

Klimaneutrales Deutschland

In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals

ZUSAMMENFASSUNG



IMPRESSUM

ZUSAMMENFASSUNG

Klimaneutrales Deutschland: In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals.

IM AUFTRAG VON

Agora Energiewende

www.agora-energiewende.de
info@agora-energiewende.de

Agora Verkehrswende

www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000 | F +49 (0)30 700 14 35-129

Stiftung Klimaneutralität

www.stiftung-klima.de | info@stiftung-klima.de
Friedrichstr. 140 | 10117 Berlin | T +49 (0)30 62939 4639

ERSTELLT DURCH

Prognos AG

Goethestr. 85 | 10623 Berlin
Hans Dambeck, Florian Ess, Hanno Falkenberg,
Dr. Andreas Kemmler, Dr. Almut Kirchner, Sven
Kreidelmeyer, Sebastian Lübbers, Dr. Alexander Piégsa,
Sina Scheffer, Dr. Thorsten Spillmann, Nils Thamling,
Aurel Wunsch, Marco Wunsch, Inka Ziegenhagen

Öko-Institut e. V.

Borkumstraße 2 | 13189 Berlin
Dr. Wiebke Zimmer, Ruth Blanck, Dr. Hannes Böttcher,
Wolf Kristian Görz, Dr. Klaus Hennenberg, Dr. Felix Chr.
Matthes, Margarethe Scheffler, Kirsten Wiegmann

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Döppersberg 19 | 42103 Wuppertal
Clemens Schneider, Dr. Georg Holtz, Mathieu Saurat,
Annika Tönjes, Prof. Dr. Stefan Lechtenböhrer

Prognos war in dieser Studie federführend für die übergreifende Ausgestaltung der Szenarien und die inhaltliche Gesamtprojektleitung. Darüber hinaus verantwortete Prognos die Sektoren Gebäude und Energiewirtschaft. Das Öko-Institut war zuständig für Verkehr, Landwirtschaft, Abfall und LULUCF und die Herleitung der Emissionsminderungsziele. Das Wuppertal Institut bearbeitete den Sektor Industrie.

Satz: Urs Karcher / UKEX, Melanie Wiener / GRAFIKBUERO,
Juliane Franz, Marica Gehlfuss / Agora Verkehrswende
Satzkoordination: Ada Rühring / Agora Energiewende
Titelbild: PPAMPicture / iStock

192/02-ES-2020/DE | 46-2020-DE

Version 1.3, Juni 2021

PROJEKLEITUNG

Alexandra Langenheld

alexandra.langenheld@agora-energiewende.de

Dr. Matthias Deutsch

matthias.deutsch@agora-energiewende.de

Marco Wunsch | marco.wuensch@prognos.com

Inka Ziegenhagen | inka.ziegenhagen@prognos.com

TECHNISCHER STEUERUNGSKREIS

Agora Energiewende

Dr. Patrick Graichen, Dr. Matthias Deutsch,
Alexandra Langenheld, Frank Peter, Philipp D. Hauser,
Fabian Hein, Mara Marthe Kleiner, Thorsten Lenck,
Christoph Podewils, Georg Thomaßen, Wido K. Witecka

Agora Verkehrswende

Dr. Carl-Friedrich Elmer, Christian Hochfeld,
Dr. Günter Hörmandinger, Dr. Urs Maier

Stiftung Klimaneutralität

Rainer Baake, Dr. Julia Metz, Martin Weiß

DANKSAGUNG

Erst das Engagement vieler weiterer Kolleginnen und Kollegen hat diese Studie möglich gemacht. Für die tatkräftige Unterstützung bedanken möchten wir uns daher bei Claudia Beckmeyer, Nikola Bock, Matthias Buck, Juliane Franz, Marica Gehlfuss, Janne Görlach, Andreas Graf, Manuela Henderkes, Shirin Langer, Steffi Niemzok, Dr. Philipp Prein, Ada Rühring, Fritz Vorholz.

Die Verantwortung für die Ergebnisse in den Kapiteln 1 bis 5 liegt ausschließlich bei Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut und für Vorwort und Einleitung bei Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.



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



Unter diesem QR-Code steht die englische Zusammenfassung als PDF zum Download zur Verfügung.

Bitte zitieren als:

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität

www.agora-energiewende.de

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

das dritte Dürrejahr in Folge in Deutschland, verheerende Waldbrände in Australien und Kalifornien, Rekordtemperaturen am Nord- und Südpol – die Warnungen der Wissenschaft werden Realität. Es ist daher gut, dass sich trotz COVID-19-Pandemie beim Klimaschutz zuletzt viel getan hat: Nicht nur die Europäische Union, Großbritannien, Japan, Südkorea und viele US-Bundestaaten haben Klimaneutralität bis 2050 als Ziel formuliert, auch China bekennt sich zur Klimaneutralität vor 2060.

Das Paradigma der Klimaneutralität erfordert neue Zwischenziele für 2030, sowohl in Deutschland als auch in Europa. Die EU-Kommission hat vorgeschlagen, dass Europa sein 2030-Klimaschutzziel von 40 Prozent auf mindestens 55 Prozent weniger Emissionen erhöht, Dänemark will sogar minus 70 Prozent erreichen.

Wie kann das funktionieren, ein Deutschland ohne Kohle, Erdöl und Erdgas zu schaffen? Und was ist dafür in den kommenden zehn Jahren nötig? Wir haben Prognos, das Öko-Institut und das Wuppertal Institut damit beauftragt, ein machbares Szenario für ein klimaneutrales Deutschland zu entwickeln, mit Wirtschaftlichkeit, Wahrung der Investitionszyklen und Akzeptanz als Kernkriterien.

Das Ergebnis: Klimaneutralität 2050 und ein neues deutsches Zwischenziel von minus 65 Prozent Treibhausgase bis 2030 sind machbar, brauchen aber eine komplett andere Gangart in der Klimapolitik. Was das genau bedeutet, zeigt dieser Bericht.

Wir wünschen eine angenehme Lektüre!

Dr. Patrick Graichen, *Direktor Agora Energiewende*
Christian Hochfeld, *Direktor Agora Verkehrswende*
Rainer Baake, *Direktor Stiftung Klimaneutralität*

Ergebnisse auf einen Blick:

1

Ein klimaneutrales Deutschland 2050 ist technisch und wirtschaftlich im Rahmen der normalen Investitionszyklen in drei Schritten realisierbar. In einem ersten Schritt sinken die Emissionen bis 2030 um 65 Prozent. Der zweite Schritt nach 2030 ist der vollständige Umstieg auf klimaneutrale Technologien, sodass die Emissionen um 95 Prozent sinken. In einem dritten Schritt werden nicht vermeidbare Restemissionen durch CO₂-Abscheidung und -Ablagerung ausgeglichen.

2

Der Weg in die Klimaneutralität ist ein umfassendes Investitionsprogramm, vergleichbar mit dem Wirtschaftswunder in den 1950er/60er-Jahren. Kernelemente sind eine Energiewirtschaft auf Basis Erneuerbarer Energien, die weitgehende Elektrifizierung, die smarte und effiziente Modernisierung des Gebäudebestands sowie der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft für die Industrie. Dies steigert zugleich die Lebensqualität durch weniger Lärm und Luftschadstoffe.

3

Das als Teil des European Green Deal angepasste deutsche 2030-Klimaziel von minus 65 Prozent Treibhausgase bedeutet eine deutliche Beschleunigung der Energie-, Verkehrs- und Wärmewende. Dazu gehören bis 2030 der vollständige Kohleausstieg, ein Erneuerbaren-Anteil am Strom von etwa 70 Prozent, 14 Millionen Elektroautos, 6 Millionen Wärmepumpen, eine Erhöhung der Sanierungsrate um mindestens 50 Prozent sowie die Nutzung von gut 60 TWh sauberen Wasserstoffs.

4

Die Weichen für Klimaneutralität 2050 und minus 65 Prozent Treibhausgase bis 2030 werden in der nächsten Legislaturperiode gestellt. Das Regierungsprogramm nach der Bundestagswahl 2021 ist von zentraler Bedeutung. Kluge Instrumente und Politiken modernisieren Wirtschaft und Gesellschaft Deutschlands in Richtung Resilienz und Zukunftsfähigkeit. Gleichzeitig gestaltet gute Politik den anstehenden Strukturwandel so, dass er inklusiv ist und alle mitnimmt.

Inhalt

Einleitung	7
In drei Schritten zur Klimaneutralität 2050	7
Ein Investitions- und Modernisierungsprogramm für Deutschland	8
Das Zwischenziel von minus 65 Prozent Treibhausgase bis 2030	10
Jetzt ist die Politik am Zug	11
1 Zusammenfassung	13
Der Weg zur Klimaneutralität 2050 ist zu einem Drittel beschritten	14
Was schon beschlossen ist: Klimaschutzprogramm und Klimaschutzgesetz der Bundesregierung	16
Drei Schritte zur Klimaneutralität: Schritt 1 – 65 Prozent Minderung bis 2030	17
Drei Schritte zur Klimaneutralität: Schritt 2 – 95 Prozent Minderung der Emissionen	19
Drei Schritte zur Klimaneutralität: Schritt 3 – Kompensation der Restemissionen mit CCS und Negativemissionen	20
Drei Säulen der Transformation: Säule 1 – Energieeffizienz und Senkung des Energiebedarfs	22
Drei Säulen der Transformation: Säule 2 – erneuerbare Stromerzeugung und Elektrifizierung	23
Drei Säulen der Transformation: Säule 3 – Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff	27
Szenario Klimaneutral 2050 im Überblick	29

Einleitung

Das Jahr 2020 wird als das Jahr der COVID-19-Pandemie in die Geschichtsbücher eingehen. Der beispiellose Kampf zur Rettung von Menschenleben in allen Ländern der Welt, die massiven Einschränkungen des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens gab es so bis dato noch nicht. Schnelle Entscheidungen waren plötzlich an der Tagesordnung; die Politik hat gezeigt, wozu sie in Krisensituationen fähig ist.

Es ist gut möglich, dass das Jahr 2020 auch noch aus einem weiteren Grund in die Geschichte eingeht: als das Jahr der Trendwende bei den globalen CO₂-Emissionen. So verfolgen viele Länder eine mehr oder weniger stark ausgeprägte *Green-Recovery*-Strategie. Aufbauhilfen für Industrien werden inzwischen vor dem Paradigma der Klimaneutralität diskutiert, schließlich sollen die Hilfen nicht als Fehlinvestitionen enden. Im Ergebnis ist es daher gut möglich, dass 2019 mit gut 33 Gigatonnen CO₂ das Peak-Jahr der energiebedingten globalen CO₂-Emissionen war.

