigen ländlichen Regionen zunehmen. Um die Chancen zu nutzen und die Risiken einzuhegen, müssen Investitionen im ländlichen Raum dazu beitragen, den strukturellen Herausforderungen zu begegnen, mit denen manche ländlichen Gebiete konfrontiert sind. Das ist auch ein Beitrag dazu, das Vertrauen in die Politik zu stabilisieren oder wiederzugewinnen. Dafür bieten sich folgende Ansätze an:

- **Stärkung zukunftsorientierter Wirtschaftsstrukturen:** Investitionen sollten zukunftsorientierte Geschäftsmodelle ermöglichen, die Einkommen generieren und gleichzeitig einen Beitrag zur Klimaneutralität leisten, wie zum Beispiel der Aufbau von Wertschöpfungsketten für die landwirtschaftliche Nutzung von wiedervernässten Mooren, die die Nachfrage des Bausektors nach klimaneutralen Dämmstoffen bedienen.
- **Einnahmen durch die Erzeugung Erneuerbarer Energien:** Windkraftanlagen an Land werden fast ausschließlich im ländlichen Raum gebaut. Ähnliches gilt für Freiflächen-PV, gegebenenfalls in Kombination mit weiteren Landnutzungsmöglichkeiten. Unter der Annahme eines Betrags von 0,5 EUR/MWh generieren Kommunen im ländlichen Raum bis 2045 3,5 Mrd. EUR, die sie wiederum in eine verbesserte Daseinsvorsorge vor Ort investieren können.
- **Niedrige regionale Netzentgelte begünstigen den Aufbau von Schlüsselindustrien:** Aufgrund der räumlichen Nähe von EE-Anlagen findet der Aufbau neuer Schlüsselindustrien wie Batteriefabriken im ländlichen Raum statt. Eine Reform der Netzentgelte, die Regionen, in denen Windenergie erzeugt wird, privilegiert, setzt hier wichtige Anreize. Um die Energieversorgung dieser neuen Industrien sicherzustellen, wird eine politisch erwünschte Ansiedlung im ländlichen Raum auch bei der Planung der Energieinfrastruktur (zum Beispiel beim Wasserstoffkernnetz) berücksichtigt.
- **Gebäudesanierungen und -umbauten dienen dem Werterhalt von Gebäuden:** Der Wert von Immobilien und die Aussichten auf Werterhalt und Wertsteigerung können sich je nach Region drastisch unterscheiden. Das hat auch zur Folge, dass die Eigentümerinnen und Eigentümer je nach Lage unterschiedlich stark von der Sanierung oder dem Umbau ihrer Gebäude profitieren können. Diese Unterschiede wirken sich auf ihre mittelfristige finanzielle Leistungsfähigkeit und auf die Wirtschaftlichkeit einer Sanierung oder eines Umbaus aus. Bei der Ausgestaltung von Förder- und Finanzierungsinstrumenten ebenso wie bei Effizienzanforderungen an Gebäude sollten diese Aspekte berücksichtigt werden.
- **Investitionen in die öffentliche ÖPNV-Infrastruktur:** Eine groß angelegte Investitionsoffensive für den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs mit dem Ziel einer flächendeckenden Mobilitätsgarantie kommt besonders strukturschwachen ländlichen Gebieten zugute, in denen bisher kaum Angebote existieren und die Mobilitätsarmut hoch ist. Dies ist besonders für Menschen in den untersten Einkommensdezielen zentral, die sich keinen Pkw leisten können.

von Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2045 zu einem großen Teil vermieden werden. Im Bereich der Landmaschinen kann ein Teil des Energiebedarfs elektrifiziert werden, während der für viele Feldarbeiten erforderliche Leistungsbedarf, beispielsweise bei der Bodenbearbeitung oder bei der Ernte, weiterhin mit flüssigen Kraftstoffen aus Biomasse oder *Power-to-Liquid* erreicht wird. Gleichzeitig wird in dieser Phase des Szenarios auf landwirtschaftlichen Flächen durch die Etablierung von Wind- und Sonnenenergie ein großer Beitrag zur Energiewende geleistet.

Außerdem tragen neue Wertschöpfungsketten dazu bei, dass Biomasse aus der Landwirtschaft einen wichtigen Beitrag zu einer klimaneutralen Gesamtwirtschaft leistet.

### 3.6 LULUCF

Der **LULUCF-Sektor** umfasst Emissionsquellen und Kohlenstoffsenken der Landnutzung und des Waldes. Die meisten im LULUCF-Sektor anfallenden Emissionen entstehen durch die landwirtschaftliche Nutzung von entwässerten Mooren. Über Jahrhunderte war die Trockenlegung von Mooren gesellschaftlich gewünscht und leistete in vielen Regionen einen

wichtigen Beitrag zu einer ausreichenden Versorgung mit Nahrungsmitteln. Trocken genutzte Moore, die lediglich 7 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland ausmachen, tragen aber mit etwa 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq pro Jahr fast 5 Prozent zu den deutschen Treibhausgasemissionen bei.

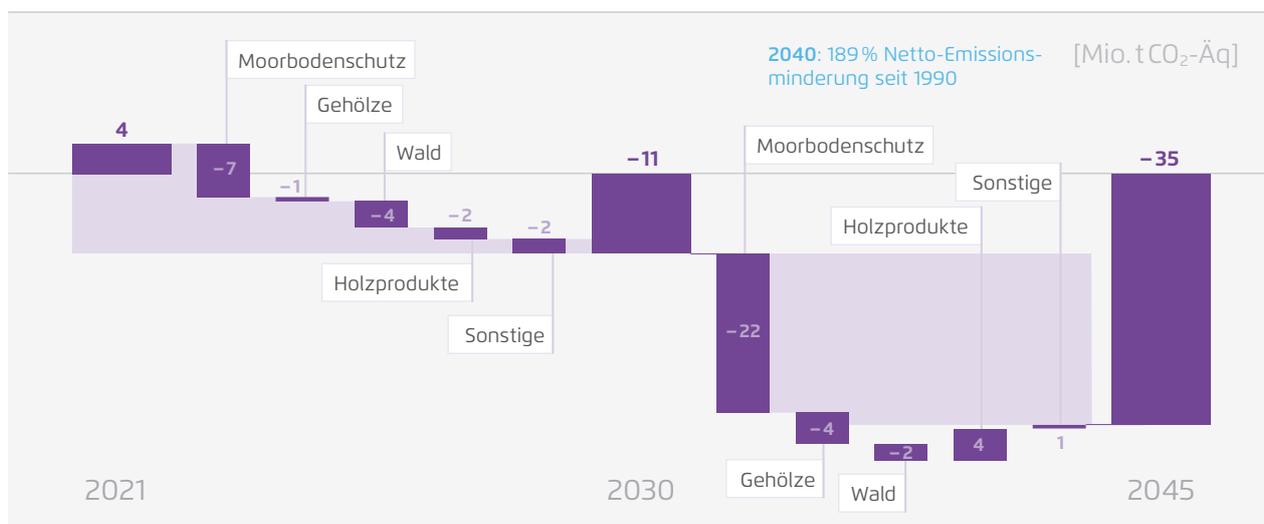
Die wichtigste Kohlenstoffsenke des LULUCF-Sektors ist der Wald. Er nimmt CO<sub>2</sub> aus der Luft auf und bindet den Kohlenstoff vor allem in Bäumen und dem Waldboden. Durch die Senkenleistung des Waldes werden die jährlichen Gesamtemissionen Deutschlands um etwa 5 Prozent reduziert. Die Senkenleistung des Waldes ist jedoch von jährlich 55 (Mittelwert 2013 bis 2017) auf 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq (Mittelwert 2018 bis 2022) zurückgegangen.<sup>14</sup>

In Summe war der LULUCF-Sektor in den Jahren 2013 bis 2017 eine Netto-Senke mit Negativemissionen von ca. -9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq pro Jahr und in

<sup>14</sup> Die Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur (BWI) sind in dieser Studie noch nicht berücksichtigt. Angaben zu Treibhausgasbilanzen der Vergangenheit beruhen auf der offiziellen Berichterstattung. Nach der vierten BWI ist der Wald seit 2017 eine Netto-Quelle von Treibhausgasen. In der Waldmodellierung für diese Studie wurde aber der Rückgang der Senkenleistung ab 2018 in einer ähnlichen Größenordnung abgeschätzt, wie er jetzt durch die BWI bestätigt wurde. Zudem wurden in der Fortschreibung erhöhte natürliche Störungen berücksichtigt.

## LULUCF – Reduktion der Treibhausgasemissionen

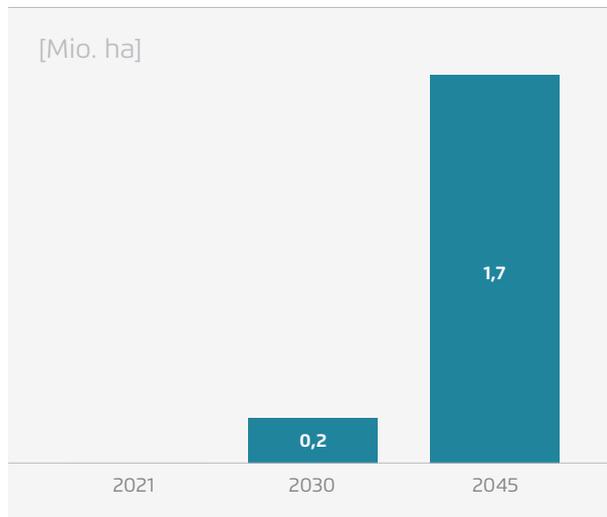
→ Abb. 31



Agora Agrar und Öko-Institut (2024)

## Neue Gehölze auf landwirtschaftlichen Flächen

→ Abb. 32



Agora Agrar und Öko-Institut (2024)

den Jahren 2018 bis 2022 eine Netto-Quelle von rund 2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq pro Jahr. Um den Beitrag des LULUCF-Sektors zur Klimaneutralität zu verbessern, ist es wichtig, die Treibhausgasemissionen aus den landwirtschaftlich genutzten Mooren zu verringern, die Kohlenstoffspeicherung im Wald zu erhalten und sie auf landwirtschaftlichen Flächen zu erhöhen.

Die durch Moore verursachten Emissionen können durch drei Maßnahmen reduziert werden: a) durch die Wiedervernässung von trockengelegten, landwirtschaftlich genutzten Mooren, die zu einem großen Teil nass weiterhin bewirtschaftet werden können, b) durch die Einstellung des Torfabbaus und c) durch ein optimiertes Management von Feuchtgebieten.

In dem Szenario wird die Senkenleistung des Waldes durch eine reduzierte Holzentnahme<sup>15</sup> in gezielt ausgewählten Wäldern und Managementmaßnahmen, wie die Anpassung des Waldes an den Klimawandel,

<sup>15</sup> Mit der Holzernie wird dem Wald gebundener Kohlenstoff entzogen. Wenn das Holz zersetzt oder verbrannt wird, wird der Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> freigesetzt. Wird das Holz für Holzprodukte verwendet, bleibt der Kohlenstoff weiterhin gespeichert.

stabilisiert. Die natürliche Senkenleistung wird durch neue Waldflächen (0,3 Megahektar (Mha) bis 2045) und die Etablierung von Gehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen (1,7 Mha) in Form von Kurzumtriebsplantagen, Agroforstsystemen und Hecken ergänzt (Abbildung 32). Der Umfang der Senkenleistung des Waldes hängt davon ab, wie sich der Klimawandel zukünftig auf die Wälder auswirkt und in welchem Umfang klimaangepasste Waldbewirtschaftungsstrategien umgesetzt werden.

### 2025 bis 2030: Grundlagen für Veränderung schaffen

Durch den Beginn der Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moore, die Reduzierung des Torfabbaus und die Optimierung der Wasserstände in bestehenden Feuchtgebieten wird in dem Szenario bis 2030 eine Minderung der jährlichen Emissionen um 7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq erreicht.

Gleichzeitig werden erste Maßnahmen zur Stabilisierung der Senkenleistung des Waldes umgesetzt: In stabilen Laubbaumbeständen wird die Ernte leicht reduziert und es findet eine aktive Anpassung des Waldes an den Klimawandel statt, indem unter anderem Nadelbaumbestände durch Laubbäume ersetzt werden. Zusätzlich werden erste Flächen aufgeforstet und neue Kohlenstoffsinken durch die Anlage von Gehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen geschaffen.

### Ausgewählte Maßnahmen

Die Wiedervernässung der Moore ist die wirksamste Maßnahme zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen im LULUCF-Sektor. Aufgrund der historischen großen Bedeutung der Trockenlegung ist die Wiedervernässung eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die nur in enger Zusammenarbeit mit Landwirtinnen und Landwirten gelingen kann. Insofern ist es wichtig, dass die nasse Moornutzung ihnen wirtschaftliche Perspektiven eröffnet.

Für die Wiedervernässung sind folgende Förderbereiche wichtig:

## LULUCF – zentrale Politikinstrumente

→ Abb. 33

 <b>Ordnungsrahmen</b>	 <b>Preisbasierte Anreize</b>	 <b>Finanzielle Unterstützung</b>
→ Einstellung des Torfabbaus	→ Bepreisung von THG-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren	→ Langfristige finanzielle Anreize für die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moore
	→ Anreize zur stofflichen Nutzung von Biomasse	→ Förderung neuer Wertschöpfungsketten für Paludikultur
		→ Förderung von Gehölzstrukturen auf landwirtschaftlichen Flächen → Finanzielle Anreize zur Kohlenstoffspeicherung in Wäldern

Agora Energiewende (2024)

- Förderung der Wiedervernässung: Wiedervernässungsprämien für Landwirtinnen und Landwirte, Investitionszuschüsse für Planung, Baumaßnahmen, hydrologisches Management und Instandhaltung.
- Förderung der nassen Nutzung: Investitionsförderung für den Anbau von Paludikulturen<sup>16</sup>,

Zuschüsse zur Anschaffung neuer Maschinen, Förderung neuer Wertschöpfungsketten für die Nutzung von Produkten aus Paludikulturen.

Die finanziellen Mittel können sowohl aus Mitteln der gemeinsamen Agrarpolitik als auch anderen Haushaltsmitteln stammen. Als Finanzierungsquelle kann aber auch die Ausweitung freiwilliger Kohlenstoffmärkte dienen, die als Ergänzung zu den verpflichtenden Klimaschutzmaßnahmen

<sup>16</sup> Anbau von Pflanzen auf nassen Moorböden, zum Beispiel Schilf oder Rohrkolben.

### → Welchen Einfluss haben natürliche Störungen im Wald auf die Netto-Emissionen im LULUCF-Sektor?

Im Szenario bindet der Wald durch eine Reduktion der Laubholznutzung, den Waldumbau von Nadelbaumbeständen und eine moderate Aufforstung bis 2045 gut 5 Mio. t CO<sub>2</sub> mehr als 2021. Die Senkenleistung des Waldes wird jedoch neben Waldmanagementmaßnahmen auch durch natürliche Störungen beeinflusst, die infolge des fortschreitenden Klimawandels zunehmen. Länger andauernde Perioden extremer Trockenheit verringern den Zuwachs und tragen ebenso wie Stürme oder der Befall durch Borkenkäfer zu einer höheren Mortalität des Baumbestands bei.

Für das Szenario wurden drei Varianten mit geringen, mittleren und hohen natürlichen Störungen<sup>15</sup> und ihre Auswirkungen analysiert. Je nach Variante betragen die Emissionen des LULUCF-Sektors für das Jahr 2045 -18 bis -53 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Für die sektorübergreifende Darstellung werden mittlere natürliche Störungen im Wald angenommen. So ergeben sich für den LULUCF-Sektor im Jahr 2045 -35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

<sup>15</sup> Siehe Details zu Annahmen der Intensität natürlicher Störungen in Pfeiffer et al. (2023).

zusätzliche Anstrengungen für den Klimaschutz entlohnen. Eine weitere Option ist die Bepreisung und Einbeziehung von Emissionen aus entwässerten Moorböden in ein mögliches EU-Emissionshandelssystem für die Landwirtschaft und landwirtschaftlich genutzte Moore. Die Landwirtinnen und Landwirte sollten die Zertifikate für Emissionen aus Moorböden für eine mittlere Zeitspanne kostenlos erhalten.

Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Minderung der Emissionen des LULUCF-Sektors ist die Beendigung des Torfabbaus bis 2040 und die Wiedervernässung der ehemaligen Torfabbauflächen.

Die Senkenleistung des Waldes hat einen gesellschaftlichen Wert und sollte daher durch öffentliche Gelder entlohnt und gefördert werden. Für die Finanzierung können sowohl reguläre Haushaltsmittel als auch Einnahmen aus einem ETS oder aus freiwilligen Kohlenstoffmärkten genutzt werden.