Von nun an beginnt der globale Wettlauf in Richtung Klimaneutralität. Dabei geht es zum einen um einen Wettlauf gegen die Dynamik des Klimawandels. Schon heute beträgt die Erderwärmung 1,1 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau. Um die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur auf „deutlich unter 2 Grad“ zu begrenzen, wie es das Pariser Klimaschutzabkommen vorsieht, müssen die globalen Treibhausgasemissionen schnell und deutlich sinken. Zum anderen geht es dabei aber auch um einen wirtschaftlichen Wettlauf: Welche Länder werden in der globalen Ökonomie die technologischen Vorreiter sein? Wo werden die zentralen Produkte für eine klimaneutrale Weltwirtschaft hergestellt? Die jüngsten strategischen Ankündigungen aus China und Kalifornien (etwa zum angestrebten Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor bis 2035) zeigen, dass dieses Rennen bereits begonnen hat.

Ein klimapolitischer Aufbruch in Deutschland und Europa liegt daher in der Luft. Klimaneutralität bis 2050 ist bereits beschlossen, höhere Zwischenziele bis 2030 stehen vor der Entscheidung. Der *European Green Deal* bildet dabei den Rahmen, bis Sommer 2021 wird ein umfangreiches Aktionsprogramm vorliegen.

Die vorliegende Studie formuliert, was das für Deutschland bedeutet, also wie Klimaneutralität 2050 und verstärkte Anstrengungen bis 2030 national aussehen können.

In drei Schritten zur Klimaneutralität 2050

Ein klimaneutrales Deutschland 2050 ist technisch und wirtschaftlich im Rahmen der normalen Investitionszyklen in drei Schritten realisierbar. In einem ersten Schritt sinken die Emissionen bis 2030 um 65 Prozent unter das Niveau von 1990. Der zweite Schritt nach 2030 ist der vollständige Umstieg auf klimaneutrale Technologien, sodass die Emissionen um 95 Prozent sinken. In einem dritten Schritt werden die nicht vermeidbaren Restemissionen durch CO₂-Abscheidung und -Ablagerung ausgeglichen.

Der Weg zur Klimaneutralität 2050, wie er in dieser Studie beschrieben wird, stellt einen aus Kostensicht und unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit optimierten Weg dar. Hauptkriterien bei der Auswahl der Maßnahmen waren Wirtschaftlichkeit und die Wahrung der Investitionszyklen. Das Ergebnis sind drei Schritte für die Zukunft – wohlwissend, dass ein Teil des Wegs durch die bereits erzielten Minderungsschritte der Vergangenheit und den bereits beschlossenen Maßnahmen schon zurückgelegt wurde.

Der erste Schritt setzt für die nächsten zehn Jahre auf die bekannten und bewährten kostengünstigen Strategien und beschleunigt diese, um bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 65 Prozent unter das Niveau von 1990 zu senken. Die Minderung um 65 Prozent bis 2030 ergibt sich dabei aus drei Handlungssträngen: Erstens ist die schnelle Dekarbonisierung des Stromsektors durch Kohleausstieg und Erneuerbare-Energien-Ausbau zentral für die weiteren Schritte in den anderen Sektoren, da diese CO₂-armen Strom für ihre Klimaschutzanstrengungen benötigen. Zweitens stehen in der Industrie zwischen 2020 und 2030 erhebliche Reinvestitionen an, die direkt in Richtung Klimaneutralität erfolgen müssen, um *Stranded Assets* in den 2030er- und 2040er-Jahren zu vermeiden. Und drittens bedeutet eine Erhöhung des EU-Klimaziels 2030 natürlich, dass die Emissionen auch im größten EU-Mitgliedsstaat Deutschland bis 2030 stärker sinken müssen als bisher vorgesehen.

Im zweiten Schritt werden die Emissionen nach 2030 gegenüber dem Basisjahr 1990 um 95 Prozent auf ein Minimum reduziert. Dabei werden in Energie, Verkehr, Gebäude und Industrie nur noch klimaneutrale Technologien eingesetzt, sodass schlussendlich vollständig auf die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas verzichtet wird. Entscheidend für diese Phase der Transformation ist es, dass die Marktanteile für viele traditionelle Technologien (wie Verbrennungsmotoren, fossile Heizungssysteme, erdgasbasierte Chemieanlagen) im Zeitraum 2020 bis 2030 konstant sinken und ihr Geschäftsmodell nach 2030 vollständig der Vergangenheit angehört. Sich auf diese – globalen – Entwicklungstrends einzustellen ist sowohl für die Industrie- und Wirtschaftspolitik als auch für die beteiligten Unternehmen eine der zentralen Aufgaben in den 2020er-Jahren.

Der dritte Schritt neutralisiert die gar nicht zu vermeidenden Restemissionen weitgehend durch CO₂-Abscheidung und -Lagerung (englisch: *Carbon Capture and Storage*, CCS). Die Restemissionen stammen, bedingt durch die Tierhaltung, vor allem

aus der Landwirtschaft. Hintergrund ist hier, dass die Studie keine drastischen Änderungen der Ernährungsgewohnheiten voraussetzt, sondern lediglich aktuelle gesellschaftliche Trends fortgeschrieben wurden. Zudem sind in der Zementindustrie trotz des Einsatzes neuer Technologien Restemissionen zu erwarten. Der Ausgleich dieser verbleibenden etwa 60 Millionen Tonnen CO_{2e} findet in Industrie und Energiewirtschaft statt, die CO₂ aus Biomasseanlagen und aus der Luft abscheiden. Die CO₂-Ablagerung könnte dann in leeren Gasfeldern oder tiefen geologischen Formationen unter der Nordsee stattfinden.

In den nächsten Jahren muss daher eine offene und ehrliche Diskussion über diesen letzten Schritt zur Klimaneutralität stattfinden. Dies umfasst zum einen die Konzeption einer umfassenden Biomassestrategie, um Landwirtschaft, Naturschutz und Erfordernisse für die Klimaneutralität in Einklang zu bringen. Zum anderen gehört hierzu auch die Formulierung einer CCS-Strategie, die CO₂-Transportrouten innerhalb Deutschlands und zu möglichen CO₂-Lagerstätten vorbereitet.

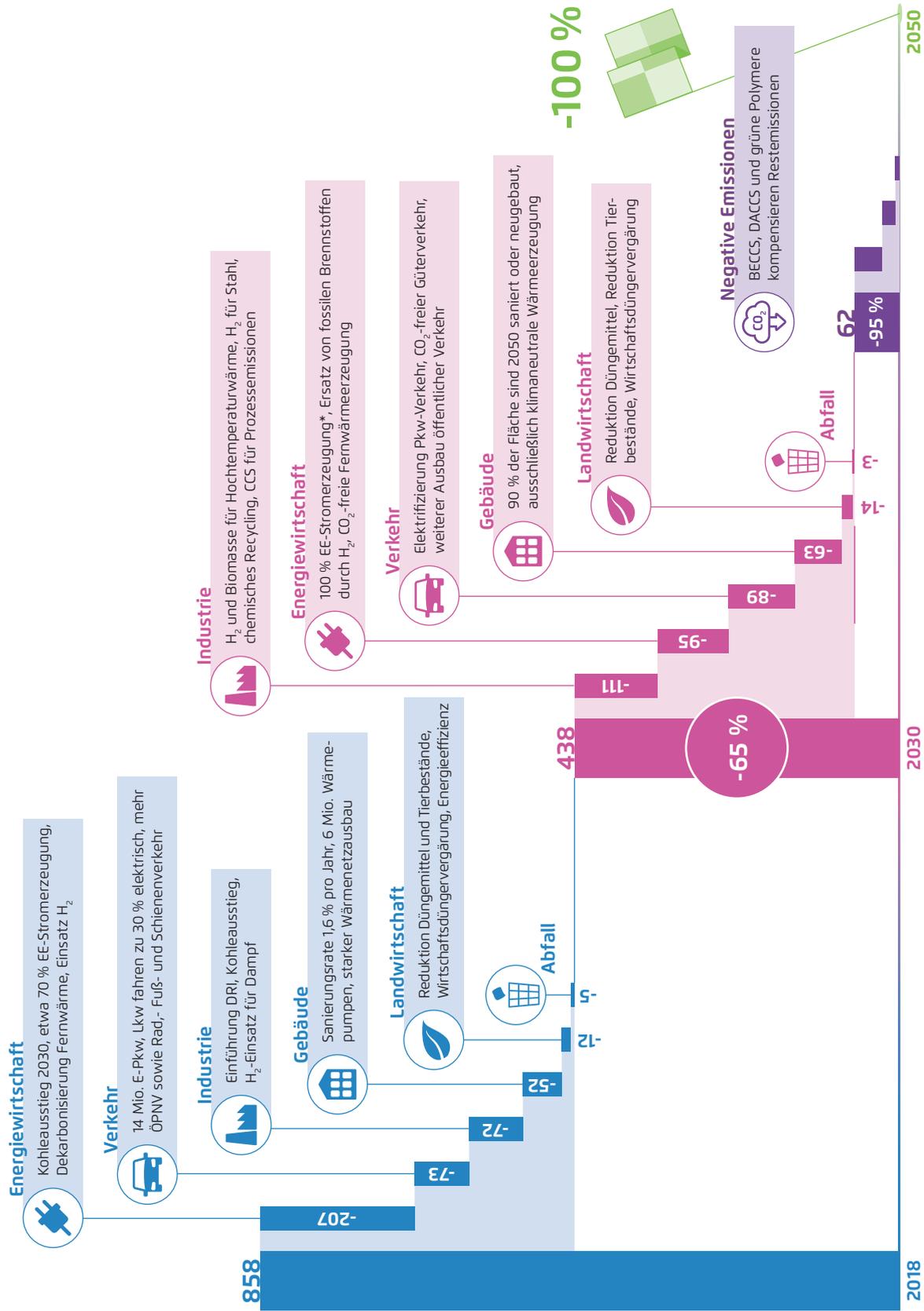
Ein Investitions- und Modernisierungsprogramm für Deutschland

Der Weg in die Klimaneutralität ist ein umfassendes Investitionsprogramm, vergleichbar mit dem Wirtschaftswunder in den 1950er-/60er-Jahren. Kernelemente sind dabei eine Energiewirtschaft auf Basis Erneuerbarer Energien, die weitgehende Elektrifizierung von Verkehr- und Wärme, eine smarte und effiziente Modernisierung des Gebäudebestands sowie der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft für die Industrie. Dies steigert zugleich die Lebensqualität durch weniger Lärm und Luftschadstoffe.

Der in dieser Studie vorgestellte Pfad in Richtung Klimaneutralität baut explizit nicht auf Verzicht oder Postwachstumsszenarien als notwendige Voraussetzung für Klimaneutralität. Stattdessen wird ein

Maßnahmen im Szenario Klimaneutral 2050 (KN2050)
(Treibhausgas-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq.)

Abbildung E5



H₂ = Wasserstoff

* inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbarem Strom.
Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

durchschnittliches Wirtschaftswachstum von 1,3 Prozent pro Jahr bis 2050 unterstellt. Das Gutachten basiert auf dem Kerngedanken, Deutschland durch öffentliche und private Investitionen zu modernisieren. Der Investitionsstau der letzten Jahre wird aufgelöst. Dabei werden Infrastrukturen wie das Energie- und das Verkehrssystem grundlegend erneuert und gleichzeitig langlebige Kapitalstöcke wie Gebäude und Industrieanlagen auf den modernsten Stand gebracht.

Diese Studie hat kein *Business-as-usual*-Szenario erarbeitet, gegenüber dem man die Mehrinvestitionen beziffern könnte, die durch die Entscheidung für Klimaneutralität nötig werden – schließlich ist ein „Weiter so“ angesichts des globalen Handlungsdrucks beim Klima keine realistische Option mehr. Die BDI-Studie *Klimapfade für Deutschland*, die von Boston Consulting und Prognos 2018 veröffentlicht wurde, hat dies noch getan und beziffert die Mehrinvestitionen im 95-Prozent-Szenario auf 70 Milliarden Euro pro Jahr bis 2050. Nimmt man diese Summe an (auch wenn sie angesichts der konservativen Annahmen zum technologischen Fortschritt tendenziell zu hoch geschätzt sein dürfte), entspricht sie knapp 10 Prozent der aktuellen Bruttoinvestitionssumme Deutschlands – eine Investitionssteigerung, die angesichts der aktuellen Niedrigzinsphase machbar erscheint.

Die Schlüsseltechnologien für Klimaneutralität sind bekannt: Es geht um den Aufbau eines komplett auf Erneuerbaren Energien basierenden Stromsystems, das 2050 mindestens 50 Prozent mehr Strom produziert als heute. Beim Straßenverkehr und in der Wärmeversorgung werden voraussichtlich strombasierte Lösungen, das heißt Elektromobilität und Wärmepumpen, aufgrund ihrer hohen Effizienzvorteile global die Leittechnologien. Die effiziente Sanierung des Gebäudebestands und der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft für Industrie, Energiewirtschaft, Schiffs- und Flugverkehr sind weitere Kernbestandteile einer solchen Strategie. Als Resultat hat Deutschland 2050 eine erneuerte Strom- und

Verkehrsinfrastruktur, eine zukunftsfähige Wasserstoffindustrie, einen modernen Gebäudebestand sowie eine Industrie, die in den Zukunftstechnologien im globalen Wettbewerb vorne mitspielt. Diese Investitionen anzustoßen und durch Skaleneffekte Größenvorteile zu erlangen ist Aufgabe der Politik der nächsten Jahre.

Damit wird zugleich auch die Lebensqualität gesteigert. Denn die Verkehrswende führt durch den Umstieg auf Elektromobilität zu einer deutlichen Reduktion der Luft- und Lärmbelastung, zudem reduzieren smarte Mobilitätsdienstleistungen die Zahl an Autostellflächen und schaffen Platz für Parks und die Freizeitnutzung innerstädtischer Flächen. Sanierete Wohngebäude, die mit Wärmepumpen oder Wärmenetzen versorgt werden, liefern im Winter behagliche Wärme und im Sommer angenehme Kühlung. Gerade mit Blick auf die durch den Klimawandel wärmer werdenden Städte sind diese Effekte als Teil einer effizienten Klimaneutralitätsstrategie ein wichtiger Bestandteil für lebenswertes Wohnen und ein gutes Leben im Jahr 2050.

Das Zwischenziel von minus 65 Prozent Treibhausgase bis 2030

Das als Teil des *European Green Deal* angepasste deutsche 2030-Klimaziel von minus 65 Prozent Treibhausgase bedeutet eine deutliche Beschleunigung der Energie-, Verkehrs- und Wärmewende. Dazu gehören bis 2030 der vollständige Kohleausstieg, ein Erneuerbaren-Anteil am Strom von etwa 70 Prozent, 14 Millionen Elektroautos, 6 Millionen Wärmepumpen, eine Erhöhung der Sanierungsrate um mindestens 50 Prozent sowie die Nutzung von gut 60 TWh sauberen Wasserstoffs.

Die erwartete Erhöhung des EU-2030-Klimaschutzziels von bisher minus 40 Prozent auf künftig minus 55 Prozent Treibhausgasemissionen wird auch für Deutschland nicht ohne Folgen bleiben. Eine Erhö-

hung des EU-Ziels um 15 Prozentpunkte lässt sich für Deutschland in eine Erhöhung des bisherigen nationalen 2030-Ziels um 10 Prozentpunkte übersetzen – von bisher minus 55 Prozent auf künftig minus 65 Prozent im Vergleich zu 1990.

Die zusätzlichen Minderungen für ein nationales Ziel von minus 65 Prozent Treibhausgas bis 2030 werden vor allem in der Energiewirtschaft erbracht. Bis 2030 werden in dem hier vorgelegten Szenario gegenüber dem aktuellen Sektorziel des Klimaschutzgesetzes weitere 77 Millionen Tonnen CO₂ gemindert. Im Kern bedeutet dies, den Kohleausstieg von 2038 auf 2030 vorzuziehen und die Erneuerbaren Energien auf einen Anteil von etwa 70 Prozent des – durch die Sektorkopplung gestiegenen – Stromverbrauchs zu steigern. Der Kohleausstieg dürfte weitgehend marktbasierend erfolgen, da die EU-Kommission zur Umsetzung des höheren EU-Klimaziels eine Verschärfung des EU-Emissionshandels vorschlagen wird und bei CO₂-Preisen etwa ab 50 Euro pro Tonne auch Braunkohlekraftwerke unwirtschaftlich werden.

Neben der beschleunigten Energiewende können durch einen beherzten Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft im Industriesektor weitere 17 Millionen Tonnen CO₂ gegenüber dem aktuellen Sektorziel eingespart werden. Da ohnehin etwa die Hälfte der zentralen Industrieanlagen der deutschen Grundstoffindustrie in den nächsten zehn Jahren zur Reinvestition anstehen, gehen hier Klimaschutz und Modernisierung Hand in Hand. Vorreiter könnte die Stahlindustrie sein, in der ans Ende ihrer Lebenszeit kommende Hochöfen durch Direktreduktionsanlagen ersetzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine Politik, die den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft strategisch vorantreibt.

Neben einer beschleunigten Energiewende und dem Einstieg in die klimaneutrale Industrie gehören aber auch eine schnellere Verkehrs- und Wärmewende zum Schritt in Richtung minus 65 Prozent Treibhausgas – auch wenn die zusätzlichen Minderungen von

je 5 Millionen Tonnen gegenüber dem Minus-55-Prozent-Szenario überschaubar sind. Die im Szenario angenommene Zahl von 14 Millionen Elektroautos (inkl. Plug-in-Hybrid-Pkw) ist konsistent mit der Ankündigung der EU-Kommission, die CO₂-Flottengrenzwerte weiter zu verschärfen. In Kombination mit ergänzenden nationalen Politikinstrumenten führt dies dazu, dass 2030 etwa 80 Prozent der Neufahrzeuge Elektroautos (inkl. Plug-in-Hybrid-Pkw) sind. Angesichts der klaren Elektrostrategie in den Konkurrenzmärkten Kalifornien und China ist dies auch mit Blick auf die Sicherung der deutschen Automobilindustrie der richtige Schritt.

Last, but not least, erfordert die Wärmewende den Aufbau einer Effizienzindustrie, die energetische Sanierung und die Fertigung von Wärmepumpen auf eine industrielle Basis heben. Die Kostenreduktions- und Skalierungspotenziale durch serielle, automatisierte Fertigungsanlagen in diesen Bereichen sind noch lange nicht ausgeschöpft.

Um diese Beschleunigung von Energie-, Industrie-, Verkehrs- und Wärmewende zu erreichen, ist ein Instrumentenmix in der Politik erforderlich, der marktbasierende Anreize, Förderung und Ordnungsrecht intelligent kombiniert. Ein wesentlicher Bestandteil davon ist sicherlich auch eine umfassende Reform der Steuern, Abgaben und Umlagen auf Energie, da die aktuellen Preisstrukturen die Weiternutzung von Erdöl und Erdgas eher fördern und der Nutzung von erneuerbarem Strom in Wärme, Verkehr und Industrie eher im Weg stehen.

Jetzt ist die Politik am Zug

Die Weichen für Klimaneutralität 2050 und minus 65 Prozent Treibhausgas bis 2030 werden in der nächsten Legislaturperiode gestellt. Das Regierungsprogramm nach der Bundestagswahl 2021 ist von zentraler Bedeutung. Kluge Instrumente und Politiken modernisieren Wirtschaft und Gesellschaft Deutschlands in Rich-

tung Resilienz und Zukunftsfähigkeit. Gleichzeitig gestaltet gute Politik den anstehenden Strukturwandel so, dass er inklusiv ist und alle mitnimmt.

Die Zeit der klimapolitischen Verzögerung kommt an ihr Ende. Nach den beherzten Strategien aus Brüssel, China und Kalifornien ist es auch in Berlin an der Zeit, eine schnellere Gangart einzulegen. Die parteiübergreifende Unterstützung für den *European Green Deal* muss jetzt auch in Deutschland in entsprechendem nationalem Handeln münden. In der ersten Hälfte der 2020er-Jahre gilt es einerseits, ein Paket kurzfristig wirkender Maßnahmen in Richtung 2030 zu beschließen und zugleich die Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Klimaneutralität bis spätestens 2050 erreichbar machen.