Eine Ausweitung der Kohlenstoffspeicherung im Holzproduktspeicher kann durch eine Vergütung der Kohlenstoffspeicherung in langlebigen Holzprodukten (insbesondere im Bau) und eine Förderung der Kaskadennutzung von Holzprodukten ausgebaut werden.

Um die stoffliche Nutzung zu fördern, sollte außerdem die Annahme der Kohlenstoffneutralität der energetischen Nutzung von Holz im ETS überprüft werden.

Diese Maßnahmen des Szenarios können im LULUCF-Sektor in der Netto-Bilanz zu negativen Emissionen von etwa -11 Mio. t im Jahr 2030 führen. Damit würde der Sektor das Ziel des KSG in Höhe von -25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq für 2030 deutlich verfehlen.<sup>17</sup>

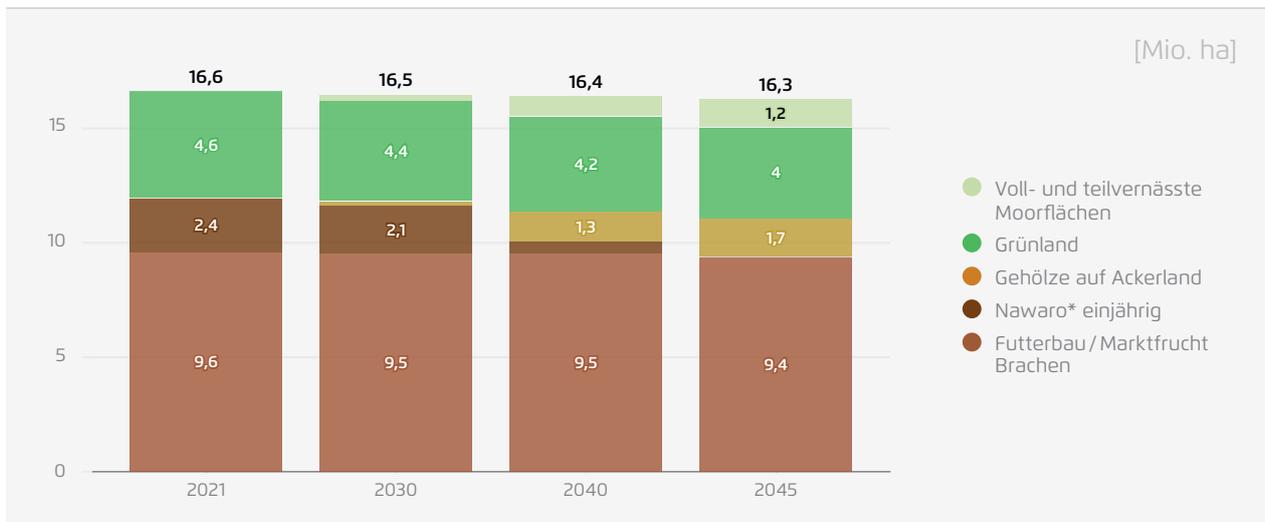
### 2030 bis 2045: Die Kohlenstoffsenkenleistungen honorieren

In dem Szenario sind bis zum Jahr 2045 etwas weniger als 80 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Moore vollständig und gut 15 Prozent teilweise wiedervernässt (Abbildung 34) und die Wasserstände in heute

<sup>17</sup> Treibhausgas-Ziele für den LULUCF-Sektor wurden im KSG auf Basis der Treibhausgas-Berichterstattung vor dem Jahr 2021 abgeleitet. Deutliche methodische Veränderungen nach 2021, insbesondere zur Kohlenstoffeinbindung in Waldböden und zu Methanemissionen aus künstlichen stehenden Gewässern wie Fischteichen, führen zu einer Verschlechterung der berichteten Treibhausgas-Bilanz für den LULUCF-Sektor um circa 17 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Da die Ergebnisse dieser Studie auf das Treibhausgas-Inventar von 2023 aufbauen, ist diese rein methodische Veränderung bei der Interpretation der LULUCF-Ergebnisse zu berücksichtigen.

## Entwicklung der Flächennutzung

→ Abb. 34



Agora Agrar (2024) und Öko-Institut basierend auf FNR (2023), Destatis (2023), Projektionsbericht Bundesregierung (2024). \*Nawaro = Nachwachsende Rohstoffe

---

schon bestehenden Feuchtgebieten optimiert. Ab 2040 ist der Torfabbau eingestellt. Außerdem wurde die Senkenleistung der Wälder durch die in der vorherigen Periode etablierten Maßnahmen weiter stabilisiert.

Durch den Anbau von Gehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen können zusätzliche Treibhausgase aus der Atmosphäre gebunden werden. Sie bieten neue Einkommensmöglichkeiten für die Landwirtschaft durch die Bereitstellung von

Biomasse, zum Beispiel als *Feedstock* für die chemische Industrie und durch die Entlohnung der Kohlenstoffspeicherung.

Mit diesen Maßnahmen ist es möglich, dass der LULUCF-Sektor eine Netto-Senkenleistung und damit Negativemissionen in Höhe von -35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq erreicht. Das Ziel aus dem KSG in Höhe von -40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq wird in dem Szenario dennoch leicht verfehlt (Abbildung 31).

## 4 Querschnittsthemen

### 4.1 Biomasse

Nachhaltig produzierte und genutzte Biomasse kann einen wichtigen Beitrag zur Klimaneutralität in Deutschland leisten. 2045 wird Biomasse vor allem dort genutzt, wo keine anderen effizienteren Optionen als Ersatz für fossile Rohstoffe zur Verfügung stehen. Durch eine deutlich stärker stoffliche und weniger energetische Nutzung kann Biomasse der Industrie als nachhaltige Kohlenstoffquelle dienen, zum Beispiel bei der Kunststoffherstellung. Dabei hinaus kann aus Biomasse stammendes CO<sub>2</sub> abgeschieden und langfristig gespeichert werden (Bio-CCS).

Die nachhaltige Produktion von Biomasse über Agroförstsysteme und andere Gehölzstrukturen ist eine Chance für landwirtschaftliche Einkommen, Kohlenstoffspeicherung und Biodiversität. Bis 2045 löst diese Art der Biomasseproduktion einjährige Energiepflanzen sukzessive ab. Dadurch entstehen Kohlenstoffsinken auf der landwirtschaftlichen Fläche

und das Risiko indirekter Landnutzungseffekte wird stark gemindert. Rest- und Abfallstoffe werden verstärkt genutzt und die Holzentnahme aus dem Wald reduziert, was ebenfalls natürliche Senken stärkt.

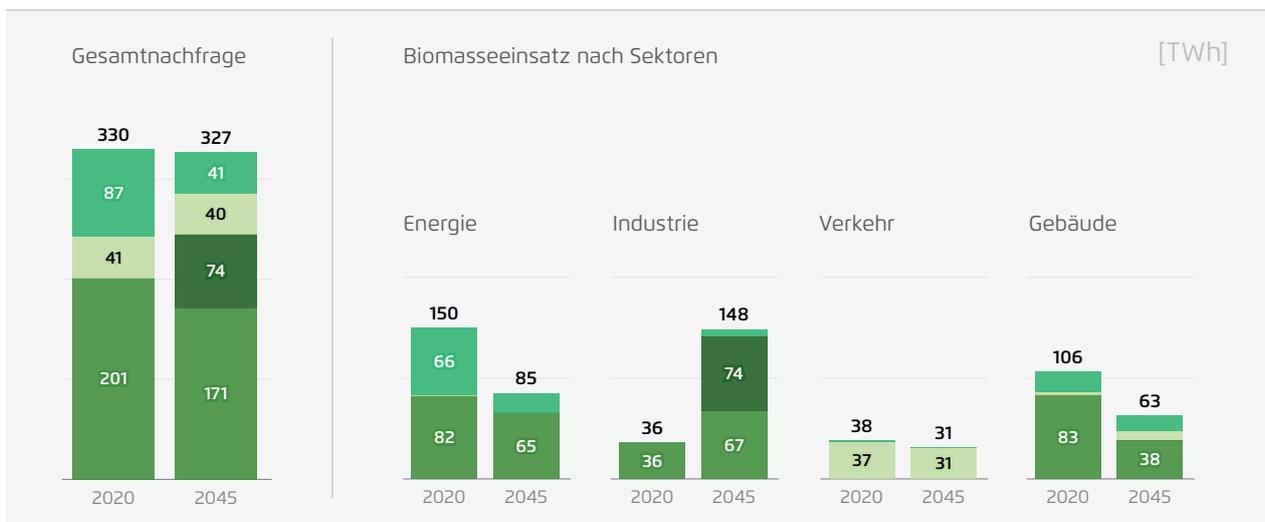
#### Anwendungsbereiche im Szenario

Die wichtigste Verwendungsform von Biomasse ist Bauholz. Durch die Nutzung wird das biogene CO<sub>2</sub> langfristig in Gebäuden gespeichert. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern erhöht sich der Holzbauanteil von aktuell rund 21 Prozent auf rund 35 Prozent, bei Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden von aktuell weniger als 5 Prozent auf 15 bis 20 Prozent.

Für die übrige Biomasse verbleibt der Einsatz mit 327 TWh auf dem gleichen Niveau wie im Jahr 2020 (330 TWh). Die Verwendung verschiebt sich jedoch. Dabei steigen die Materialnutzung und die stoffliche Verwendung an, während die energetische Nutzung sinkt. Da für die stoffliche Nutzung überwiegend feste Biomasse verwendet wird, steigt ihre Nutzung

Energetischer und stofflicher Biomasseeeinsatz nach Sektoren\*

→ Abb. 35



● fest (energetisch) ● fest (stofflich) ● flüssig ● gasförmig

Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). \*ausgenommen Bauholz

im Zeitraum von 2020 bis 2045 um 22 Prozent und erreicht 245 TWh. Die Nutzung von flüssigen Biokraftstoffen oder Biobrennstoffen sowie von Biogas nimmt entsprechend ab.

### Stoffliche Nutzung

Auch die Verwendung von Biomasse als Rohstoff in der Industrie gewinnt deutlich an Bedeutung, diese steigt bis 2045 auf 74 TWh. Biogener Kohlenstoff wird insbesondere in chemischen Produkten (Kunststoffen) gespeichert; durch eine Kreislaufführung der Produkte kann die Dauer des Speicherns erhöht werden. Bei der stofflichen Nutzung in der chemischen Industrie fällt CO<sub>2</sub> an, das abgeschieden und gespeichert wird, sodass hierdurch Negativemissionen geschaffen werden (Bio-CCS). Innovative biomassebasierte Verfahren in der chemischen Industrie könnten entsprechend finanziell gefördert werden. Die hierfür nötigen finanziellen Mittel könnten zum Beispiel durch eine Umlage auf Kunststoffprodukte generiert werden. Mittelfristig scheint außerdem eine Bepreisung von stofflich genutztem fossilem Kohlenstoff sinnvoll (siehe Kapitel 3.2 Industrie).

### Energetische Nutzung

Bis 2045 verdoppelt sich die energetische Nutzung von Biomasse in der Industrie gegenüber 2020 und steigt auf 74 TWh. Biomasse wird vor allem verwendet, um besonders hohe Temperaturen zu erzeugen. In den übrigen Sektoren sinkt die energetische Biomassenutzung: In der Gebäudewärme verlieren Holzheizungen aus Kostengründen Marktanteile an Wärmepumpen. Im Straßenverkehr ist ein ähnlicher Trend weg von Biomasse und hin zu Strom zu beobachten. Lediglich im internationalen Luft- und Schiffsverkehr steigt ab 2030 die Biomassenachfrage für Treibstoffe bis 2045 auf 31 TWh, weil es hier an kostengünstigen, klimaneutralen Alternativen mangelt.

In der Energiewirtschaft werden derzeit rund drei Viertel der Bioenergie (ohne biogenen Anteil des Abfalls) dezentral in kleinen bis mittelgroßen Biogasanlagen erzeugt. Um den Erfordernissen des

zukünftigen Energiesystems Rechnung zu tragen, wird der Bestand dieser relativ inflexiblen Anlagen langfristig zurückgefahren. Feste Biomasse wird in KWK-Anlagen für Wärmenetze ohne Wasserstoffanschluss sowie zur Absicherung der Winterspitze genutzt.

### Nachhaltige Bereitstellung von Biomasse

Um die Funktion des Waldes als Kohlenstoffsенке zu stärken, sinkt bis 2045 die Holzentnahme für die energetische Nutzung um 31 Prozent gegenüber 2022. Zugleich werden jedoch Gehölzstrukturen und Paludikulturen auf Agrarflächen angelegt und genutzt, sodass das Angebot an fester Biomasse von 191 TWh 2020 auf 246 TWh im Jahr 2045 steigt. Im Gegenzug fällt die Anbaufläche von einjährigen Ackerfrüchten (Mais, Raps, Getreide) für die Bereitstellung von Biogas und Biokraftstoffen.

Durch diese veränderte Flächennutzung kann ein wertvoller Beitrag zu einer vielfältigen Agrarstruktur mit einer Verringerung des Pestizid- und Düngemittleinsatzes geleistet werden. Gehölzstrukturen schaffen Kohlenstoffsенken auf der Fläche, tragen zum Biodiversitätsschutz bei und erleichtern die Anpassung an den Klimawandel. Indem die Landnutzenden für die öffentlichen Leistungen in den Bereichen Kohlenstoffspeicherung und Biodiversität entlohnt werden, wird diese Art der Biomasseproduktion wettbewerbsfähig.

Die Nutzung der Anbaubiomasse zur Biogasproduktion läuft bis zum Jahr 2045 kontinuierlich aus und wird durch die Nutzung von Reststoffen teilweise ausgeglichen. Bis zum Jahr 2045 wird das Reststoffangebot aus der Landwirtschaft (Wirtschaftsdüngervergärung, Zwischenfrüchte, Stroh und andere Erntereste) gegenüber heute mehr als verdoppelt.

Auch bei der Biokraftstoffherstellung sinkt der Anteil der Anbaubiomasse bis 2045 und die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen steigt an. Importe von nachhaltig produzierten Biokraftstoffen und eine geringe inländische Produktion von *Biomass-to-Liquid*

decken ebenfalls einen Teil der Nachfrage im Luft- und Schiffsverkehr.

## 4.2 Wasserstoff und strombasierte Energieträger

### Energiewirtschaft und Industrie als wichtigste Nachfragesektoren für Wasserstoff

Aus Kosten- und Effizienzgründen kommt Wasserstoff vor allem als saisonaler Energiespeicher im Stromsektor und in bestimmten Industrieprozessen in der Stahl- und Chemieindustrie zum Einsatz.

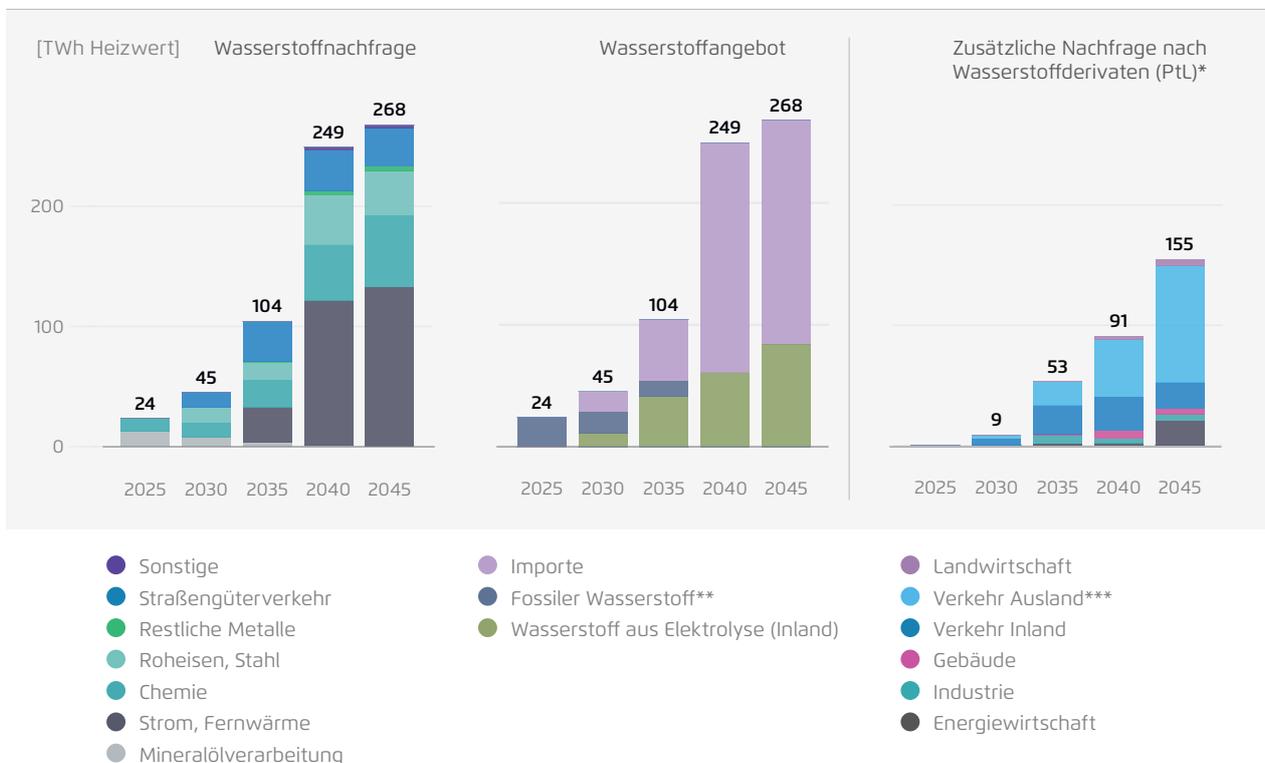
In Summe steigt die Nachfrage nach klimaneutralem Wasserstoff bis 2045 auf 268 TWh pro Jahr (Abbildung 36). Der größte Teil entfällt dabei auf die **Energiewirtschaft**, in der Wasserstoff als Brennstoff in regelbaren Kraftwerken und in der stromgeführten

KWK zum Einsatz kommt. Zusätzlich zu reinem Wasserstoff kommen hier auch flüssige wasserstoffbasierte Kraftstoffe (*Power-to-Liquid*) zum Einsatz. Nächstgrößter Nachfragesektor ist die **Industrie**, in der Wasserstoff unter anderem in DRI-Anlagen zur Stahlproduktion und für die Aufwertung von Synthesegas aus der Biomassegasifizierung zur Herstellung von Grundstoffen in der Chemieindustrie genutzt wird.

Die Nachfrage nach Wasserstoff im **Verkehrssektor** entfällt fast vollständig auf den Straßengüterverkehr (Brennstoffzellen-Lkw), in geringen Mengen auch auf den öffentlichen Straßenverkehr (Brennstoffzellen-Busse). Langfristig kommen im Verkehr knapp 100 TWh wasserstoffbasierte Kraftstoffe für den Luft- und Seeverkehr und rund 20 TWh wasserstoffbasierte Kraftstoffe für den Inlandsverkehr hinzu. Im **Gebäudesektor** kommt Wasserstoff wegen der hohen Kosten nicht in nennenswertem Umfang zum Einsatz.

### Wasserstoffnachfrage und Wasserstoffherzeugung

→ Abb. 36



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). \* gedeckt durch Importe; \*\* aus Dampfreformierung; \*\*\* internationaler Flug- und Schiffsverkehr

### Import- und Speicherinfrastruktur

Ein Großteil des Wasserstoffbedarfs wird künftig importiert. Pipelinekorridore aus europäischen und benachbarten Produktionsländern sind dabei das Rückgrat der Wasserstoffversorgung. Bereits in den frühen 2030er-Jahren können über diese Korridore große Mengen erneuerbaren Wasserstoffs importiert werden.<sup>18</sup>

Importe von kohlenstoffarmem Wasserstoff können das Angebot an erneuerbarem Wasserstoff gerade während des Hochlaufs ergänzen. Damit dieser Wasserstoff auch effektiv zum Klimaschutz beiträgt, ist es wichtig, dass die Restemissionen so gering wie möglich sind. Dies kann durch CO<sub>2</sub>-Abscheideraten von über 90 Prozent, niedrige Vorkettenemissionen und den Verzicht auf die Nutzung von CO<sub>2</sub> für Enhanced Oil Recovery erreicht werden.<sup>19</sup>

18 Agora Energiewende und Agora Industrie (2024) – Wasserstoffimporte Deutschlands

19 Agora Energiewende und Agora Industrie (2024) – Low-carbon-Hydrogen in the EU

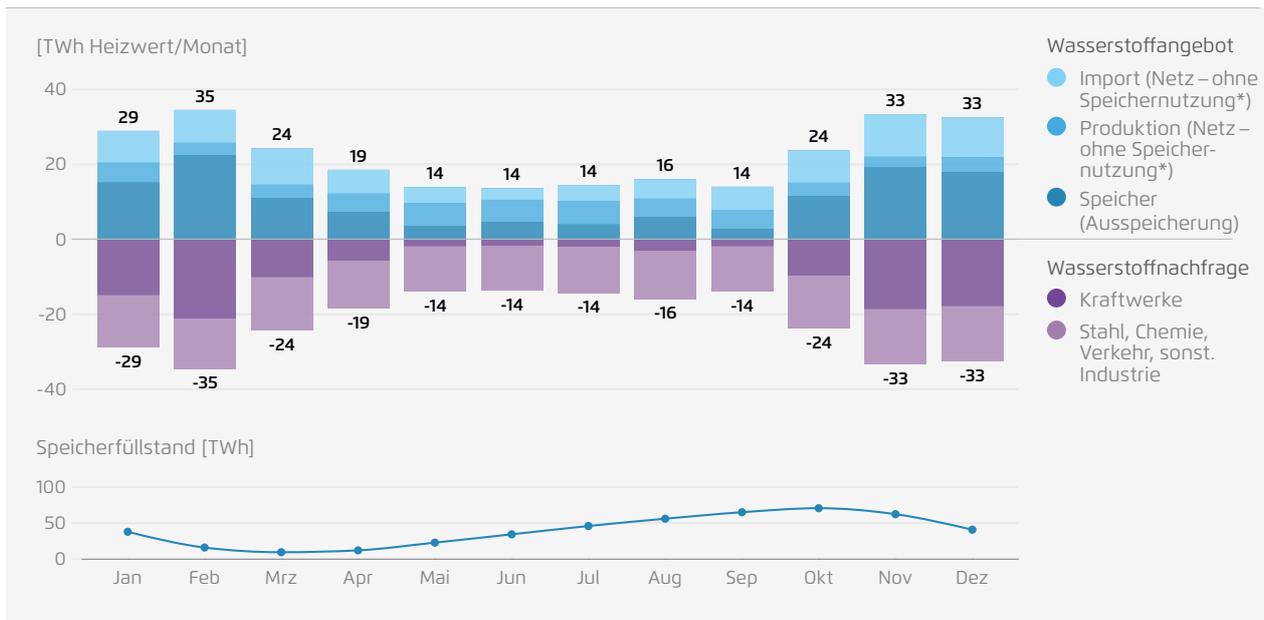
Die Wasserstoffnachfrage der Kraftwerke konzentriert sich auf das Winterhalbjahr, weshalb das Wasserstoffsystem einer starken Saisonalität unterliegt. Um die hohe Nachfrage im Winterhalbjahr erfüllen zu können, wird im Sommer Wasserstoff in großem Umfang eingespeichert. Im Jahr 2045 erreicht der maximale Speicherfüllstand 73 TWh. Unter Einbeziehung eines Resilienzpuffers sind somit 80 TWh Wasserstoffspeicher nötig (Abbildung 37). Nach Abschätzung von Industrieverbänden können circa 30 TWh aus bestehenden Erdgasspeichern umgerüstet werden. Die verbleibenden 50 TWh erfolgen als Neubau.

### Vier Bereiche sind für die politische Instrumentierung zentral:

1. Die weitere Absicherung der Nachfrage schafft die Grundlage für H<sub>2</sub>-Abnahmeverträge: Der Einsatz von Wasserstoff im Stromsektor wird vor allem über eine umlagefinanzierte Brennstoffkostenförderung und die Unterstützung für den Bau von regelbaren Kraftwerken erzielt. In der Industrie sichert eine Kombination aus Quoten, Klimaschutzverträgen und „grünen“ Leitmärkten die Nachfrage ab.

Saisonalität der Wasserstoffbereitstellung und -nachfrage im Jahr 2045

→ Abb. 37



Agora Energiewende und Prognos (2024). \*Einspeicherung aus Produktion und Importen nicht abgebildet

2. **Absicherung des Aufbaus von Importkorridoren:** Durch einen verstärkten Dialog mit europäischen und außereuropäischen Produktions- und Transitländern kann eine Einigung über die Kosten- und Risikoaufteilung bei den Korridoren erzielt werden. In der Folge führen Instrumente wie ein Amortisationskonto und staatliche Kapazitätsbuchungen zu einer ausreichenden Investitionssicherheit.
3. **Ein Hochlaufinstrument für Wasserstoffspeicher:** Durch ein geeignetes Absicherungsinstrument wird die Umrüstung und der Bau von Wasserstoffspeichern angereizt.
4. **Förderung der inländischen Elektrolyse:** Die Umsetzung der bereits angekündigten Ausschreibungen für Elektrolyseure unterstützt die heimische Wasserstoffproduktion.

### 4.3 Carbon Management und Carbon Capture and Storage (CCS)

Carbon Management umfasst eine Reihe von Technologien für den Umgang mit CO<sub>2</sub> beziehungsweise Kohlenstoff. Im Fall von CCS wird das CO<sub>2</sub> üblicherweise in großen Industrieanlagen abgeschieden, abtransportiert und im Untergrund gespeichert.

Dabei kann das CO<sub>2</sub> aus fossilen oder biogenen Quellen stammen, an Punktquellen abgeschieden oder direkt aus der Luft entnommen werden. Dies hat Auswirkungen auf die Bilanzierung von CCS: CO<sub>2</sub> fossilen oder prozessbedingten Ursprungs, das an Punktquellen abgeschieden wird, zählt als vermiedene Emission. Biogenes CO<sub>2</sub>, das in Verbrennungs- oder Verarbeitungsprozessen an Punktquellen abgeschieden wird (BECCS) wird, wird als Negativemission verbucht, weil im Laufe des Prozesses vom Biomasseanbau bis hin zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung der Atmosphäre insgesamt CO<sub>2</sub> entnommen wird. Ebenso wird die direkte Kohlenstoffabscheidung aus der Luft (*Direct Air Carbon Capture and Storage*, DACCS) als negative Emission gezählt. Die beiden letzteren Technologien zählen gemeinsam mit der natürlichen Kohlenstoffbindung durch Aufforstung beziehungsweise eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern und Agrarflächen zu den Methoden zur

CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre (*Carbon Dioxide Removal*, CDR).

Bei *Carbon Capture and Utilization* (CCU) wird CO<sub>2</sub> fossilen oder biogenen Ursprungs aufgefangen und genutzt. Um dafür zu sorgen, dass das CO<sub>2</sub> für eine möglichst lange Zeit gebunden bleibt, sollte CCU vor allem bei der Herstellung langlebiger Produkte zum Einsatz kommen.

#### CCS ist ein notwendiger Baustein zur Erreichung von Klimaneutralität

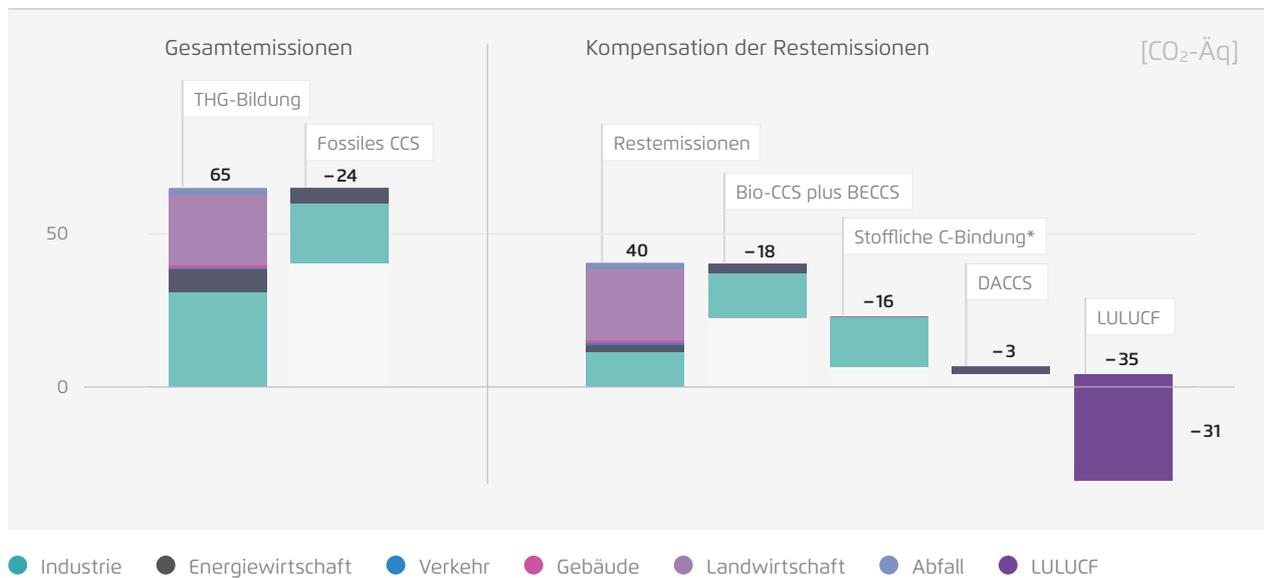
Um Klimaneutralität 2045 und langfristig das KSG-Ziel für die Negativemissionen zu erreichen, ist der Einsatz von CCS in zwei Kontexten notwendig: zum einen, um verbleibende prozessbedingte und fossile Restemissionen im Industrie- und Abfallsektor abzuscheiden und dauerhaft zu speichern; zum anderen, um Restemissionen vor allem aus der Landwirtschaft auszugleichen (Abbildung 38).

Eine breitere Anwendung von CCS bei fossiler Energieerzeugung ist klimapolitisch mit Nachteilen und zudem mit einer Reihe von Kosten und Umsetzungsrisiken verbunden:

- Erstens muss jedes neue, aus fossilen Energien gebildete CO<sub>2</sub>-Molekül langfristig gespeichert werden und konkurriert mit Anwendungen zur Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre um die gleichen Einspeicherungskapazitäten. Eine fortlaufende Nutzung von fossilen Energien vergrößert also die notwendigen Anstrengungen bei der CO<sub>2</sub>-Einspeicherung. Vor diesem Hintergrund ist auch der Beschluss der UN-Klimakonferenz COP28 zum Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energien zu verstehen.
- Zweitens entstehen entlang der Wertschöpfungskette von Erdgas Methanemissionen, die zusätzlich kompensiert werden müssen, was sich kostensteigernd auswirkt und den notwendigen Speicherbedarf weiter erhöht.
- Drittens stellen die verfügbaren Injektionskapazitäten zumindest mittelfristig einen relevanten Engpass dar.

## Restemissionen und deren Kompensation im Jahr 2045

→ Abb. 38



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). \* Stofflich gebundener biogener Kohlenstoff in Produkten der Chemieindustrie; eine konsequente Kreislaufführung ist erforderlich, um eine lange Speicherdauer zu ermöglichen.

→ Viertens gehen aktuelle Schätzungen für die Kosten der CO<sub>2</sub>-Speicherung aufgrund der geringen Zahl realisierter Projekte und Unsicherheiten bezüglich der geologischen Gegebenheiten in potenziellen Lagerstätten weit auseinander.

Deshalb wird die Anwendung von CCS-Technologien im Szenario auf die oben genannten Bereiche fokussiert und damit ihr erfolgreicher Hochlauf abgesichert.

### Carbon Management im Szenario

**CCS in Verbindung mit fossilen Energien** erfolgt zum einen an verbleibenden **fossilen Punktquellen im Industrie- und Abfallsektor**. Dazu zählen Prozessemissionen vor allem in der Zement- und Kalkproduktion, der nicht-biogene Anteil der Abfallverbrennung sowie CO<sub>2</sub>-Mengen, die beim chemischen Recycling von Kunststoffabfällen entstehen. CCS kommt zudem vorübergehend bei DRI-Anlagen für die Stahlproduktion zum Einsatz, die zunächst mit Erdgas betrieben werden, bis ausreichend erneuerbarer Wasserstoff zur Verfügung steht.