Nur eine Politik, die sich konsequent daran ausrichtet, die Erderhitzung auf deutlich unter zwei Grad zu begrenzen, schafft Investitionssicherheit, weil sie vermeidet, unter dem Druck sich verschärfender Klimafolgen immer wieder korrigiert werden zu müssen. Dies gilt auch für die Unternehmen: Es reicht nicht mehr, konform mit den aktuellen Grenzwerten und Vorschriften zu produzieren. So lange die eigene Unternehmensstrategie sich nicht auf Klimaneutralität vor 2050 ausrichtet und konsistent mit dem Pariser Abkommen ist, wird das Geschäftsmodell mittel- und langfristig nicht mehr tragfähig sein. Es gilt, „vor die Welle“ zu kommen, da nur so der Zugang zu den globalen Zukunftsmärkten gesichert wird.

Dieser Umstieg braucht vorausschauende Politik und klare Regeln. Anstehende Investitionen in klimaneutrale Industrieanlagen und -prozesse benötigen die Sicherheit, dass klimaneutrale Produkte wettbewerbsfähig sein können – auch beim Export. Wettbewerbsnachteile für Unternehmen durch den Weg zur Klimaneutralität und die Beschleunigung der Energiewende bis 2030 müssen vermieden oder ausgeglichen werden.

Gleichzeitig gilt es, den anstehenden Strukturwandel inklusiv und sozial ausgewogen zu gestalten. Viele Studien zeigen: Der Weg in Richtung Klimaneutralität schafft Wirtschaftskraft und Arbeitsplätze – aber es wird Verschiebungen zwischen Branchen und Regionen geben. Es ist Aufgabe von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, vor diesem Strukturwandel nicht die Augen zu verschließen oder zu versuchen, ihn zu verlangsamen. Vielmehr geht es darum, die anstehenden wirtschaftlichen Veränderungen aktiv anzugehen, in den betroffenen Regionen neue Geschäftsmodelle und Arbeitsplätze der Zukunft anzusiedeln, und so allen Betroffenen neue Chancen zu eröffnen.

Die Herausforderung, bis 2050 ein klimaneutrales Deutschland in einem klimaneutralen Europa zu schaffen, ist groß, aber machbar. Eine weitere Legislaturperiode der klimapolitischen Leisetreteri ist damit jedoch nicht vereinbar. Aufgabe des Regierungsprogramms 2021 wird es daher sein, die zentralen Politiken und Instrumente in Richtung Klimaneutralität zu formulieren und so mehr Klimaschutz, eine stabile wirtschaftliche Entwicklung, eine bessere Lebensqualität und eine inklusive Gestaltung des anstehenden Wandels zu ermöglichen.

1 Zusammenfassung

Diese Studie zeigt Wege auf, wie Deutschland bis zum Jahr 2050 klimaneutral werden kann. Klimaneutral bedeutet, dass die Treibhausgasemissionen in allen Bereichen vollständig oder fast vollständig vermieden und die Restemissionen durch negative Emissionen ausgeglichen werden. Insbesondere in der Landwirtschaft, aber auch in einzelnen industriellen Prozessen verbleiben auch 2050 Restemissionen. Diese Emissionen werden nicht vermieden, sondern durch die CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre und durch Ablagerung – sogenannte negative Emissionen mittels CCS-Technologie – ausgeglichen. Im Saldo wird Deutschland so klimaneutral.

Die Studie stellt einen aus Kostensicht und unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit optimierten Weg zur Erreichung der Klimaneutralität 2050 dar. Als Zwischenschritt wird im Hauptszenario „Klimaneutral 2050“ eine THG-Emissionsminderung Deutschlands von 65 Prozent bis zum Jahr 2030 erreicht. Eine Variante (Klimaneutral Minimalvariante (KNmin)) untersucht auch eine Minderung von 60 Prozent bis 2030.

Die Szenarien berücksichtigen nicht nur die energiebedingten Emissionen, sondern die Treibhausgasemissionen sämtlicher Sektoren. Auch die oft vernachlässigten Sektoren Landwirtschaft, Abfall und Landnutzung werden detailliert betrachtet, ebenso wie Methan- und Lachgasemissionen bei der Nutzung von Biomasse sowie andere kleine Emissionsquellen. Senken, das heißt die Kohlenstoffaufnahme durch Wälder und Böden, werden zwar nachrichtlich ausgewiesen, aber nicht als Beitrag zum Klimaschutz angerechnet. Datenlage und Prognosen in diesem Bereich sind nach wie vor sehr ungenau, zudem besteht aktuell eher die Gefahr, dass aufgrund des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten Wälder und Böden zu CO₂-Quellen statt CO₂-Senken werden. Die Bilanzierung der Treibhausgase erfolgt identisch zu der Bilanzierung in den

Nationalen Inventarberichten gemäß der Klimarahmenkonvention.

Zur Erreichung der Minderungspfade wurden diverse Maßnahmen angenommen und deren Effekte berechnet. Das Hauptkriterium bei der Auswahl war die Wirtschaftlichkeit. Maßnahmen mit geringeren CO₂-Vermeidungskosten wurden in der Regel vorgezogen. Aufgrund der notwendigen schnellen Transformation wurde auch immer die Frage der technischen Umsetzbarkeit und des möglichen Markthochlaufs mitbetrachtet. Der Fokus liegt auf Technologien mit geringen technischen und wirtschaftlichen Risiken. Der Einsatz von CCS wurde soweit es geht reduziert, wo immer möglich wurden alternative Technologien bevorzugt.

Die Studie setzt explizit nicht auf Verzicht als notwendige Voraussetzung für Klimaneutralität: die Pro-Kopf-Wohnfläche steigt weiter und die Mobilität bleibt vollumfänglich erhalten. Bei der Ernährung wurden aktuelle Trends fortgeschrieben, wie ein moderat sinkender Milchkonsum, eine Verschiebung des Fleischkonsums hin zu mehr Geflügel sowie ein leichter Anstieg bei Biolebensmitteln. Der Industriestandort Deutschland erhält sein hohes Produktionsniveau. In der Studie wurde ein mittleres Wirtschaftswachstum von 1,3 Prozent pro Jahr angenommen. Die ökonomischen Effekte der Klimaschutzmaßnahmen wurden nicht explizit untersucht. Studien (z.B. BDI 2018) zeigen jedoch, dass mit internationaler Kooperation ambitionierter Klimaschutz ohne gesamtökonomische Einbußen umsetzbar sind. Es wurde angenommen, dass temporäre Wettbewerbsnachteile für Unternehmen beim Übergang zu einer klimaneutralen Produktion vermieden oder kompensiert werden.

Insgesamt stellt der hier untersuchte Pfad ein realistisch-ambitioniertes Szenario dar, wie Deutschland auf Basis einer aktiven Klimapolitik

klimaneutral wird und dabei Wohlstand gemehrt und der Wirtschaftsstandort Deutschland gesichert werden kann. Die Investitionen werden im Rahmen der normalen Modernisierungszyklen getätigt.

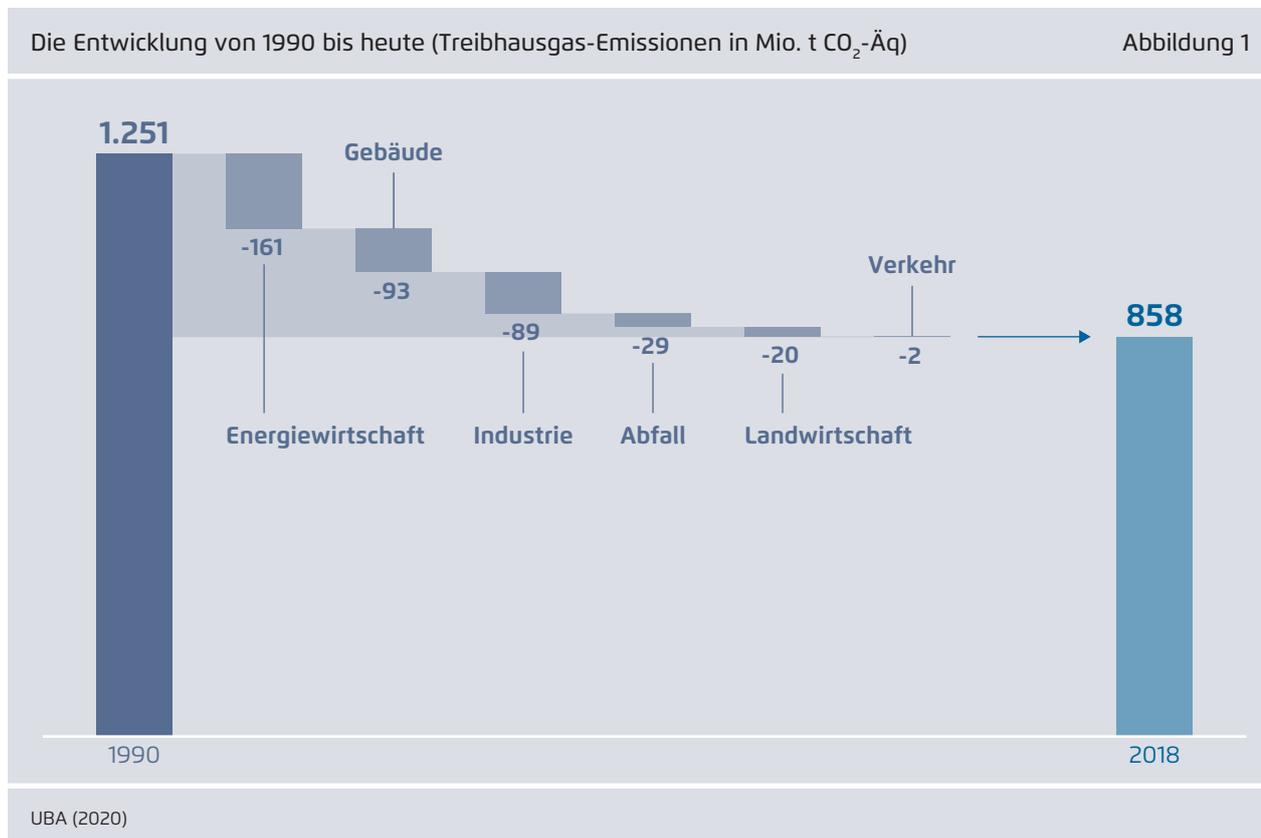
Der Weg zur Klimaneutralität 2050 ist zu einem Drittel besritten

Energiepolitische Anstrengungen, den Energieverbrauch aus Gründen der Versorgungssicherheit, Luftverschmutzung, knapper Ressourcen und geopolitischer Abhängigkeit zu senken, gibt es bereits sehr lange. Klimaschutzaspekte kamen erst später dazu. Nachdem 1992 auf dem Umweltgipfel in Rio de Janeiro die UN-Klimarahmenkonvention beschlossen wurde, fand drei Jahre später in Berlin die erste UN-Klimakonferenz (COP-1) statt. Das dort verabschiedete „Berliner Mandat“ bildete die Grundlage für das 1997 beschlossene Kyoto-Protokoll, in dem

verbindliche Ziele zur Emissionsminderung festgelegt wurden. Die EU-15 verpflichtete sich darin, die Treibhausgasemissionen, ausgehend von 1990, bis 2012 um 8 Prozent zu mindern. Im Rahmen der Lastenteilung innerhalb der EU verpflichtete sich Deutschland erstmalig international zu einer konkreten Minderung von Treibhausgasemissionen.