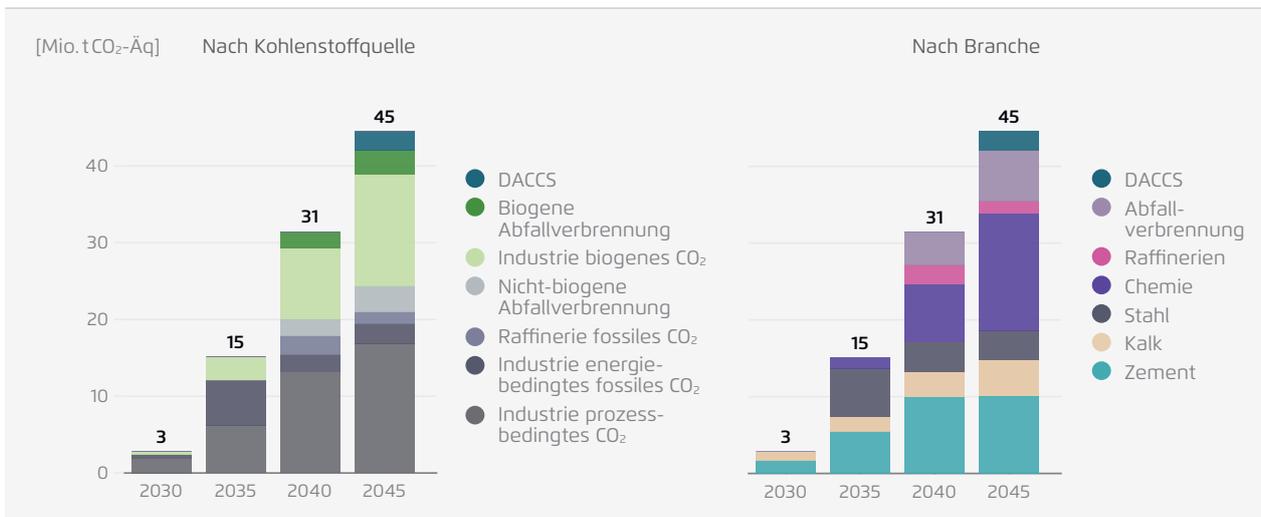
Zum anderen wird **CCS in Kombination mit der stofflichen Nutzung von Biomasse** eingesetzt.

Dabei wird inländische Biomasse genutzt, um über den Zwischenschritt Methanol chemische Grundstoffe herzustellen und fossiles Erdöl als Kohlenstoffquelle zu ersetzen.<sup>20</sup> Entlang dieser Biomasse-Verarbeitung entstehen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die nach Möglichkeit abgeschieden und geologisch gespeichert werden (Bio-CCS). Ein Großteil des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs wird stofflich in Methanol und den darauf aufbauenden Chemieprodukten gebunden. Mittels Recycling-Methoden wird der gebundene Kohlenstoff insbesondere bei Kunststoffprodukten möglichst lange im Kreislauf geführt. Am Ende des Lebenszyklus sorgt der Einsatz von CCS bei Abfallverbrennungsanlagen dafür, dass der Kohlenstoff langfristigen geologischen Speichern zugeführt wird und so auch dauerhaft Negativemissionen generiert werden.

<sup>20</sup> In dem Szenario wird die Pyrolyse und anschließende Gasifizierung von biogenen Reststoffen und Holziger Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen angenommen. Gegenüber der konventionellen landwirtschaftlichen Flächennutzung wird somit die CO<sub>2</sub>-Aufnahme gesteigert und die Biodiversität gefördert.

Abgeschiedenes und geologisch gespeichertes CO<sub>2</sub>

→ Abb. 39



Agora Energiewende, Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024)

### → Was, wenn CCS entlang der CO<sub>2</sub>-Infrastruktur breiter zum Einsatz kommt?

In einer Szenariovariante wurde untersucht, welche Auswirkungen ein zusätzlicher Einsatz von CCS in der Industrie hätte. Unter der Voraussetzung ausreichender Injektionskapazität kommt dies vor allem dann in Frage, wenn Industriestandorte ohnehin an der benötigten CO<sub>2</sub>-Transportinfrastruktur liegen. Zwei Einsatzbereiche wurden betrachtet:

- Ausweitung von CCS für DRI-Anlagen in der Stahlerzeugung, in denen Erdgas mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung eingesetzt wird. Dies erhöht den Erdgaseinsatz im Jahr 2035 um 20 TWh und im Jahr 2045 um 50 TWh gegenüber dem Basisszenario. Durch die zusätzlichen Mengen an CCS in der Stahlerzeugung entsteht im Jahr 2045 ein zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Speicherbedarf von 6 Mio. t CO<sub>2</sub>.
- Nutzung von CCS an mit Erdgas betriebenen industriellen KWK-Anlagen, die sich an Chemiestandorten befinden. Diese werden aufgrund der stofflichen Biomasseverarbeitung ohnehin an die CO<sub>2</sub>-Infrastruktur angeschlossen. Der zusätzliche Einsatz von CCS an KWK-Anlagen in der Chemieindustrie erhöht den Erdgasverbrauch um 5 TWh im Jahr 2035 und um 29 TWh in 2045. Im Jahr 2045 müssen zusätzlich 4 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespeichert werden.

In dieser Szenariovariante liegt der Wasserstoffbedarf im Jahr 2045 um 60 TWh niedriger. Diese verringerte Nachfrage ist mit Risiken für den Wasserstoffhochlauf verbunden. Aufgrund unvollständiger Abscheideraten bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und der Vorkettenemissionen von Erdgas müssten die verbleibenden Restemissionen durch technische Senken wie DACCS oder BECCS kompensiert werden. Dies wäre entweder mit hohen Kosten verbunden, stromintensiv oder auf ausreichende Mengen nachhaltiger Biomasse angewiesen.

Darüber hinaus kommt die Verbrennung von Biomasse zur reinen Energieerzeugung und anschließender CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (BECCS) zum Einsatz (10 Mio. t im Jahr 2045<sup>21</sup>). Die Nutzung von CO<sub>2</sub> zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen (CCU) sowie die direkte CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre (DACCS) spielen aufgrund der hohen Energieintensität der entsprechenden Prozesse im Szenario eine untergeordnete Rolle.

Die Senkenfunktion des **LULUCF**-Bereichs wird unter anderem durch den Ausbau der Waldsenke und die Anlage von Agroforstsystemen gestärkt und erreicht 2045 eine Leistung von insgesamt 35 Mio. CO<sub>2</sub>-Äq pro Jahr.

---

21 Inkl. biogene Anteile aus Abfallstoffen und Abscheidung von biogenem CO<sub>2</sub> bei Bio-Synthesegas-DRI-CCS.

## Ausrichtung von Fördermitteln und der CO<sub>2</sub>-Infrastruktur an den Kernbereichen

Der Einsatz von CCS auf die oben genannten Anwendungsbereiche wird insbesondere durch die Vergabe von Fördermitteln priorisiert. Die geographische Ausgestaltung und Dimensionierung einer leitungsgebundenen CO<sub>2</sub>-Infrastruktur orientiert sich an den geplanten Standorten für Anlagen mit diesen Anwendungsbereichen und den dort anfallenden CO<sub>2</sub>-Abscheidungsmengen.

Um für Unternehmen Planbarkeit zu gewährleisten und Investitionen in klimaneutrale Alternativen nicht zu verzögern, wird im Szenario zeitnah ein Planungs- und Finanzierungskonzept für eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur unter staatlicher Mitwirkung entwickelt und umgesetzt.

## 5 Investitionen und öffentliche Förderbedarfe

Ein wesentlicher Baustein zur Erreichung von Klimaneutralität ist die Verlagerung von Investitionen von fossilen hin zu klimaneutralen Technologien und Infrastrukturen. Daher wurde in dem Szenario erstmalig auch die Höhe der erforderlichen Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen beziffert.

Die **Gesamtinvestitionen** lassen sich dabei in **zwei Gruppen** unterteilen: Rund drei Viertel der Summe würde auch ohne den Übergang zur Klimaneutralität anfallen (sogenannte **Ohnehin-Investitionen**) – hier geht es also um eine Umlenkung von Ausgaben für fossile Technologien hin zu klimaneutralen Investitionen. Ein Viertel der Gesamtinvestitionen entfällt auf sogenannte **Klimaschutzinvestitionen**. Das sind **Mehrausgaben für die Anschaffung** klimaneutraler Technologien im Vergleich zu fossilen Referenztechnologien – zum Beispiel der höhere Preis einer Wärmepumpe im Vergleich zu einer Gasheizung.

Die **Gesamtinvestitionen** von 2025 bis 2045 belaufen sich auf durchschnittlich 540 Mrd. EUR pro Jahr – dies entspricht etwa 11 Prozent der jährlichen Wirtschaftsleistung Deutschlands in diesem Zeitraum. Davon müssen etwa 18 Prozent durch den Staat getätigt werden; hierbei handelt es sich insbesondere um Investitionen in Strom- und Fernwärmenetze sowie Verkehrsinfrastruktur.

Von den öffentlichen Investitionen zu unterscheiden sind die **öffentlichen Förderbedarfe**. Diese ergeben sich aus zwei Gründen:

- Investitions- und Betriebskostenzuschüsse aus Haushaltsmitteln, um private und öffentliche Investitionen zu ermöglichen.
- Ausgleichszahlungen für den sozialen Ausgleich bzw. zur allgemeinen Absenkung von Preisen für Bürgerinnen und Unternehmen.

Dabei ist zu beachten, dass die Mehrbelastung öffentlicher Haushalte nicht ohne Weiteres ermittelt werden kann: Zuschüsse zu Investitionen kommen

häufig auch dem öffentlichen Anteil der Investitionen zugute, so werden die Kommunen regelmäßig durch Förderprogramme der Länder und des Bundes unterstützt. Auch Betriebskostenzuschüsse dienen in vielen Fällen letztlich der Refinanzierung von Investitionen auf einer vorgelagerten Wertschöpfungsstufe und können daher nicht einfach zu den Investitionsbedarfen dazugerechnet werden.

Beide Kennzahlen – die öffentlichen Investitionen und öffentlichen Finanzbedarfe – liefern daher komplementäre Informationen, die sich jedoch teils überlappen: Die Investitionsbedarfe geben an, wie viele Ausgaben insgesamt zu stemmen sind – viele refinanzieren sich aber von alleine durch Markterlöse und Entgelte. Die Förderbedarfe geben an, was an Mitteln aus dem Staatshaushalt benötigt wird, um Wirtschaftlichkeitslücken zu schließen und übermäßige Kostenbelastungen für Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen zu vermeiden.

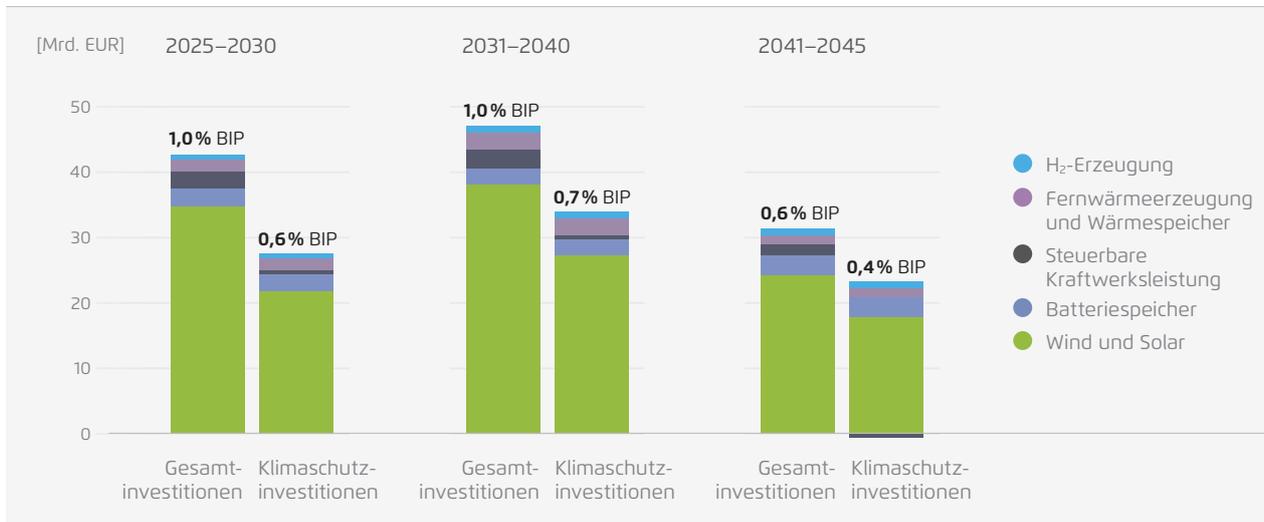
### 5.1 Energiewirtschaft und -infrastruktur

Die Modernisierung der Energiewirtschaft und der damit verbundenen Infrastrukturen ist die Voraussetzung dafür, dass auch die Nachfragesektoren Industrie, Gebäude und Verkehr klimaneutral werden können.

Im Vergleich zu anderen Sektoren ist der Anteil an Klimaschutzinvestitionen in der Energiewirtschaft hoch – resultierend aus der Verschiebung von einem fossilen Stromsystem mit höheren Betriebskosten hin zu einem klimaneutralen Stromsystem mit höheren Investitionskosten. Außerdem wächst die Bedeutung der Stromnetze erheblich, sodass auch hier höhere Investitionen erforderlich sind. Allerdings stehen den Investitionen auch Einsparungen bei den Brennstoffkosten gegenüber. Und die Kosten des Stromnetzes verteilen sich auf eine deutlich größere Strommenge. In der Folge refinanzieren sich die Investitionen in Erneuerbare Energien und Stromnetze zu rund 90 Prozent durch Erlöse aus dem Strommarkt und Netzentgelten.

### Energiewirtschaft: Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen im Jahresdurchschnitt und ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt

→ Abb. 40



Agora Energiewende und Prognos (2024). Y-Achse entspricht jährlichem Durchschnitt des Zeitraums in Mrd. EUR; Beschriftung: Anteil am Bruttoinlandsprodukt des jeweiligen Zeitraums, in realen Preisen (2023)

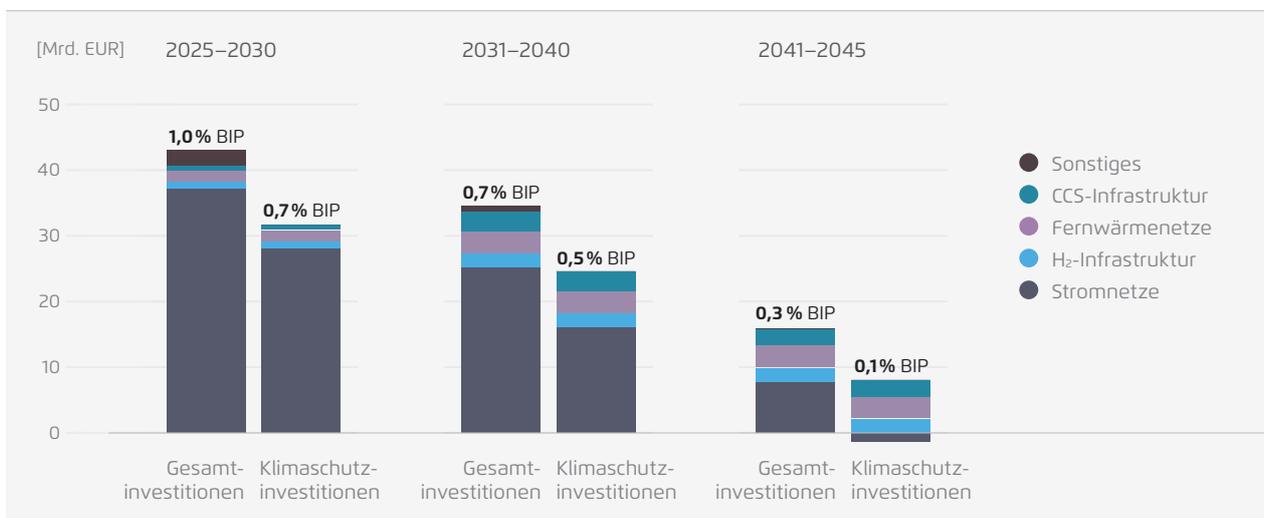
### Investitionsbedarfe

Die Investitionsbedarfe werden separat für die Energiewirtschaft und die Energieinfrastruktur ausgewiesen. Die Energiewirtschaft umfasst Erzeugungsanlagen, Speicher und Elektrolyseure. Die Energieinfrastruktur beinhaltet Investitionen in Strom-, Wasserstoff-, Wärme- und CO<sub>2</sub>-Transportnetze.

In der Energiewirtschaft haben Investitionen in Wind und Photovoltaik mit Abstand den größten Anteil an den Klimaschutzinvestitionen. Diese betragen bis 2030 0,5 Prozent des BIP (Bruttoinlandsprodukt) und steigen bis 2040 leicht auf 0,6 Prozent pro Jahr (27,4 Mrd. EUR), bevor sie im Zeitraum von 2041 bis 2045 wieder auf 0,3 Prozent des BIP beziehungsweise 17,9 Mrd. EUR (Abbildung 40) sinken.