Ausgehend von 1990 konnte Deutschland seine Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2018 um etwa 31 Prozent senken (bis zum Jahr 2019 auf Basis vorläufiger Zahlen um etwa 35 Prozent). Etwa ein Drittel der notwendigen Minderung bis zur Erreichung der Klimaneutralität ist also geschafft.

Seit der Wiedervereinigung Deutschlands wurden die größten Emissionseinsparungen bei der **Energie-wirtschaft** erzielt. Insbesondere in den 1990er-Jahren spielte die Umstellung und Erneuerung der vorwiegend auf Braunkohle basierten Strom- und



Wärmeversorgung in Ostdeutschland eine größere Rolle. Ab der Jahrtausendwende und der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) war der Zubau von Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung der wesentliche Treiber für die Emissionssenkung. Von einem Anteil von nur 6,5 Prozent am Stromverbrauch im Jahr 2000 steigerte sich der Anteil bis 2018 auf 37,8 Prozent (2019: 42,1 Prozent). Die Stromerzeugung ist damit der Bereich, in dem Erneuerbare Energien am schnellsten Fuß gefasst haben und der die Basis für eine zunehmend emissionsfreie Energieversorgung der anderen Sektoren geschaffen hat. Hauptsächlich durch die Einsparungen bei der Stromerzeugung sanken die Emissionen im Sektor Energiewirtschaft bis 2018 um 161 Mio. t CO₂-Äq, trotz einer Steigerung der Bruttostromerzeugung um 17 Prozent und einem Rückgang des Kernenergieanteils am Strommix von 28 Prozent auf 12 Prozent.

In der **Industrie** sanken insbesondere in den 1990er-Jahren die Treibhausgasemissionen vor allem durch die Schrumpfung der ostdeutschen Industrie und die Effizienzsteigerungen bei Produktionsprozessen, die Herstellung von ressourceneffizienteren Produkten und die deutliche Senkung von industriellen Prozessemissionen. Zusätzliche Einsparungen ergaben sich durch den verstärkten Einsatz von strombasierten Produktionsprozessen. Seit etwa dem Jahr 2000 sind die Emissionen der Industrie kaum noch gesunken. Das relativ starke Wirtschaftswachstum hat die weiteren Einsparungen durch Effizienz und den Einsatz CO₂-ärmerer Brennstoffe kompensiert.

Im **Gebäudebereich** sind die Emissionen seit 1990 deutlich und kontinuierlich zurückgegangen. Bis 2018 wurden die Emissionen um 44 Prozent gesenkt. Die Haupttreiber dafür waren der Einsatz von CO₂-ärmeren Brennstoffen, die Steigerung des Einsatzes von Erneuerbaren Energien, effizientere Heizungen (Einführung Brennwerttechnik), der Ausbau der Fernwärmenetze sowie die Effizienzgewinne durch die Gebäudesanierung und effizientere Neubauten. Dank der getroffenen Maßnahmen

sanken die THG-Emissionen bis 2018 deutlich – trotz der deutlichen Steigerung der Wohnflächen um 39 Prozent.

Die vom **Verkehr** ausgehenden THG-Emissionen sind von 2000 bis 2009 zwar zwischenzeitlich leicht gesunken, liegen aber mittlerweile wieder auf dem gleichen Niveau wie im Jahr 1990. Der Pkw-Verkehr gemessen in Personenkilometern nahm von 1991 bis 2018 um etwa 31 Prozent zu. Die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs hat sich im selben Zeitraum in etwa verdoppelt. Auch wenn Verkehrswachstum und Emissionen entkoppelt wurden, ist im Ergebnis festzustellen, dass dieser Sektor bisher keinen absoluten Beitrag zum Klimaschutz geleistet hat. In den vergangenen Jahren waren auch keine Minderungen bei den durchschnittlichen Emissionen neu zugelassener Pkw im Realbetrieb mehr zu verzeichnen. Ohne den steigenden Anteil an Bio-Kraftstoffen wäre sogar ein deutlicher Anstieg der THG-Emissionen des Verkehrssektors erfolgt.

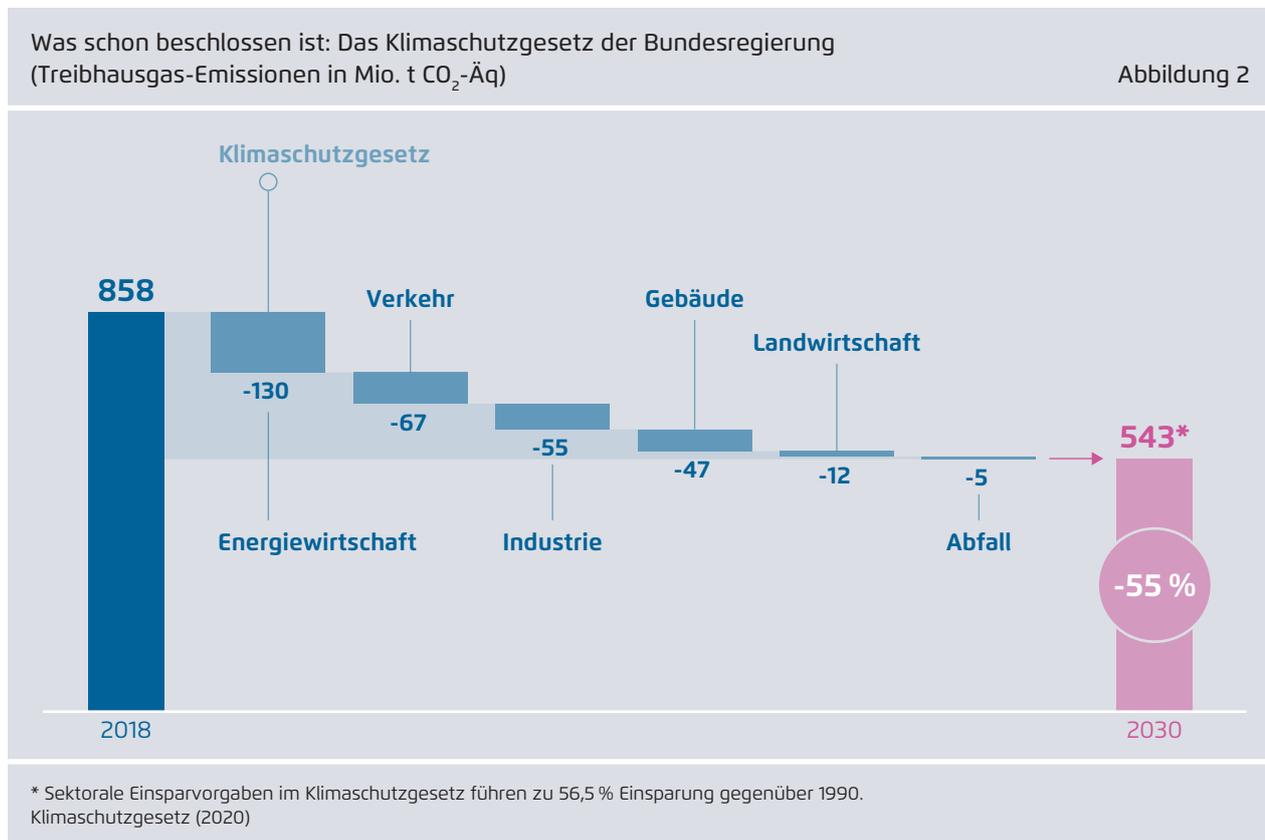
In der **Landwirtschaft** sanken die Emissionen vor allem in den 1990er-Jahren infolge des Rückgangs der Milchkuh- und Rinderbestände. Angesichts niedriger Milchpreise und knappen Grünfutters (Dürrejahre) nimmt die Zahl der Wiederkäuer aktuell weiter leicht ab. Die Stickstoffeinträge und damit die Lachgasemissionen aus den landwirtschaftlichen Böden sind seit den 1990er-Jahren auf hohem Niveau, allerdings sind in der Zeit auch die Erträge gestiegen und damit die Stickstoffeffizienz. Mit Verschärfung der Düngeverordnung, aber auch durch die Dürre in den letzten zwei Jahren, wurde weniger gedüngt und daher sinken aktuell die Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden.

Im **Abfallbereich** konnten die Emissionen zwischen 1990 und 2018 bereits um 75 Prozent verringert werden. Dies lässt sich vor allem auf den Rückgang der Methanemissionen aus der Deponierung durch eine Reduktion der deponierten organischen Abfälle zurückführen. Das im Jahr 2005 erlassene Ablagerungsverbot für organische Abfälle führt seitdem zu

einem kontinuierlichen Rückgang der Methanemissionen aus der Deponierung. Mit der Reduktion der deponierten Abfälle wird ein Großteil des Abfalls in Abfallverbrennungsanlagen verwertet, welche im Energiesektor bilanziert werden. Im Bereich der Abwasserbehandlung erfolgten weitere Emissionsreduktionen durch die Anschlusspflicht an die öffentliche Kanalisation und die verbesserten Abwasser- und Klärschlammbehandlungen.

Was schon beschlossen ist: Klimaschutzprogramm und Klimaschutzgesetz der Bundesregierung

Im November 2016 verabschiedete die Bundesregierung den Klimaschutzplan 2050. Deutschlands Langfristziel laut Klimaschutzgesetz ist es, bis zum Jahr 2050 treibhausgasneutral zu werden. Bis zum Jahr 2030 sollen die Treibhausgasemissionen in Deutschland um mindestens 55 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 sinken. Die Bundesregierung konkretisiert im Klimaschutzplan auch das Klimaziel für 2030 in den einzelnen Sektoren. Mit dem im Herbst 2019 beschlossenen Klimaschutzprogramm 2030 wurden erste Pflöcke zur Erreichung des Klimaziels 2030 eingeschlagen, zum Beispiel das Klimaschutzgesetz, das Kohleausstiegsgesetz und das Brennstoffemissionshandelsgesetz.