### Energieinfrastruktur: Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen im Jahresdurchschnitt und ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt

→ Abb. 41



Agora Energiewende und Prognos (2024). Y-Achse entspricht jährlichem Durchschnitt des Zeitraums in Mrd. EUR; Beschriftung: Anteil am Bruttoinlandsprodukt des jeweiligen Zeitraums, in realen Preisen (2023)

Der öffentliche Anteil an den Klimaschutzinvestitionen beträgt 12,2 Prozent. Dies ergibt sich daraus, dass die öffentliche Hand an einer Reihe von Energieversorgungsunternehmen beteiligt ist, die die Investitionen voraussichtlich tätigen werden.

Bei den Energieinfrastrukturen dominiert der Ausbau der Stromnetze. Dies spiegelt die wachsende Bedeutung von Strom als Energieträger wider. Allerdings ist eine deutliche Abnahme der Investitionsbedarfe im Zeitverlauf zu beobachten. Werden von 2025 bis 2030 jährlich 0,6 Prozent des BIP für Klimaschutzinvestitionen im Stromnetzbereich benötigt (28,2 Mrd. EUR), halbiert sich der Bedarf im Zeitraum von 2031 bis 2040 auf 0,3 Prozent des BIP (16,1 Mrd. EUR). Ab 2040 fallen im Szenario keine weiteren Klimaschutzinvestitionen für Stromnetze an (Abbildung 41).

Der öffentliche Anteil an den Klimaschutzinvestitionen beträgt 51,1 Prozent und ergibt sich aus den Beteiligungen der öffentlichen Hand an Netzbetreibern.

### Ermöglichung von Investitionen

In der Energiewirtschaft spielt eine Kombination von preisbasierten Anreizen durch den europäischen Emissionshandel und langfristigen Abnahmeverträgen für Stromerzeuger eine zentrale Rolle. Daneben ist im Bereich der Wasserstoffherzeugung eine Anschubfinanzierung erforderlich. Um die steigenden Betriebskosten beim Einsatz von Wasserstoff auszugleichen, wird zudem der Einsatz von Wasserstoff in regelbaren Kraftwerken bezuschusst. Aufgrund der natürlichen Monopolstellung im Bereich der Energieinfrastruktur ist zudem eine Marktregulierung notwendig. Möglich wäre auch eine höhere staatliche Beteiligung an der Energieinfrastruktur, um die Finanzierungskosten zu senken.

### Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen in der Energiewirtschaft

Für die finanzielle Unterstützung der nötigen Investitionen entstehen die **folgenden Finanzbedarfe**:

- **Ausbau der Erneuerbaren Energien:** In der Vergangenheit stand beim Ausbau der Erneuerbaren Energien das Schließen einer Kostenlücke im Vordergrund. Zwar bleibt der Grundsatz einer langfristigen Erlösabsicherung im Szenario erhalten. Allerdings verschiebt sich die Rolle dieses Instruments weg von der Deckung von Kostenlücken hin zur fortlaufenden Absicherung günstiger Finanzierungsbedingungen. Entsprechend ist der größte Kostenblock die Vergütung für Bestandsanlagen, die bis 2023 errichtet wurden und bis 2045 noch mit insgesamt 95 Mrd. EUR zu Buche schlagen wird. Alle neuen Anlagen, die ab 2025 zugebaut werden, erfordern in Summe bis 2045 lediglich 45 Mrd. EUR, 55 Prozent davon entfallen auf Aufdach-PV-Anlagen. Diese Bedarfe fallen direkt im Bundeshaushalt an.
- **Regelbare Kraftwerkskapazitäten und Speicher:** Durch die Einführung eines Kapazitätsmarktes werden notwendige Investitionen durch Umlagen auf den Strompreis beziehungsweise durch Preisaufschläge durch Lieferanten finanziert. Für Speicher ergibt sich eine Finanzierung über den Strommarkt und daher kein zusätzlicher Finanzbedarf.
- **Wasserstoffhochlauf und Einsatz in regelbaren Kraftwerken:** Der Markthochlauf der Wasserstoffnutzung und insbesondere der Einsatz in Kraftwerken erfordert eine Förderung. Für den Zeitraum bis 2030 werden die hierfür im KTF vorgesehenen Programme fortgeschrieben. Außerdem wird der Einsatz von Wasserstoff in Kraftwerken über eine Umlage finanziell unterstützt. Die Wasserstoffherzeugung benötigt eine Anschubfinanzierung, damit ein großskaliger Ausbau von Elektrolyseuren als Voraussetzung für die Weiterentwicklung dieser Technologie möglich ist. Die haushaltswirksamen Kosten belaufen sich auf 2,8 Mrd. EUR im Jahreschnitt bis 2030.
- **Fernwärmeerzeugung und -speicher:** Die Erneuerung der Wärmeerzeuger, -speicher und -netze in der Fernwärme wird durch eine Kombination aus dem KWKG und der Bundesförderung Effiziente Wärmenetze (BEW) ermöglicht. Die BEW enthält darüber hinaus auch Mittel zum Ausbau der Wärmenetze. Das KWKG wird über eine Umlage auf den Strompreis finanziert, sodass sich hieraus keine direkten Finanzbedarfe ergeben. Die

BEW schlägt mit durchschnittlichen Kosten von 1,7 Mrd. Euro pro Jahr bis 2030 im Bundeshaushalt zu Buche. Dieser Betrag steigt für den Zeitraum von 2031 bis 2045 auf 3,7 Mrd. Euro.

### Ermöglichung von Investitionen in Energieinfrastrukturen

Da es sich bei Energieinfrastrukturen um natürliche Monopole handelt, ist hier die **Marktregulierung** zentral. Grundsätzlich refinanzieren sich die Investitionen in Energienetze über die Netzentgelte. Daher werden im Szenario keine Finanzbedarfe für die Förderung der Energienetze ausgewiesen – die Zuschüsse für den Ausbau von Wärmenetzen sind jedoch in den für die BEW veranschlagten Kosten enthalten (s. o.).

Aktuell ist umstritten, welche Rolle eine **höhere staatliche Beteiligung an der Energieinfrastruktur** mit sich bringen könnte. Grundsätzlich kann der Privatsektor im Bereich regulierter Monopole nur einen geringeren Mehrwert für eine kosteneffiziente Transformation bieten, da Wettbewerb nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Darüber hinaus birgt der Übergang zur Klimaneutralität zusätzliche Risiken: Insbesondere bis 2030 müssen sehr hohe Investitionen in die Stromnetze erfolgen, deren Auslastung sich durch Verzögerungen bei der Elektrifizierung auch negativ entwickeln könnte. Dies würde sich in steigenden Netzentgelten niederschlagen, die sich wiederum hemmend auf die Elektrifizierung auswirken könnten.

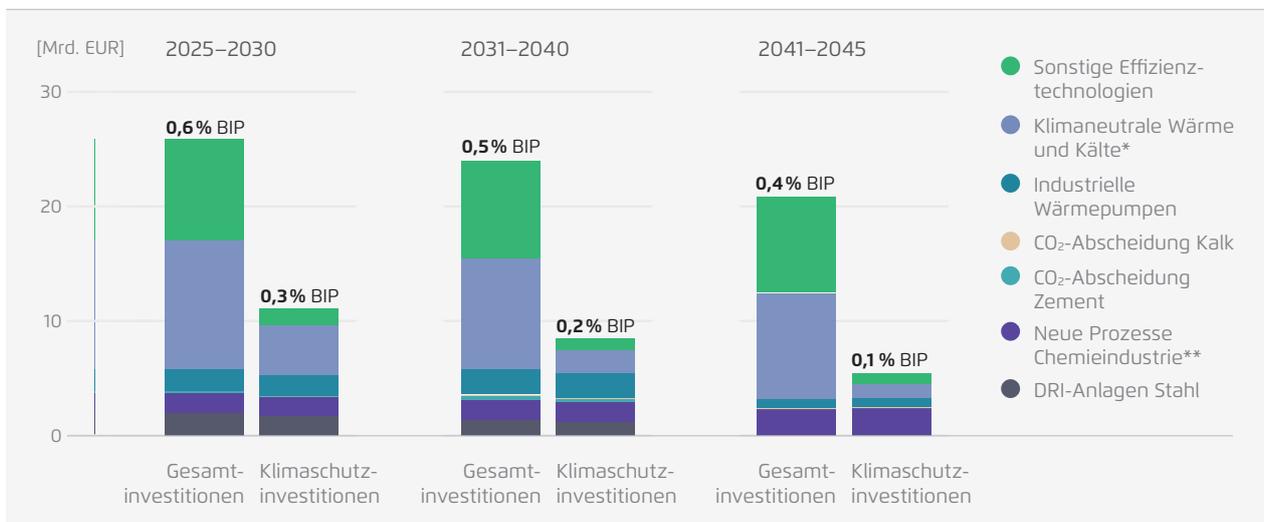
Dies wirkt bei der Gestaltung von Netzentgelten in höherem Maße Verteilungsfragen auf, die für eine stärkere Beteiligung des Staates sprechen können. Darüber hinaus haben die Finanzierungskosten einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Netzentgelte.

### 5.2 Industrie

Für die deutsche Wirtschaft ist die Transformation zur Klimaneutralität eine zentrale Möglichkeit, sich aus der aktuellen Krise heraus zu investieren und zu modernisieren. Aktuell sind weite Teile der Wirtschaft durch eine nachlassende globale Nachfrage und hohe Energiepreise geschwächt. Auch wenn die

Industriesektor: Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen im Jahresdurchschnitt und ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt

→ Abb. 42



Agora Energiewende, Prognos, Wuppertal Institut und Universität Kassel (2024). Y-Achse entspricht jährlichem Durchschnitt des Zeitraums in Mrd. EUR; Beschriftung: Anteil am Bruttoinlandsprodukt des jeweiligen Zeitraums, in realen Preisen (2023). \*außer industrielle Wärmepumpen; \*\*umfasst Methanolproduktion und -verarbeitung, Recycling, Biomasse-Verarbeitung, CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Elektrifizierung der Dampferzeugung

deutsche Wirtschaft innovationsstark und damit anpassungsfähig und resilient ist, wird staatliche Unterstützung für die erforderliche Modernisierung benötigt.

Die Innovationsfähigkeit gilt es durch gute Rahmenbedingungen für Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie die Finanzierung von Start-ups zu erhalten. Darüber hinaus ist staatliches Handeln gefragt, damit die Wirtschaft sich aus der Talsohle herausinvestieren kann. Notwendige Anreize und Unterstützung für Investitionen sind zügig erforderlich, da insbesondere Industrieanlagen lange Investitionszyklen haben – die Brennöfen der Zementwerke, die Hochöfen der Primärstahlerzeuger und die Steamcracker der Grundstoffchemie weisen häufig technische Lebensdauern von 50 Jahren oder mehr auf.

### Investitionsbedarfe

Die klimaneutrale Modernisierung des Industriesektors erfordert Investitionen in DRI-Anlagen im Stahlsektor, in die CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei der Herstellung von Zement und Kalk sowie in den Umbau der Produktionsprozesse in der Chemieindustrie. Hinzu kommen Investitionen in den breiten Hochlauf von industriellen Wärmepumpen, klimaneutraler Kälte und Wärme sowie sonstigen Effizienztechnologien (Abbildung 42).

### Ermöglichung von Investitionen

Auch im Industriebereich setzen der ETS I und ab 2027 der ETS II durch die Verknappung der Zertifikatmenge einen starken **preisbasierten Anreiz** zur Emissionsreduktion. Damit Unternehmen klimaneutral produzieren können, ist der **Ausbau der Strom-, Wasserstoff- und CCS-Infrastruktur** zentral. Dabei bildet ein effizienter Ausbau der Energieinfrastruktur die Grundlage, um die Kosten einer klimaneutralen Wirtschaft gering zu halten.

Die Etablierung von Leitmärkten und Credits, Gutschriften oder Quoten für den Rezyklateinsatz oder

den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe zum Beispiel im Kunststoffbereich als Form der **Marktregulierung** reizt die Nachfrage nach klimaneutralen Produkten an. Standards für die öffentliche Beschaffung zum Beispiel für die Verwendung von „grünem“ Stahl sind hier eine weitere Option, um Absatzmärkte zu sichern.

Im Kontext der **finanziellen Unterstützung** sind die Ausgangsvoraussetzungen der verschiedenen Wirtschaftsakteure zu berücksichtigen. Für **KMU**, zu denen 90 Prozent der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe zählen, sind Investitionen in klimaneutrale Technologien mit höheren Finanzierungskosten verbunden; sie benötigen daher vor allem unbürokratische Finanzierungsinstrumente wie zinsgünstige Kredite, staatliche Bürgschaften oder Garantien. Für **energieintensive Industrieunternehmen**, die im internationalen Wettbewerb stehen, fallen neben den Investitionskosten auch die operativen Energiekosten stärker ins Gewicht. Um die nationale Resilienz zu stärken und die Industrie in ihrer Breite zu erhalten, werden manche energieintensiven Produktionsprozesse nur mit staatlichen Fördergeldern gehalten werden können.

### Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen

Für die finanzielle Unterstützung der nötigen Investitionen und Ausgleichszahlungen entstehen die **folgenden Finanzbedarfe**:

→ Die **Klimaschutzverträge** für die Industrie werden fortgeführt. Sie gleichen die Mehrkosten aus, die klimaschonendere Produktionsprozesse im Vergleich zu den bisherigen Verfahren mit sich bringen und spielen so eine zentrale Rolle für die Investitionssicherheit. Der Anwendungsbereich der Klimaschutzverträge wird ausgeweitet und beinhaltet insbesondere auch die Dampferzeugung. Hierdurch ergibt sich ein staatlicher Finanzbedarf von durchschnittlich 2,4 Mrd. Euro pro Jahr im Zeitraum von 2025 bis 2030, der bis 2045 auf 2,1 Mrd. Euro pro Jahr absinkt.

- Hinzu kommen Mittel für **eine Unterstützung für KMU**, um eine vereinfachte Form der Klimaschutzverträge auch für diese Unternehmen zu konzipieren. Der Bedarf hierfür wird auf durchschnittlich 0,7 Mrd. EUR pro Jahr von 2025 bis 2030 veranschlagt.
- Auch **beschleunigte Abschreibungen** spielen für die Unterstützung von privaten Investitionen eine relevante Rolle. Aufgrund der Komplexität, die tatsächliche Auswirkung von beschleunigten Abschreibungen auf den Haushalt zu ermitteln, wurde dieser Posten nicht explizit in die Übersicht zu den Finanzbedarfen aufgenommen. Das Instrument führt zu einer Verringerung der Einnahmen.
- Günstige Erneuerbare Energie ist die Basis für die Wettbewerbsfähigkeit eines klimaneutralen Wirtschaftsstandorts. Eine Abgabenreform sorgt für eine **Entlastung der Unternehmen bei den Netzentgelten** und eine weitgehende Befreiung von staatlichen Abgaben. Auch hier fallen keine direkten Ausgaben im Haushalt an.
- Um die energieintensive Industrie in Deutschland in ihrer Breite zu erhalten und dadurch die Unabhängigkeit vom Import wichtiger Rohstoffe zu sichern, wird zusätzlich **die**

**Strompreiskompensation** fortgeführt und ausgeweitet. Dafür fallen Kosten in Höhe von durchschnittlich 3,6 Mrd. EUR pro Jahr im Zeitraum von 2025 bis 2030 an.

### 5.3 Gebäude

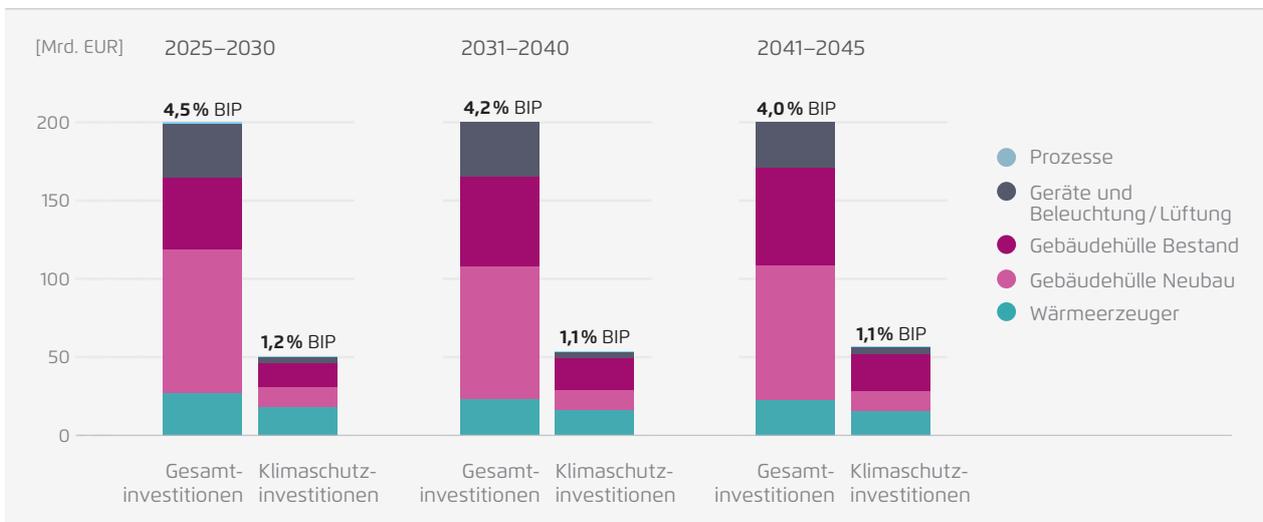
#### Investitionsbedarfe

Ein klimaneutraler Gebäudebestand erfordert Investitionen in die Umstellung der Wärmeversorgung auf Erneuerbare Energien, insbesondere in CO<sub>2</sub>-freie Fernwärme und Wärmepumpen sowie in die Sanierung des Gebäudebestands. Darüber hinaus fallen Investitionen für die Gebäudehülle beim klimaneutralen Neubau sowie für energieeffiziente Geräte, Prozesse, Beleuchtung und Belüftung an. Der höchste Bedarf entfällt sowohl im Neubau als auch im Bestand auf die Gebäudehülle. Der Ohnehin-Anteil liegt im Gebäudesektor bei etwa drei Viertel der benötigten Gesamtinvestitionen (Abbildung 43).

Der öffentliche Anteil an den Klimaschutzinvestitionen im Gebäudesektor beträgt 2,7 Prozent.

Gebäudesektor: Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen im Jahresdurchschnitt und ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt

→ Abb. 43



Agora Energiewende und Prognos (2024). Y-Achse entspricht jährlichem Durchschnitt des Zeitraums in Mrd. EUR; Beschriftung: Anteil am Bruttoinlandsprodukt des jeweiligen Zeitraums, in realen Preisen (2023)

Dieser ergibt sich zum einen aus den Beteiligungen des Staates an Wohnungsunternehmen, welche die Investitionen voraussichtlich tätigen werden, und zum anderen durch den direkten Besitz des Staates an öffentlichen Gebäuden wie zum Beispiel Rathäusern, Schulen und Schwimmbädern.

## Ermöglichung von Investitionen

Der Gebäudesektor zeichnet sich durch eine sehr hohe Konstanz bei der Investitionstätigkeit aus. Dies liegt vor allem daran, dass es sich um einen Sektor mit sehr langen Investitionszyklen handelt und die Kapazitäten für die Erneuerung des Bestands begrenzt sind. Vor diesem Hintergrund ist es zentral, Investitionen möglichst zügig klimaneutralitätskompatibel umzustellen. Dies unterstreicht die Bedeutung **ordnungsrechtlicher Maßnahmen** in diesem Sektor.

Zudem kann eine stärkere CO<sub>2</sub>-Bepreisung **preisbasierte Anreize** für Sanierungen und Heizungstausch schaffen. Damit diese Preissignale auch bei den Eigentümern und Eigentümerinnen der Häuser ankommen, wird das CO<sub>2</sub>-Kostenaufteilungsgesetz, das die Aufteilung von CO<sub>2</sub>-Kosten zwischen Mietenden auf der einen Seite und Vermietenden auf der anderen Seite regelt, evaluiert und falls nötig angepasst. Um die Mieterinnen und Mieter nach Effizienzmaßnahmen vor starken Preissteigerungen zu schützen, kommen neben einer Reform der Modernisierungsumlage auch finanzielle Investitionsunterstützungen für Vermieterinnen und Vermieter in Frage, die mit Auflagen zur Miethöhe kombiniert werden.

Höhere CO<sub>2</sub>-Preise versetzen jedoch gerade Hauseigentümerinnen und -eigentümer mit geringem Einkommen und Vermögen noch nicht in die Lage, die teilweise erheblichen Anfangsinvestitionen zu bewältigen. Um eine zu starke Belastung dieser Gruppe zu vermeiden, sind Instrumente zur **finanziellen Unterstützung** insbesondere für den Heizungstausch und die Gebäudesanierung von entscheidender Bedeutung.

## Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen

→ Die **Bundesförderung Effiziente Gebäude** wird verstetigt und ausgeweitet. Gemeinsam mit weiteren Förderprogrammen für den Gebäudebereich entsteht ein öffentlicher **Finanzbedarf** von etwa 17 Mrd. EUR pro Jahr im Zeitraum von 2025 bis 2030, der bis 2045 auf 20 Mrd. EUR pro Jahr ansteigt.<sup>22</sup> Dabei wird die Komponente der Kreditförderung gegenüber der Zuschussförderung gestärkt, um die Fördereffizienz zu verbessern. Durch eine verstärkte Förderung unterer und mittlerer Einkommensgruppen und die Unterstützung der Mindesteffizienzstandards wirkt die BEG-Förderung wesentlich stärker in die Breite als heute. Um sicherzustellen, dass diese Mittel auch abgerufen und zielführend ausgegeben werden, müssen die Personalausstattung bei BAFA und KfW verbessert und Antragsprozesse verschlankt werden. Gerade Menschen mit geringem Einkommen und Vermögen müssen aktiv und gezielt angesprochen, über Fördermöglichkeiten informiert und im Antragsprozess begleitet werden. Die veranschlagten Finanzbedarfe werden auf die BEG und weitere Förderprogramme verteilt. Daraus werden folgende Posten finanziert:

- **Heizungstausch:** Der **einkommensgestaffelte Zuschuss** wird fortgeführt. Das **Vermögen** wird dabei perspektivisch als weiteres Kriterium bei der Berechnung der Förderhöhe herangezogen.
- **Hüllensanierung:** Das Prinzip **des einkommens- und vermögensgestaffelten Zuschusses** wird auch auf die Hüllensanierung angewandt. Ein neues Element ist ein Fokus auf die ineffizientesten Gebäude mit dem höchsten Emissionsreduktionspotenzial – sowohl in der Kredit- als auch in der Zuschussförderung. Das schützt zum einen einkommensschwächere Gruppen, die oft in diesen Gebäuden leben. Zum anderen

<sup>22</sup> Der Förderbedarf basiert auf einem Mehrkostenausgleich von 100 Prozent für das untere Einkommensdrittel und rund 30 Prozent für das mittlere Einkommensdrittel. Der Bedarf für den Ausbau und die Dekarbonisierung der Fernwärme wird unter Energiewirtschaft bilanziert.

ist die Fördereffizienz hier besonders hoch. Gerade einkommensschwache Gruppen, bzw. Wohnungsunternehmen, die an solche Gruppen vermieten, sind in der Regel jedoch nicht in der Lage, Sanierungen auf ein anspruchsvolleres Effizienzniveau in einem Schritt durchzuführen. Deshalb wird der **Worst-Performing-Buildings-Bonus anders als bislang auch auf Einzelmaßnahmen angewandt**: so werden pragmatisch gestaffelte Sanierungen erleichtert. Gleichzeitig werden die **Fördersätze der Einzelmaßnahmenförderung auf 30 Prozent erhöht**, um im Sinne eines Komponentenansatzes die Diskrepanz zur Effizienzhausförderung zu reduzieren. Damit Immobilienbesitzende die gestaffelten Mindesteffizienzstandards im Rahmen der nationalen Umsetzung der EPBD leichter erreichen können, wird die **Förderung in einer zweiten Stufe mit den Mindeststandards harmonisiert**, zum Beispiel, indem Energieeffizienzklassen als gestufte Zielniveaus definiert werden. So können zusätzliche Anreize für frühzeitige Sanierungen gesetzt werden.

- **Soziale Förderung im vermieteten Bestand:** Für die Wohnungswirtschaft wird ein Förderbonus geschaffen, den sie in Kombination mit einer temporären Mietpreisobergrenze in Anspruch nehmen kann. So werden Sanierungen im vermieteten Bestand angereizt und zugleich die Mietenden geschützt.
- **Wohnraum schaffen im Bestand:** Um Wohnraum flächen- und ressourceneffizient bereitzustellen und *Embodied-Carbon*-Emissionen zu reduzieren, werden bestehende Förderprogramme für die Aufstockung, den Umbau oder die Umnutzung bestehender Gebäude weitergeführt und ausgeweitet.

→ **Günstiger Tarif für Wärmepumpen:** Ein günstiges Verhältnis von Strom- zu Gaspreisen ist ein wichtiger Faktor, um den Business Case für Wärmepumpen attraktiver zu machen und den Umstieg von Gasheizungen auf Wärmepumpen anzureizen. Daher wird der Bezug von Strom für Wärmepumpen vorübergehend von staatlichen Abgaben befreit, und die Netzentgelte werden

gesenkt. Um solche Wärmepumpentarife in der Breite zu ermöglichen, ist ein flächendeckender Einbau von Smart Metern notwendig. Der wesentliche Teil der Wärmepumpen-Tarife ergibt sich durch eine Absenkung der Netzentgelte, für die kein direkter Bedarf in öffentlichen Haushalten entsteht. Die Absenkung der Stromsteuer auf das europäische Minimum von 0,05 ct/kWh führt zu einer Reduktion von Steuereinnahmen, die in dieser Studie nicht im Detail quantifiziert wurden.

→ **Ausgleichszahlung:** Dennoch wird es immer Konstellationen geben, in denen Kostensteigerungen unzumutbare Belastungen auslösen und nicht schnell genug eine strukturelle Lösung umgesetzt werden kann. In diesen Fällen bedarf es eines vorübergehenden finanziellen Ausgleichs. Zu diesem Zweck werden rund 10 Mrd. EUR jährlich in Form von direkten Zahlungen an Bürgerinnen und Bürger rückverteilt. Der Anspruch auf eine solche Zahlung und ihre Höhe wird an sozialen Kriterien sowie den Hürden für den Umstieg auf klimaneutrale Lösungen bemessen. Aus administrativen Gründen kann vorübergehend ein allgemeines Klimageld sinnvoll sein.

## 5.4 Verkehr

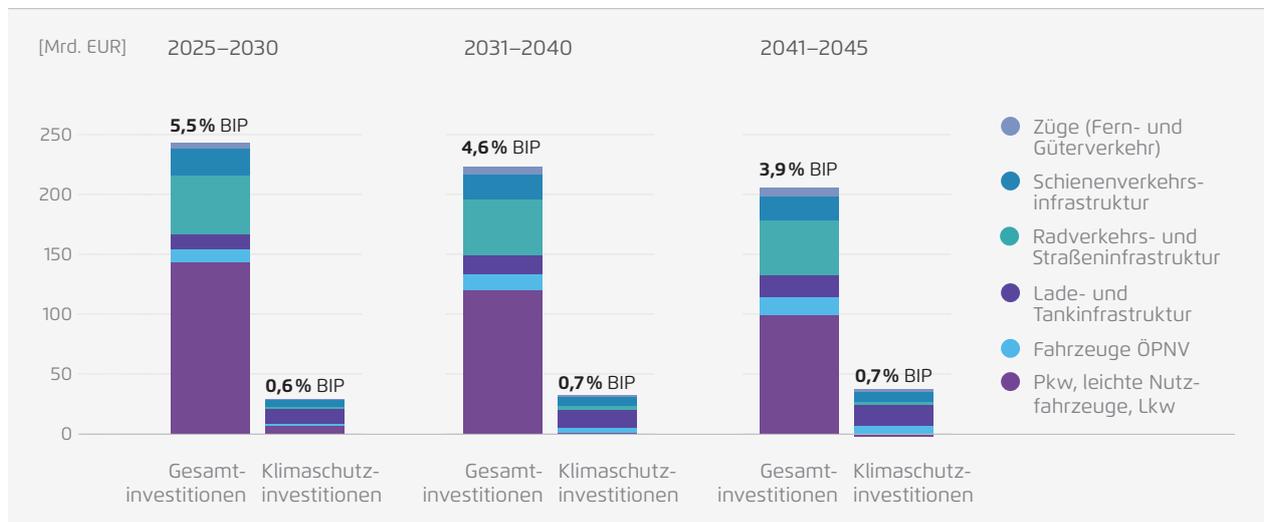
### Investitionsbedarfe

Ein klimaneutrales Verkehrssystem erfordert Investitionen in die Elektrifizierung des Straßenverkehrs, in die dafür benötigte Lade- und Tankinfrastruktur, den Ausbau von Radwegen und Schieneninfrastruktur sowie in Fahrzeuge für den öffentlichen Verkehr auf der Straße und Schiene (Abbildung 44).

Während der Kauf von Straßenfahrzeugen angesichts des hohen Ohnehin-Anteils den Großteil der Gesamtinvestitionen ausmacht, entfallen die Klimaschutzinvestitionen zu großen Teilen auf den Aufbau der Ladeinfrastruktur sowie die Ausweitung der Kapazitäten – gegenüber der Referenzentwicklung des Projektionsberichts – im Schienenverkehr.

## Verkehrssektor: Gesamt- und Klimaschutzinvestitionen im Jahresdurchschnitt und ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt

→ Abb. 44



Agora Energiewende und Prognos, Öko-Institut (2024). Y-Achse entspricht jährlichem Durchschnitt des Zeitraums in Mrd. EUR; Beschriftung: Anteil am Bruttoinlandsprodukt des jeweiligen Zeitraums, in realen Preisen (2023)

Der öffentliche Anteil an den Klimaschutzinvestitionen beträgt rund zwei Drittel. Dieser ergibt sich zum einen über die Infrastruktur und den öffentlichen Fuhrpark im direkten Besitz von Bund, Ländern und Kommunen und zum anderen aus dem Anteil des Staates an Verkehrsunternehmen, welche ebenfalls Investitionen in Straßen- und Schienenfahrzeuge und dazu gehörige Infrastruktur tätigen.

### Ermöglichung von Investitionen

Um Klimaneutralität im Verkehrssektor zu erreichen, kommen im Szenario zahlreiche **preisbasierte Anreize** zum Einsatz. Dazu zählen etwa eine stärker ansteigende CO<sub>2</sub>-Bepreisung, eine Angleichung der Besteuerung von Diesel und Otto-Kraftstoff samt jährlichem Inflationsausgleich sowie Reformen der Kfz-Steuer, die nunmehr zum Zeitpunkt der Pkw-Erstzulassung greift, und der Dienstwagenbesteuerung, wodurch die Anschaffung von Nullemissionsfahrzeuge gegenüber Pkw mit Verbrennungsmotoren finanziell attraktiver wird.

Um Herstellern Investitionssicherheit zu bieten und zu vermeiden, dass Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen bei einem absehbar steigenden

CO<sub>2</sub>-Preis mit hohen Betriebskosten belastet werden, ist die Beibehaltung der auf EU-Ebene beschlossenen CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sowie schwere Nutzfahrzeuge essenziell.

Da die Frage, wie gut Menschen bei steigenden Preisen für fossile Brennstoffe auf klimafreundliche Alternativen umsteigen können, auch maßgeblich durch die regionale ÖPNV-Verfügbarkeit bestimmt wird, kommt dem Staat im Bereich der **Verkehrsinfrastruktur und des ÖV-Angebots** eine zentrale Rolle zu. Die Bereitstellung eines flächendeckenden Angebots öffentlicher Verkehrsmittel und der Ausbau von sicheren Rad- und Fußwegen sind Teil der öffentlichen Daseinsvorsorge und zentral, um eine Grundverfügbarkeit von Mobilitätsangeboten zu schaffen und damit gerade auch die untersten Einkommensdezile zu entlasten. Dabei lassen sich die notwendigen Investitionen für den Erhalt und Ausbau des Bundesschiennetzes und der Infrastruktur des ÖPNV kurzfristig nicht allein aus laufenden Einnahmen oder Rückstellungen decken. Zinsgünstige öffentliche Darlehen ermöglichen es, die Rückzahlung der hohen Investitionen über einen längeren Zeitraum zu strecken.

Um einen sozial gerechten Übergang zur Klimaneutralität zu gewährleisten und den Zugang zu

besserer Mobilität für alle zu ermöglichen, ist eine **finanzielle Unterstützung** von Privatpersonen in Form von gezielter Investitionsunterstützung zum Umstieg auf Elektromobilität und Ausgleichszahlungen notwendig.

## Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen

Öffentliche Finanzbedarfe entstehen durch Zuschüsse für den Erhalt und Ausbau der Schieneninfrastruktur, für den ÖPNV sowie für eine gezielte Investitionsunterstützung im Bereich der Elektromobilität sowohl bei der Fahrzeuganschaffung als auch für den Ladeinfrastruktur-Aufbau.