Entsprechend dem aktuellen Projektionsbericht für das BMU und den Energiewirtschaftlichen Projektionen zum Klimaschutzprogramm 2030 für das BMWi reichen die aktuellen Politikmaßnahmen aber nicht aus, um das 55-Prozent-Minderungsziel zu erreichen. Es wird eine Ziellücke von drei bis vier Prozentpunkten erwartet.

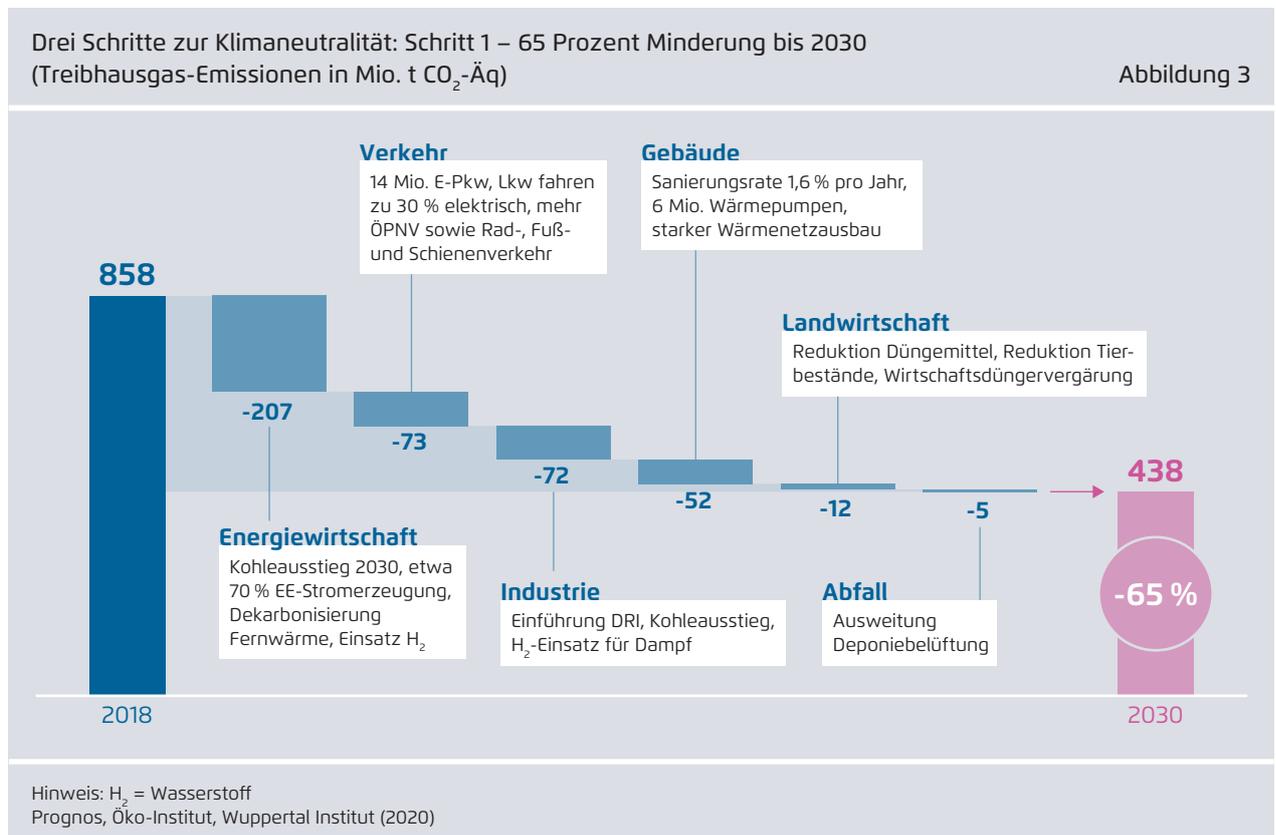
Drei Schritte zur Klimaneutralität: Schritt 1 – 65 Prozent Minderung bis 2030

Auf dem Weg zur Klimaneutralität 2050 ist ein wichtiger Zwischenschritt eine Emissionsminderung von 65 Prozent bis zum Jahr 2030. In den 2020er-Jahren wird sich entscheiden, ob Klimaneutralität bis zur Mitte des Jahrhunderts eine realistische Option ist. Auch bei einer Anhebung des EU-Minderungsziels für 2030 von 40 auf 55 Prozent wird ein Beitrag

von Deutschland in der Größenordnung von 65 Prozent notwendig.

Das bestehende Klimaschutzgesetz bietet eine gute Basis für zusätzliche Emissionseinsparungen. Das zusätzliche Minderungspotenzial gegenüber den bisherigen Zielen des Klimaschutzgesetzes ist in den Sektoren unterschiedlich hoch und unterschiedlich schwierig zu erschließen. Entsprechend den in dieser Studie durchgeführten Analysen und Berechnungen ist ein zusätzlicher Beitrag in den Bereichen Landwirtschaft und Abfall kaum möglich. Im Verkehr und Gebäudesektor sind durch zusätzliche Anstrengungen jeweils 5 Mio. t zusätzliche Minderung möglich. Größere zusätzliche Einsparungen mit 17 Mio. t beziehungsweise 77 Mio. t sind in der Industrie und der Energiewirtschaft möglich.

In der **Energiewirtschaft** können bis zum Jahr 2030 die Emissionen um 207 Mio. t CO₂-Äq gesenkt



werden. Gegenüber dem Sektorziel des Klimaschutzgesetzes beträgt die zusätzliche Einsparung 77 Mio. t CO₂-Äq. Diese wird in erster Linie durch einen beschleunigten Kohleausstieg im Jahr 2030 und den erhöhten Zubau der Erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung erreicht. Die ab Ende der 2020er Jahre beginnende Wasserstoffnutzung in Kraftwerken und KWK-Anlagen trägt ebenfalls zum Rückgang bei. Der Kohleausstieg bis 2030 wird im Kontext mit einer Verschärfung des EU-Minderungsziels auf 55 Prozent und einer Anpassung des EU ETS voraussichtlich weitgehend durch die dann veränderten Marktbedingungen für die Kohleverstromung erfolgen.

Der Stromverbrauch steigt bis 2030 durch die zunehmende Elektrifizierung in allen Sektoren um 51 TWh beziehungsweise 9 Prozent im Vergleich zu 2018. Die Erneuerbaren Energien erreichen 2030 einen Anteil von etwa 70 Prozent am Bruttostromverbrauch. Dafür werden Offshore-Windkraft auf 25 GW, Onshore-Windkraft auf 80 GW und Photovoltaik auf 150 GW ausgebaut.

Um die Klimaziele in der **Industrie** erreichen zu können, werden in den zentralen Grundstoffindustrien neue Prozesse etabliert. Technologisch wird dies dadurch begünstigt, dass ohnehin etwa 50 Prozent der zentralen Industrieanlagen der deutschen Grundstoffindustrie in den nächsten zehn Jahren zur Reinvestition anstehen. Vorreiter könnte die Stahlindustrie sein. Hier können ans Ende ihrer Lebenszeit kommende Hochöfen durch Direktreduktionsanlagen ersetzt werden, die vorwiegend mit Wasserstoff und kleineren Anteilen Erdgas betrieben werden.

Aber auch in anderen Branchen muss in neu zu entwickelnde Technologien auf der Basis von Strom oder (vor allem erneuerbarem) Wasserstoff investiert werden. Parallel dazu ist es aber auch erforderlich, die benötigten Infrastrukturen vor allem für eine Versorgung der Industrie mit **Wasserstoff**, aber auch CCS-Infrastrukturen für die Zement- und Kalkin-

dustrie aufzubauen. Ebenso ist es wichtig, sehr schnell in eine stärkere Kreislaufführung und höhere Anteile sekundärer Rohstoffe zu investieren, damit diese Lösungen nach 2030 ihr volles Potenzial ausspielen können. Erste CCS-Anlagen in der Zementindustrie können schon 2030 in Betrieb sein.

Im **Gebäudebereich** werden die zusätzlichen Minderungen durch eine Veränderung der Heizungsstruktur, den Ausbau der Wärmenetze sowie um etwa 50 Prozent erhöhte energetische Sanierungsraten erreicht. Beim Einbau von neuen Heizungen gewinnen Wärmepumpen bis Mitte der 2020er-Jahre große Marktanteile, insbesondere im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser werden sechs Millionen Wärmepumpen erreicht. Grüne Fernwärme gewinnt in urbanen Räumen eine stärkere Bedeutung. Nach 2025 werden nur noch in Ausnahmefällen neue Heizungen auf Basis von Heizöl oder Erdgas in Betrieb genommen.

Im **Verkehr** findet eine Trendwende statt. Die persönliche Mobilität bleibt vollständig erhalten, aber sie verändert sich. Die Menschen fahren deutlich mehr mit öffentlichen Verkehrsmitteln sowie dem Rad und gehen zu Fuß. Im Jahr 2030 werden bereits 14 Millionen Elektro-Pkw (inkl. Plug-in-Hybride) im Bestand sein. Güter werden verstärkt auf der Schiene transportiert und es wird fast ein Drittel der Fahrleistung im Straßengüterverkehr über elektrische Lkw mit Batterien, Oberleitungen und Brennstoffzellen erbracht.

In der **Landwirtschaft** werden bis zum Jahr 2030 verfügbare technische Minderungsmaßnahmen umgesetzt, wie zum Beispiel die Vergärung von Wirtschaftsdüngern und verbesserte Lagerung und dem Einsatz von emissionsarmen Ausbringungstechnologien für Mist und Gülle. Gleichzeitig werden weitere Minderungen durch Änderungen der landwirtschaftlichen Produktion erreicht. Dazu gehören die Ausweitung des Ökolandbaus, eine Umstellung auf Kulturarten mit geringerem Stickstoffbedarf und die Reduktion der Tierbestände. Diese Änderungen

der Produktion spiegeln Veränderungen auf der Nachfrageseite wider: Es werden – entsprechend aktueller Trends – weniger tierische Produkte konsumiert und bei der Nachfrage nach Bioenergie wird es zu einer Verschiebung von gasförmigen zu festen Biobrennstoffen kommen.