- **Zuschüsse für die Schieneninfrastruktur:** Um die Verkehrsleistung der Bahn im Personen- und Güterverkehr im Zuge der Mobilitätswende deutlich zu steigern, bedarf es zusätzlicher Investitionen in die Schieneninfrastruktur. Der so entstehende öffentliche Finanzbedarf für die Steigerung der Kapazitäten liegt in den Jahren 2025 bis 2030 bei durchschnittlich etwa 4,6 Mrd. Euro pro Jahr, und steigt im weiteren Zeitraum bis 2045 auf durchschnittlich 6,3 Mrd. EUR pro Jahr.
- **Zuschüsse zum ÖPNV:** Zusätzlich zur Infrastruktur sind darüber hinaus auch Zuschüsse für die Anschaffung der Fahrzeuge für den ÖPNV (Züge, Busse) notwendig, soweit sich die erforderlichen Investitionen nicht über Ticketeinnahmen refinanzieren lassen. Basierend auf einem weitgehend konstanten Kostendeckungsgrad wird der Bedarf hierfür bis 2030 auf durchschnittlich 0,5 Mrd. EUR pro Jahr veranschlagt, der bis 2045 auf 2,6 Mrd. EUR pro Jahr ansteigt. Auch diese Summe bezieht sich, wie bei der Schieneninfrastruktur, auf die zusätzlichen Fahrzeuginvestitionen (ohne Ausgaben für deren Betrieb) gegenüber der Referenz des Projektionsberichts. Grundsätzlich gilt, dass Ausgaben für die Bereitstellung eines qualitativ hochwertigen, flächendeckenden Angebots an öffentlichen Verkehrsmitteln – gerade auch in strukturschwachen Regionen – nicht allein dem Klimaschutz zugutekommen, sondern auch der allgemeinen Daseinsvorsorge dienen.

- **Investitionsunterstützung im Bereich der Elektromobilität:** Menschen mit geringem Einkommen, die in Regionen ohne ausreichende ÖPNV-Abdeckung wohnen, können für die Anschaffung eines E-Pkws auf staatliche Unterstützung angewiesen sein. Die Unterstützung kann sowohl in Form von zinsgünstigen Krediten als auch durch Prämien oder einkommensabhängig geförderte Leasing-Modelle erfolgen. Die Förderung sollte zum einen auf günstige und energieeffiziente Modelle fokussieren, zum anderen sollte die Anspruchsberechtigung im Rahmen solcher Förderprogramme einkommensabhängig ausgestaltet sein, um Mitnahmeeffekte und eine starke fiskalische Belastung zu vermeiden. Die fahrzeugseitige Förderung der Elektromobilität ist mit einem Finanzbedarf bis 2030 von durchschnittlich 3,5 Mrd. EUR pro Jahr verbunden, der aber aus den Einnahmen der reformierten Kfz-Besteuerung gedeckt werden kann, sodass hier kein expliziter Bedarf für den Haushalt ausgewiesen wird.
- **Mobilitätsgeld:** Ein einkommensunabhängiges Mobilitätsgeld ersetzt die bisherige Entfernungspauschale, um für Menschen mit geringem Einkommen die Kostensteigerungen durch den CO<sub>2</sub>-Preis besser abzufedern. Das Mobilitätsgeld gewährt allen Arbeitnehmenden eine gleiche finanzielle Entlastung für berufliche Pendelwege; die Summe hängt ausschließlich von der Pendeldistanz ab und steigt nicht – wie bei der Entfernungspauschale – mit dem Steuersatz und folglich dem Einkommen an. Die Umwandlung der Entfernungspauschale in ein Mobilitätsgeld erfolgt haushaltsneutral.
- **Zuschüsse zum Ausbau der Ladeinfrastruktur:** Es fallen Zuschüsse bis 2030 in Höhe von 0,6 Mrd. EUR pro Jahr an, die insbesondere für den Aufbau eines leistungsfähigen Ladennetzes für Lkw eingesetzt werden, darüber hinaus aber auch für eine einkommensabhängige Förderung privater Ladeinfrastruktur sowie die Unterstützung des Aufbaus öffentlicher Pkw-Ladeinfrastruktur vor allem in ländlichen Regionen.

## 5.5 Landwirtschaft und LULUCF

Um die in den Sektoren Landwirtschaft und LULUCF anfallenden Emissionen zu reduzieren

und ihre Senkenleistung zu stärken, bedarf es vor allem öffentlicher Mittel, um die Sektoren für die Erbringung öffentlicher Leistungen zu entlohnen. Die Förderung von Investitionen, zum Beispiel zur Modernisierung von Maschinen und Gebäuden, in Infrastruktur und in Technologien zur Minderung von Treibhausgasemissionen, sind ebenfalls relevant, spielen aber im Vergleich zur Entlohnung für öffentliche Leistungen eine geringere Rolle.

Investitionsbedarfe gibt es in der landwirtschaftlichen Produktion (technische Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen durch veränderte Bauten und Maschinen), der Wiedervernässung von Mooren, dem Ausbau der CO<sub>2</sub>-Senkenleistung des Waldes sowie der Stärkung von strukturvielfältigen Agrarlandschaften. Um diese Investitionen anzureizen, bedarf es zuerst politischer Rahmenbedingungen, die den Beitrag zum Klimaschutz zu einer ökonomischen Chance für die in den Sektoren tätigen Unternehmen werden lassen und die richtigen Preisanreize setzen, um Emissionen zu mindern.

Dazu zählen beispielsweise ein EU-weites Emissionshandelssystem für Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft und aus landwirtschaftlich genutzten Mooren. Preisbasierte Anreize setzen Preissignale für eine umwelt- und sozialverträglichere Wirtschaftsweise, überlassen es aber der

unternehmerischen Entscheidung, auf das Preissignal zu reagieren.

Außerdem sind öffentliche Zahlungen für die Bereitstellung öffentlicher Güter ein wichtiger Anreiz für die Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle in der Land- und Forstwirtschaft. Dazu gehört unter anderem die Entlohnung öffentlicher Leistungen wie der vermehrten Bindung von Kohlenstoff im Wald und auf landwirtschaftlichen Flächen. Die finanziellen Bedarfe können sowohl aus Geldern der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) als auch aus anderen Haushaltsmitteln stammen. Auch private Kohlenstoffmärkte können einen Beitrag leisten.

Außerdem sind unter anderem Investitionen in die Anpassung der Wälder, die Infrastruktur und waserbauliche Maßnahmen zur Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moore notwendig. Die dazu notwendigen öffentlichen Finanzbedarfe wurden nicht quantifiziert.

Um einen ambitionierten Beitrag der Land- und Forstwirtschaft zum Klimaschutz und weiteren Nachhaltigkeitszielen zu finanzieren, sind deutlich mehr finanzielle Mittel notwendig als heute. Eine genaue Quantifizierung hängt jedoch stark von den gewählten Instrumenten und Finanzierungsquellen ab. Dies geht über den Rahmen der aktuellen Studie hinaus.

## 6 Sozial gerechte Ausgestaltung der Verkehrs- und Wärmewende

Die Verkehrs- und Wärmewende bietet Chancen, die Gesundheit und Lebensqualität der Bevölkerung zu verbessern. Ein breiteres Angebot an öffentlichem Verkehr und der Ausbau von sicheren Rad- und Fußwegen kommen allen Menschen zugute; und insbesondere denjenigen mit geringem Einkommen, die auch besonders häufig von Verkehrslärm und Luftverschmutzung in städtischen Gebieten betroffen sind. Ähnliches gilt für Gebäudesanierung und die Begrünung von Städten, denn Menschen mit geringem Einkommen leben häufiger in schlecht gedämmten Wohnungen in dicht bebauten Stadtteilen und sind damit künftig häufiger auftretenden Hitzewellen besonders ausgesetzt.

Zugleich erfordert die Umsetzung der Verkehrs- und Wärmewende erhebliche Investitionen, die auch im privaten Bereich anfallen. Dazu gehören vor allem Ausgaben für Sanierungsmaßnahmen, den Einbau einer Wärmepumpe oder den Kauf eines Elektroautos. Für Menschen mit ausreichenden finanziellen Mitteln stellen ein steigender CO<sub>2</sub>-Preis oder ordnungsrechtliche Vorgaben im Gebäudebereich ein geringeres Problem dar; sie können sich durch den Umstieg auf klimaneutrale Technologien in eine CO<sub>2</sub>-freie Zukunft hineininvestieren. Die Gruppe der Menschen, die weiterhin auf fossile Heizungssysteme und Pkw angewiesen ist, wird damit absehbar kleiner – ohne angemessene Unterstützung kann die Kostenbelastung für sie jedoch immens werden und mittelbar auch ihre soziale Teilhabe beeinträchtigen. Um dies zu vermeiden, sind hier besondere politische Aufmerksamkeit und gezielte Unterstützung notwendig.

Eine politische Herausforderung besteht dabei darin, überhaupt erst den Adressatenkreis zu bestimmen. Denn die Frage, ob es zu übermäßigen Kostenbelastungen kommt, wird durch verschiedene Faktoren bestimmt. Der offensichtlichste Faktor ist ein geringes Einkommen beziehungsweise Vermögen. Mit Blick auf die Wärmewende ist darüber hinaus entscheidend, ob Personen Immobilieneigentümerinnen sind oder zur Miete wohnen und in welchem

Zustand Gebäudehülle und Heizungssystem sind. Im Verkehrsbereich wird die Belastung neben individuellen Faktoren wie Einkommen sowie Haushaltsgröße und familiäre Situation auch stark durch die regionale Verfügbarkeit von ÖV- und Ladeinfrastruktur beeinflusst.

Diese Faktoren können sich gegenseitig verstärken oder auch aufheben – wenn zum Beispiel ein Gebäude in sehr schlechtem Zustand auf eine sehr gute Einkommens- und Vermögenssituation trifft. Entscheidend bei der Ausgestaltung eines Instrumentenmixes ist es daher, das Gesamtbild zu betrachten. Notwendig für eine solche systemische Betrachtung ist eine bessere Verfügbarkeit und Verknüpfung der erforderlichen Daten, die bisher nur in Ansätzen vorhanden ist.

### 6.1 Drei staatliche Handlungsfelder für eine sozial gerechte Verkehrs- und Wärmewende

Auch in diesem Kontext hat der im Szenario enthaltene Policy-Mix eine wichtige Funktion. Eine Kombination aus preisbasierten Anreizen wie dem CO<sub>2</sub>-Preis und Marktregulierung tragen dazu bei, dass Investitionen in klimaneutrale Technologien umgelenkt werden. Diese Anreize können jedoch nur dann flächendeckend Wirkung entfalten, wenn zugleich die erforderliche Infrastruktur für einen Umstieg geschaffen wird, eine faire Kostenaufteilung sichergestellt wird und die Anreize durch gezielte Investitionsunterstützung für Menschen mit geringem Einkommen flankiert werden. Die Studie schlägt daher folgende Maßnahmen vor, um sicherzustellen, dass es nicht zu übermäßigen Kostenbelastungen kommt und soziale Teilhabe für alle zu gewährleisten:<sup>23</sup>

<sup>23</sup> In eine ähnliche Richtung auch Zukunft Klimasozial (2024): Eine sozial gerechte und klimaneutrale Zukunft sichern.

## Bereitstellung von Infrastruktur

Die Bereitstellung von Infrastruktur ist zentral, um eine Grundverfügbarkeit von Mobilitätsangeboten und Energiedienstleistungen zu schaffen und damit gerade die untersten Einkommensdezile zu entlasten. Im Szenario angelegt ist daher die Planung und Finanzierung von Infrastruktur, wie zum Beispiel klimaneutralen Fernwärmenetzen, oder dem öffentlichen Nah- und Fernverkehr. Ebenso werden die Rahmenbedingungen zum flächendeckenden Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Pkw geschaffen. Je nach Leistungsfähigkeit von Kommunen und regional unterschiedlicher bereits vorhandener Verfügbarkeit von Infrastruktur ist dabei gegebenenfalls auch eine finanzielle Unterstützung durch den Bund beziehungsweise die Länder notwendig (Kapitel 5).

## Marktregulierung

Im Szenario führen Mindesteffizienzstandards zu einem sinkenden Energieverbrauch und schützen Mietende so vor hohen Heizkosten. Um übermäßige Kostenbelastungen für einzelne Gruppen zu vermeiden, sind im Gebäudebereich außerdem **Regelungen zur Kostenaufteilung und Preisregulierung bei Fernwärmenetzen** wichtig.

Damit CO<sub>2</sub>-Preise auch ihre Anreizwirkung entfalten und Mietende nicht übermäßig belasten, sollte das CO<sub>2</sub>-Kostenaufteilungsgesetz, das die Aufteilung von CO<sub>2</sub>-Kosten zwischen Mietenden und Vermietenden regelt, evaluiert und falls nötig angepasst werden. Um Mieterinnen und Mieter nach Effizienzmaßnahmen vor starken Preissteigerungen zu schützen, kommen neben einer Reform der Modernisierungsumlage auch finanzielle Investitionsunterstützungen für Vermieterinnen und Vermieter in Frage, die mit Auflagen zur Miethöhe kombiniert werden.<sup>24</sup>

Eine Preisregulierung von Fernwärmenetzen sorgt dafür, dass trotz des Machtungleichgewichts zwischen Anbietenden und Nachfragenden aufgrund eines natürlichen Monopols keine unverhältnismäßig hohen Preise aufgerufen werden.

Im Verkehrsbereich tragen ordnungsrechtliche Maßnahmen wie die CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte und ein Tempolimit dazu bei, dass der spezifische Energieverbrauch der Fahrzeuge sinkt, was unmittelbar für niedrigere Betriebskosten sorgt. Zudem geht mit den hierdurch sinkenden Treibhausgasemissionen auch eine verringerte Nachfrage nach CO<sub>2</sub>-Zertifikaten einher, was wiederum einen preisdämpfenden Effekt auf CO<sub>2</sub>-Preise hat.

## Finanzielle Unterstützung

**Eine gezielte Investitionsunterstützung** kann sowohl in Form von zinsgünstigen Krediten, staatlicher Risikoübernahme bei Krediten als auch von Zuschüssen oder von geförderten Leasing-Modellen (zum Beispiel für E-Pkw) erfolgen. Für alle Instrumente sind einkommensabhängige Förderkriterien oder solche, die besonders betroffene Gruppen adressieren, sinnvoll. Kreditfinanzierungen kommen vor allem dort in Frage, wo Haushalte grundsätzlich finanziell leistungsfähig sind und wo die klimafreundliche Alternative über den ganzen Lebenszyklus kostengünstiger ist als die fossile Referenz, aber temporäre Liquiditätengpässe bestehen. Zuschüsse sind vor allem für finanziell schlechter gestellte Haushalte und als Anschubfinanzierung für noch nicht konkurrenzfähige klimafreundliche Technologien sinnvoll. Um Mitnahmeeffekte und eine starke fiskalische Belastung zu vermeiden, sollte die Anspruchsberechtigung im Rahmen von Förderprogrammen an die Verfügbarkeit finanzieller Mittel und im Verkehrsbereich – sofern administrativ möglich – auch an die regionale ÖV-Verfügbarkeit gebunden werden.

In der Studie werden für den Gebäudebereich zunächst 17 und ab 2030 20 Mrd. EUR pro Jahr veranschlagt, die für Heizungstausch, Sanierung der Gebäudehülle, Programme zur Wohnraumschaffung

<sup>24</sup> Öko-Institut (2024), Sozialgerechte Förderung für energetische Sanierungen im Mietwohnbereich.

## Maßnahmen zur Unterstützung einer sozial gerechten Verkehrs- und Wärmewende

→ Tabelle 1

	Bereitstellung von Infrastruktur	Marktregulierung	Gezielte Investitionsunterstützung	Ausgleichsmaßnahmen
Ziel	Dauerhafte Emissions- und Kostenreduktion ermöglichen	Dauerhafte Emissions- und Kostenreduktionen	Dauerhafte Emissions- und Kostenreduktionen	Soziale Härten (kurzfristig) finanziell abfedern
Zeit-horizont	Mittel- bis langfristig	Mittel- bis langfristig	Mittel- bis langfristig	Kurzfristig, während Investitionsmaßnahmen umgesetzt werden
Instrumente im Szenario	<b>Verkehr:</b> → Ausbau des ÖV mit dem Ziel einer Mobilitäts-garantie → Förderung öffentlicher Ladeinfrastruktur  <b>Gebäude:</b> → Förderung von Wärmenetzen	<b>Gebäude:</b> → Mindesteffizienz-standards → Reform Modernisie-rungsumlage → Preistransparenz und preisdämp-fende Maßnahmen für Fernwärme  <b>Verkehr:</b> → CO <sub>2</sub> -Flotten-grenzwerte → Tempolimit	<b>Verkehr:</b> → Einkommensabhängige Förderung von Elektromobilität  <b>Gebäude:</b> → Einkommens- und vermö-gensgestaffelte Förderung von Gebäudesanierungen (wie derzeit schon für Heizungstausch) → Verknüpfung eines Förder-bonus für Vermietende mit einer temporären Mietpreis-obergrenze	→ Klimageld (einkommens-abhängig)  <b>Verkehr:</b> → Vergünstigte ÖV-Tickets → Einkommens-unabhängiges Mobilitätsgeld als Alternative zur Pendlerpauschale

Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2024)

im Bestand und finanzielle Ausgleichsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Für die Anschaffung von E-Pkws sind bis 2030 durchschnittlich 3,5 Mrd. EUR pro Jahr für Investitionsunterstützung vorgesehen.