Im **Abfallbereich** sinken zwischen 2018 und 2030 die Methanemissionen aus der Deponierung weiter. Durch eine Ausweitung der Maßnahmen zur Deponiebelüftung wird die Reduktion der Methanemissionen beschleunigt. In den anderen Bereichen des Abfallsektors besteht bis 2030 nur geringes Reduktionspotenzial.

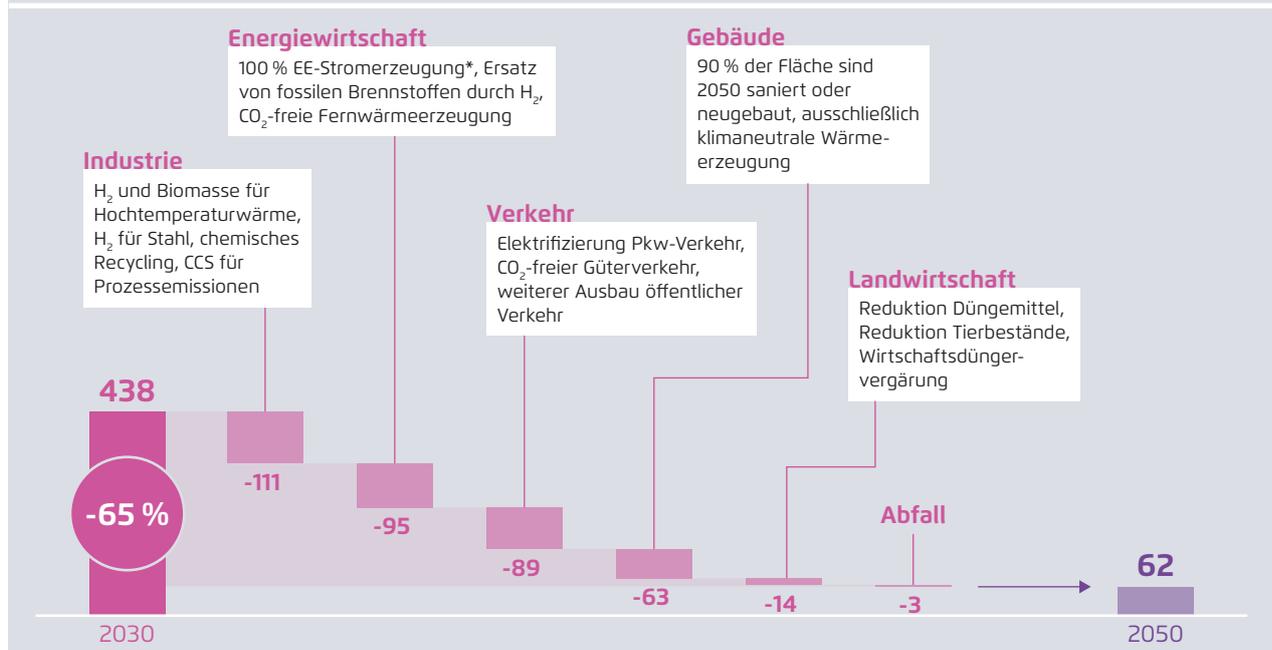
Drei Schritte zur Klimaneutralität: Schritt 2 – 95 Prozent Minderung der Emissionen

Ausgehend von 1990 sind 2030 bereits zwei Drittel der notwendigen THG-Einsparung bis zur Klimaneutralität geschafft. Das letzte Drittel wird bis 2050 eingespart beziehungsweise kompensiert.

Sektorübergreifend setzt sich in den zwei Dekaden bis 2050 der Trend der Elektrifizierung fort und Wasserstoff gewinnt als Sekundärenergieträger und Rohstoff eine zunehmende Bedeutung. Effizienzverbesserungen helfen ebenso in allen Bereichen bei der Reduktion der Emissionen. Eine immer wichtigere Rolle spielt auch die Biomasse. Der Anbau verlagert sich stärker in Richtung feste Biomasse und der Einsatz konzentriert sich auf Bereiche, in denen keine guten Alternativen bereitstehen und die für CCS geeignet sind (vor allem Chemie- und Stahlindustrie).

Schritt 2 - 95 Prozent Minderung ohne Negativemissionen
(Treibhausgas-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq)

Abbildung 4



* inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbaren Strom. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

Im Detail ergeben sich die folgenden Entwicklungen bis hin zur Klimaneutralität in den Sektoren:

- Im Bereich der **Energiewirtschaft** werden Erneuerbare Energien weiterhin kontinuierlich ausgebaut. Der Stromverbrauch steigt von 2030 bis 2050 vor allem durch die weitere Elektrifizierung sowie die steigende Herstellung von Wasserstoff um 50 Prozent auf etwa 960 TWh. Der Fokus des EE-Zubaus nach 2030 liegt weiter auf der Windenergie und Photovoltaik. Wasserstoff gewinnt zunehmend an Bedeutung und löst nach 2040 Erdgas als wichtigsten Energieträger für die Residualstromerzeugung ab. 2050 erfolgt die Strom- und auch Fernwärmeerzeugung vollständig CO₂-frei.
- In der **Industrie** setzt sich der Trend hin zu Strom und Wasserstoff sowie teilweise Biomasse als Energieträger fort, sodass die Industrie bis 2045 weitestgehend klimaneutral ist. Auch die chemischen Rohstoffe (Feedstocks) werden schon ab 2030 sukzessive durch chemisches Recycling und synthetische auf nicht fossilem CO₂ beruhende Einsatzstoffe ersetzt. Die Zementindustrie wird bis 2050 fast flächendeckend an CO₂-Infrastrukturen angeschlossen, sodass auch hier fast alle Emissionen aufgefangen werden können.
- Im **Gebäudebereich** werden auch nach 2030 Sanierungen und der Neubau von verbrauchsarmen Gebäuden fortgesetzt. Im Jahr 2050 sind dann 90 Prozent der Gebäudefläche im Zeitverlauf seit dem Jahr 2000 saniert oder effizient neugebaut. Durch den fortschreitenden Einbau von Heizungen, die CO₂-frei betrieben werden (14 Millionen Wärmepumpen) und den Anschluss von Gebäuden an Wärmenetze können die CO₂-Emissionen der Gebäude bis 2050 fast vollständig vermieden werden.
- Die Personenverkehrsleistung insgesamt verbleibt etwa auf dem heutigen Niveau. Durch die gemeinschaftliche Nutzung von Fahrzeugen über Pooling und den öffentlichen **Verkehr** steigt die Auslastung und es werden weniger Fahrzeugkilometer zurückgelegt. Der verbleibende Straßenver-

kehr wird mit einem Pkw-Bestand erbracht, der nahezu vollständig aus batterieelektrischen Fahrzeugen besteht. Der Güterverkehr auf der Straße wird durch einen Mix aus batterieelektrischen Lkw, Oberleitungs-Lkw und Brennstoffzellen-Lkw auf den Weg zur Klimaneutralität gebracht. Gleichzeitig werden immer mehr Güter auf der Schiene transportiert. Der Luftverkehr und die Seeschifffahrt basieren vollständig auf dem Einsatz strombasierter Kraftstoffe.

- In der **Landwirtschaft** werden bis 2050 weitere Minderungen über den Umbau der Tierbestände und die Vergärung hoher Wirtschaftsdüngeranteile in Biogasanlagen erreicht. Im Bereich der landwirtschaftlichen Böden ist wesentliches Reduktionspotenzial bereits bis 2030 erschlossen. Infolge des Rückgangs der Tierbestände und einer geänderten Nachfrage nach Bioenergie bestehen hier aber noch kleinere Potenziale durch den Anbau von weniger stickstoffintensiven Kulturarten und der angepassten Nutzung von Moorflächen.
- Im **Abfallbereich** verbleiben im Jahr 2050 noch Restemissionen aus der Deponierung, der biologischen Behandlung und der Abwasserbehandlung. Aufgrund der biologischen Prozesse lassen sich die Emissionen aus dem Abfallbereich nicht komplett vermeiden. Minderungen werden bis 2050 in allen Bereichen erzielt.

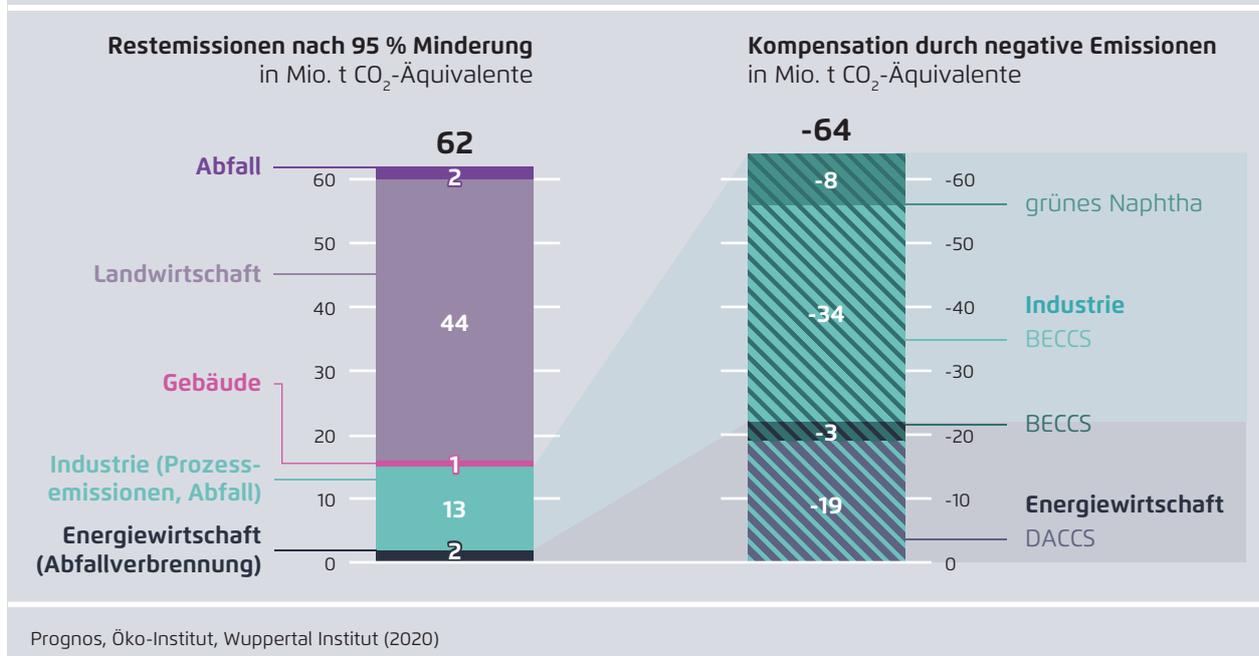
Drei Schritte zur Klimaneutralität: Schritt 3 – Kompensation der Restemissionen mit CCS und Negativemissionen

Residuale THG-Emissionen sind die Restemissionen, die sich nicht mehr durch Vermeidungsmaßnahmen weiter reduzieren lassen. Diese kommen vor allem im Landwirtschaftssektor durch biologische Prozesse in Böden (Düngemittel) und bei der Tierhaltung zustande. Auch bei industriellen Prozessen und in der Abfallwirtschaft verbleiben restliche Emissionen.