Sowohl Programme zur Investitionsunterstützung als auch der Ausbau klimaneutraler Infrastruktur führen zu einer dauerhaften Emissionsreduktion. Beide Maßnahmentypen wirken jedoch eher mittel- bis langfristig. Da übermäßige Kostenbelastungen durch verschiedene Faktoren bestimmt werden, wird es außerdem kaum möglich sein, alle denkbaren Härtefall-Konstellationen durch gezielte Förderprogramme zu vermeiden. Daher ist es zusätzlich – jedenfalls vorübergehend – sinnvoll, auch finanzielle

**Ausgleichsmaßnahmen** wie direkte Zahlungen einzusetzen. Damit können Energiekosten, die durch klimapolitische Maßnahmen ansteigen, in der Übergangszeit in der Breite abgedeckt werden. Dabei spielen allgemeine staatliche Zuschüsse zur Senkung der Energiekosten für alle aus Sicht des sozialen Ausgleichs eine untergeordnete Rolle. Angenommen wird hier ein Klimageld, das aus administrativen Gründen zunächst allgemein und später zunehmend einkommensabhängig ausgezahlt wird. Darüber hinaus ersetzt ein einkommensunabhängiges Mobilitätsgeld die bisherige Pendlerpauschale. Um sektorspezifisch für Entlastung zu sorgen, wären alternativ auch eine Stärkung der Heizkostenkomponente beim Wohngeld oder vergünstigte ÖV-Tickets denkbar.

## Anhang 1 – Zentrale Ergebnisse und Rahmendaten

→ Tabelle A1

Kategorie	Indikator	Statistik	KND-Umsetzung		Vergleich mit KND2021		
		Startjahr <sup>1)</sup>	2030	2045	2030	2045	
Rahmen- daten	Bevölkerung [Mio] (2022)	84	85	85			
	BIP [Mrd Euro 2015 Preise]	3262	3534	4155			
	ETS-I-Preise (2022 Preise) [Euro/tCO <sub>2</sub> ]	81	132	194			
	ETS-II-Preise/BEHG (2022 Preise) [Euro/tCO <sub>2</sub> ]	30	124	188			
	Rohöl [Euro 2022/Barrel]	96	69	66			
	Erdgas [Euro 2022/MWh(Hs)]	76	28	20			
	Steinkohle [Euro 2022/MWh(Hs)]	37	12	9			
	Wasserstoffpreis – Grün [Euro 2022/MWh(Hs)]		125	100			
THG- Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq] <sup>2)</sup>	Gesamt <sup>3)</sup>	674	433	-31 (40)	-18	-18	
	Energiewirtschaft	205	98	-3,3 (2,4)	0,1	15	
	Industrie	155	115 (117)	-19 (11)	-8,3	11	
	Gebäude	102	72	0,8	7	-2,2	
	Verkehr	146	89	0,6	0	0,6	
	Landwirtschaft	60	57	23	-1,4	-18	
	Abfall	5,5	3	1,9	-2	-0,1	
	LULUCF	3,6	-11	-35	-13	-24	
Wasserstoff	Wasserstoffnachfrage [TWh]		45	268			
	Inländische Wasserstoffproduktion [TWh]		29	84			
	Import Wasserstoff [TWh]		16	184			
Biomasse	Biomasseangebot [TWh] (2020)	286		294			
	Biomassenachfrage [TWh] (2020)	330		327			
Energie- wirtschaft	Bruttostromverbrauch [TWh]	525	727	1267			
	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch [%]	52	76	100			
	Installierte Leistung [GW]	Wind Onshore	61	98	180		
		Wind Offshore	8	26	73		
		Photovoltaik	82	215	469		
		Großspeicher <sup>4)</sup>	7	30	102		
Regelbare Erzeugung		83	65	72			
Industrie	Endenergieverbrauch [TWh] (2022)	665	671	617			
Gebäude	Wärmepumpen [Mio.]	1,7	6	15,7			
	Endenergieverbrauch [TWh]	943	863	700			
Verkehr	Bestand vollelektrischer Pkw [Mio.] (2022)	1,2	12,6	37,8			
	Verkehrsleistung Schienengüterverkehr [Mrd. Tkm] (2022)	131	177	182			

1) Das Startjahr ist in der Regel 2023. Andere Jahre wurden gewählt, wenn die 2023-Statistik nicht rechtzeitig verfügbar war. In diesem Fall ist das Startjahr hinter den Kernindikatoren vermerkt.

2) Werte in Klammern ohne CCS und Negativemissionen

3) Statistikjahr (2023); 2030: ohne LULUCF gemäß § 3 (1) KSG, 2045: mit LULUCF gemäß § 3 (2) KSG

4) inkl. Vehicle-to-Grid, exkl. Heimsspeicher

**Anhang 2 – Öffentliche Finanzbedarfe zur Unterstützung von Investitionen im Jahresdurchschnitt [Mrd. EUR<sub>2023</sub>]** → Tabelle A2

	2025–30	2031–45	haushaltswirksam
<b>Energiewirtschaft</b>	17,6	12,4	
Stromerzeugung Erneuerbare Energien	13,1	4,0	ja
Systemflexibilität (Batteriespeicher)			a)
Wasserstoffherzeugung und -infrastruktur	2,8	4,6	b)
davon H <sub>2</sub> -Umlage	0,0	3,7	nein
davon haushaltswirksam	2,8	0,9	ja
Fernwärmeerzeugung, -speicherung und -netze	1,7	3,7	ja
Stromnetze			c)
CO <sub>2</sub> -Infrastruktur			d)
<b>Industrie</b>	6,7	5,7	
Klimaschutzverträge e)	2,4	2,1	ja
Wärmepumpenhochlauf Industrie	0,7	0,3	ja
Strompreiskompensation	3,6	2,0	ja
Hochlauf von BECCS/DACCS	0,0	1,3	ja
Beschleunigte Abschreibungen			f)
Entlastung bei den Netzentgelten			g)
<b>Gebäude</b>	17	20	
Unterstützung für Sanierung und Heizungstausch	17	20	ja
Wärmepumpenstromtarif			h)
<b>Verkehr</b>	9,1	8,9	
Elektromobilität	3,5	0	i)
Ladeinfrastruktur	0,6	0	ja
Zuschuss zur Schieneninfrastruktur	4,6	6,3	ja
Zuschuss zum ÖPNV	0,5	2,6	ja
Mobilitätsgeld			j)
Reform Dienstwagenbesteuerung			k)
<b>Landwirtschaft &amp; LULUCF</b>	0,8	0,9	l)
Natürlicher Klimaschutz	0,8	0,9	ja
Marktwert der genutzten Emissionszertifikate	28,5–41,2	19,3	m)
Ausgleichszahlungen und Härtefallschutz	10	10	ja
<b>Summe der haushaltswirksamen Bedarfe</b>	<b>57,8</b>	<b>54,1</b>	
Summe nach Abzug der CO <sub>2</sub> -Einnahmen	16,6–29,3	34,8	

Fußnoten siehe Folgeseite

## Fußnoten zu Tabelle A2

Agora Energiewende (2024), soweit nicht anders angegeben handelt es sich hier um Förderprogramme auf Bundesebene. Im ÖPNV-Bereich werden die Zuschüsse teilweise von Ländern oder Kommunen ausgezahlt.

- a) Für Speicher ergibt sich eine Finanzierung über den Strommarkt und daher kein zusätzlicher Förderbedarf.
- b) Der Einsatz von Wasserstoff in Kraftwerken wird über eine Umlage auf den Strompreis finanziell unterstützt. Diese Umlage ist nicht haushaltswirksam. Der Markthochlauf der Wasserstoffherzeugung benötigt eine Anschubfinanzierung, die haushaltswirksam ist.
- c) Durch eine öffentliche Beteiligung an der Finanzierung der Stromnetze können pro Jahr 5 Milliarden Euro eingespart werden. Gleichzeitig wäre eine öffentliche Finanzierung im Rahmen einer finanziellen Transaktion schuldenbremsenneutral.
- d) Dieser Posten wurde im Rahmen der Studie nicht quantifiziert.
- e) Der Anwendungsbereich der Klimaschutzverträge wird ausgeweitet und beinhaltet insbesondere auch die Dampferzeugung.
- f) Dieser Posten wurde im Rahmen der Studie nicht quantifiziert. Die beschleunigte Abschreibung stellt keine direkte Ausgabe im Haushalt, sondern eine Verringerung der Staatseinnahmen dar.
- g) Eine Abgabenreform sorgt für eine Entlastung der Unternehmen bei den Netzentgelten. Hierfür fallen keine direkten Ausgaben im Haushalt an.
- h) Eine Absenkung der Netzentgelte für Wärmepumpen löst keinen direkten Bedarf im Haushalt aus. Die Absenkung der Stromsteuer führt zu einer Reduktion von Steuereinnahmen, die in dieser Studie nicht im Detail quantifiziert wurden.
- i) Die fahrzeugseitige Förderung der Elektromobilität kann aus den Einnahmen der reformierten Kfz-Besteuerung gedeckt werden, so dass hier kein expliziter Bedarf entsteht.
- j) Die Umwandlung der Entfernungspauschale in ein Mobilitätsgeld erfolgt haushaltsneutral.
- k) Die Reform der Dienstwagenbesteuerung, wodurch die Anschaffung von Nullemissionsfahrzeugen gegenüber Pkw mit Verbrennungsmotoren finanziell attraktiver wird, wurde nicht quantifiziert.
- l) Es wurden nicht alle notwendigen Förderbedarfe in diesem Sektor quantifiziert.
- m) Für den Zeitraum bis 2030 wird eine Spanne aus dem Finanzplan "Klima- und Transformationsfonds" und dem im Rahmen der Studie quantifizierten Marktwert der genutzten Emissionszertifikate dargestellt.

---

## Literaturverzeichnis

---

**Agora Energiewende und Agora Industrie (2024):** *Low-carbon-hydrogen in the EU*. Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.org/publications/low-carbon-hydrogen-in-the-eu>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Agora Energiewende und Agora Industrie (2024):** *Wasserstoffimporte Deutschlands*. Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.de/publikationen/wasserstoffimporte-deutschlands>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2021):** *Klimaneutrales Deutschland 2045*. Online verfügbar unter <https://www.agora-energie-wende.de/publikationen/klimaneutrales-deutschland-2045-1>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (2023):** *Der CO<sub>2</sub>-Preis für Gebäude und Verkehr*. Online verfügbar unter <https://www.agora-energie-wende.de/publikationen/der-co2-preis-fuer-gebäude-und-verkehr>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Agora Industrie (2023):** *15 insights on the global steel transformation*. Online verfügbar unter <https://www.agora-industry.org/publications/15-insights-on-the-global-steel-transformation>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**BDI (2024):** *Transformationspfade für das Industrieland Deutschland*. Online verfügbar unter <https://www.transformationspfade.com/home/downloadbereich>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Castro et al. (2020):** *A review of agent-based modeling of climate-energy policy*. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/339999881\\_A\\_Review\\_of\\_Agent-based\\_Modeling\\_of\\_Climate-Energy\\_Policy](https://www.researchgate.net/publication/339999881_A_Review_of_Agent-based_Modeling_of_Climate-Energy_Policy); zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Öko-Institut (2024):** *Sozialgerechte Förderung für energetische Sanierungen im Mietwohnbereich*. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/news/pressemeldungen/sanierungen-von-mietwohnungen-sozial-gerecht-foerdern/>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Pfeiffer et al. (2023):** *Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK*. Öko-Institut Working Paper 4/2023. Online verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-Bio-SINK.pdf>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Safarzyńska (2017):** *Integrating behavioural economics into climate-economy models: some policy lessons*. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/316091418\\_Integrating\\_behavioural\\_economics\\_into\\_climate-economy\\_models\\_some\\_policy\\_lessons](https://www.researchgate.net/publication/316091418_Integrating_behavioural_economics_into_climate-economy_models_some_policy_lessons); zuletzt geprüft am 11.10.2024.

**Zukunft Klimasozial (2024):** *Eine sozial gerechte und klimaneutrale Zukunft sichern*. Online verfügbar unter <https://zukunft-klimasozial.de/#publikationen>; zuletzt geprüft am 11.10.2024.

---

## Publikationen von Agora Energiewende

---

### Auf Deutsch

#### Wärmenetze: klimaneutral, wirtschaftlich und bezahlbar

Wie kann ein zukunftssicherer Business Case aussehen?

#### Meer-Wind für Klimaneutralität

Herausforderungen und notwendige Maßnahmen beim Ausbau der Windenergie auf See in Deutschland und Europa

#### Serielle Sanierung

Effektiver Klimaschutz in Gebäuden und neue Potenziale für die Bauwirtschaft

#### Wasserstoffimporte Deutschlands

Welchen Beitrag können Pipelineimporte in den 2030er Jahren leisten?

#### Der Sanierungssprint

Potenzial und Politikinstrumente für einen innovativen Ansatz zur Gebäudesanierung

#### Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024

#### Haushaltsnahe Flexibilitäten nutzen

Wie Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen und Co. die Stromkosten für alle senken können

#### Der CO<sub>2</sub>-Preis für Gebäude und Verkehr

Ein Konzept für den Übergang vom nationalen zum EU-Emissionshandel

#### Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland

Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf

#### Windstrom nutzen statt abregeln

Ein Vorschlag zur zeitlichen und regionalen Differenzierung der Netzentgelte

#### Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland

Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie

#### Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze

Analysen und Handlungsoptionen für eine bezahlbare und klimazielfunktionale Transformation

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: [www.agora-energiewende.de](http://www.agora-energiewende.de)

---

## Publikationen von Agora Energiewende

---

### Auf Englisch

#### Investing in the Green Deal

How to increase the impact and ensure continuity of EU climate funding

#### EU climate policy between economic opportunities and fiscal risks

Assessing the macroeconomic impacts of Europe's transition to climate neutrality

#### Low-carbon hydrogen in the EU

Towards a robust EU definition in view of costs, trade and climate protection

#### 9 Insights on Hydrogen – Southeast Asia Edition

#### 12 Insights on Hydrogen – Brazil Edition

#### The benefits of energy flexibility at home

Leveraging the use of electric vehicles, heat pumps and other forms of demand-side response at the household level

#### EU policies for climate neutrality in the decisive decade

20 Initiatives to advance solidarity, competitiveness and sovereignty

#### Modernising Kazakhstan's coal-dependent power sector through renewables

Challenges, solutions and scenarios up to 2030 and beyond

#### The roll-out of large-scale heat pumps in Germany

Strategies for the market ramp-up in district heating and industry

#### Transitioning away from coal in Indonesia, Vietnam and the Philippines

Overview of the coal sector with a focus on its economic relevance and policy framework

#### Hydrogen import options for Germany (Summary)

Analysis with an in-depth look at synthetic natural gas (SNG) with a nearly closed carbon cycle

#### Briefing on the Europe-China Workshop on Carbon Markets, with coverage of the EU CBAM and carbon asset management

#### Ensuring resilience in Europe's energy transition

The role of EU clean-tech manufacturing

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: [www.agora-energiewende.org](http://www.agora-energiewende.org)

---

## Publikationsdetails

---

### Über Agora Think Tanks

Agora Energiewende, Agora Industrie, Agora Agrar und Agora Verkehrswende erarbeiten gemeinsam unter dem Dach der Agora Think Tanks wissenschaftlich fundierte und politisch umsetzbare Konzepte für einen erfolgreichen Weg zur Klimaneutralität – in Deutschland, Europa und international. Die Denkfabriken agieren unabhängig von wirtschaftlichen und parteipolitischen Interessen.

### Agora Think Tanks

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2  
10178 Berlin | Deutschland  
T +49 (0) 30 7001435-000

[www.agora-thinktanks.org](http://www.agora-thinktanks.org)  
[info@agora-thinktanks.org](mailto:info@agora-thinktanks.org)

**Lektorat:** Berit Sörensen

**Satz:** Theo Becker | Elser Druck GmbH

**Titelfoto:** Chris Gray | Unsplash

**344/10-S-2024/DE**

Version 2.0, Januar 2025



Unter diesem QR-Code steht diese Publikation als PDF zum Download zur Verfügung.



Dieses Werk ist lizenziert unter CC-BY-NC-SA 4.0.