Demgegenüber können die energiebedingten Treibhausgasemissionen durch den Einsatz erneuerbarer

Schritt 3 im Detail – residuale THG-Emissionen und deren Kompensation in 2050

Abbildung 5



Energieträger nahezu völlig vermieden werden. Lediglich sehr geringe Mengen an Methan- und Lachgasemissionen durch Lagerung, Transport und Verbrennung von Biomasse und synthetischen Brennstoffen verbleiben.

In Summe ergeben sich damit Restemissionen in Höhe von 62 Mio. t CO₂-Äq – das entspricht fünf Prozent der Emissionen des Jahres 1990. Diese werden vorwiegend durch den Einsatz von Biomasse-CCS, Direct Air Carbon Capture And Storage und der stofflichen Bindung von CO₂ in grünen Polymeren kompensiert. Entsprechend den Modellberechnungen liegen die negativen Emissionen in dem Szenario leicht über den Restemissionen, sodass die Emissionen in Summe sogar leicht negativ sind. Bei diesen Technologien wird CO₂ aus der Atmosphäre direkt oder indirekt entnommen und langfristig eingelagert.

→ *Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)* ist die Abscheidung und geologische Lagerung von CO₂, das bei der Verbrennung von Biomasse entsteht. Da Biomasse bei nachhaltigem Anbau und Nutzung als Reststoff weitgehend

CO₂-neutral ist, wird dadurch langfristig CO₂ aus der Atmosphäre entnommen. Der Einsatz von BECCS ist durch die Menge der nachhaltig verfügbaren Biomasse begrenzt.

→ Als *Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS)* bezeichnet man die Abscheidung von CO₂ direkt aus der Luft und seine anschließende Einlagerung in geeigneten geologischen Formationen. Durch Ventilatoren wird die Umgebungsluft eingesaugt und durch ein Sorptionsmittel gebunden. Der Energieaufwand und die Kosten für DACCS sind deutlich höher als für BECCS.

→ *Grünes Naphtha/Stoffliche Bindung von CO₂ in grünen Polymeren*: Mit aus der Luft über Direct Air Capture entnommenem CO₂ oder Biomasse werden mit aus Erneuerbaren Energien erzeugtem Wasserstoff zum Beispiel mittels Fischer-Tropsch-Synthese „grünes“ Naphtha oder andere Kohlenwasserstoffe hergestellt. Diese werden zu Polymeren und im Weiteren zu Kunststoffen verarbeitet. Durch ein verbessertes Recyclingsystem werden die Kunststoffe dauerhaft im Stoffkreislauf gehalten. Hierdurch und durch Verwendung von CCS bei der Müllverbrennung kann eine Emission des

vorher aus der Atmosphäre gebundenen Kohlenstoffs vermieden werden.

Beim Einsatz von BECCS spielt die **Industrie** eine wichtige Rolle. Gerade die hohen kontinuierlichen und räumlich konzentrierten Wärmebedarfe der Stahl- und chemischen Industrie bieten hier die Möglichkeit, Biomasse in großem Stil einzusetzen und das entstehende CO₂ entsprechend abzutrennen. Dieses wird dann über die für die Zementindustrie ohnehin erforderliche CO₂-Infrastruktur gespeichert. Auch die fast vollständige Kreislaufführung von Kunststoffen, vor allem über chemisches Recycling, ist ein wichtiger Beitrag der Industrie zur Klimaneutralität.

Im Jahr 2050 wird mehr CO₂ aus der Atmosphäre entnommen als eingetragen wird. Die verbleibenden Emissionen sind vorwiegend Methan und Lachgas. Neben diesen Technologien gibt es weitere Optionen zur Erzeugung von negativen Emissionen, aus Kosten- und Potenzialgründen wurden aber nur die genannten Technologien genutzt.

In den Szenarien werden Maßnahmen im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), zum Beispiel die Wiedervernässung von Mooren, unterstellt, die dafür sorgen, dass dieser Sektor auch langfristig eine CO₂-Senke bleibt. Damit wird durch die Maßnahmen im LULUCF-Sektor im Jahr 2050 eine Senke von -10 Mio. t CO₂-Äq erreicht. Allerdings kann das aktuelle Niveau der Senke von -27 Mio. t CO₂-Äq nicht gehalten werden. Natürliche Senken, also die Kohlenstoffaufnahme durch Wälder und Böden, werden nachrichtlich ausgewiesen, aber in dieser Studie nicht zur Erreichung der Klimaziele angerechnet.

Drei Säulen der Transformation: Säule 1 – Energieeffizienz und Senkung des Energiebedarfs

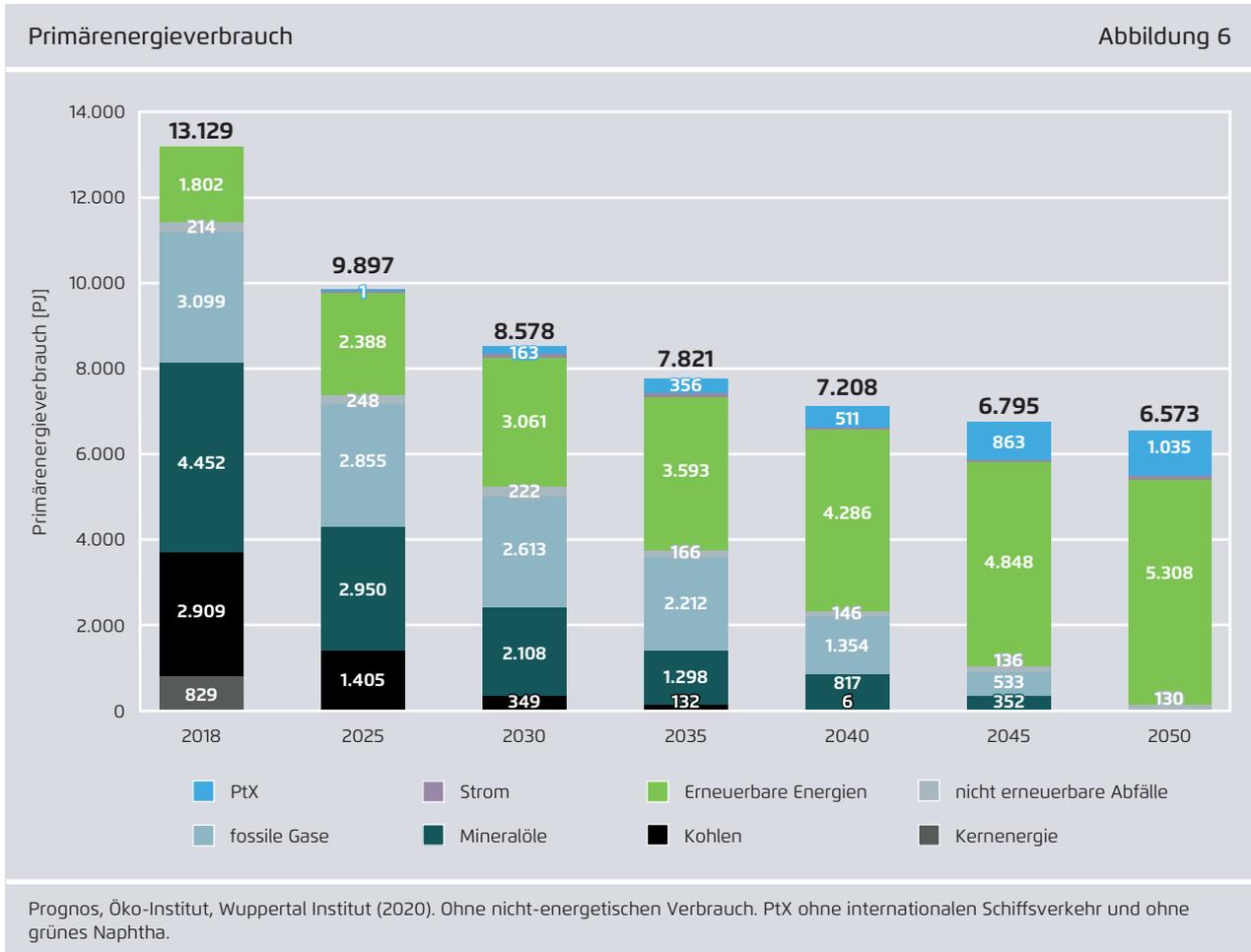
Im Zeitraum 2018 bis 2050 halbiert sich der Primärenergieverbrauch, also der Energiegehalt aller in Deutschland direkt oder zur Umwandlung in Sekundärenergieträger genutzten Energieträger. Der Primärenergieverbrauch geht von heute ungefähr 13.000 Petajoule (PJ) auf etwa 6.600 PJ zurück.

Der Verbrauch sinkt zum einen durch wesentlich geringere Verluste bei der Energieumwandlung und durch einen deutlichen Rückgang des Endenergieverbrauchs.

Der Endenergieverbrauch sinkt im Zeitraum 2018 bis 2030 von etwa 9.000 PJ um 16 Prozent auf etwa 7.500 PJ. Bis 2050 sinkt der Endenergieverbrauch im Vergleich zu 2018 um etwa 35 Prozent auf 5.800 PJ. Wesentliche Treiber für den Rückgang sind Gebäudesanierungen, effizientere Beleuchtung, verbrauchsarme Geräte und deutliche Effizienzgewinne im Verkehr durch die zunehmende Elektrifizierung. Der zunehmende Einsatz von Wärmepumpen zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser senkt durch die Nutzung von Umweltwärme den Einsatz von Brennstoffen.

Im Umwandlungssektor ergeben sich im Zeitraum bis 2050 auch signifikante Primärenergieeinsparungen, insbesondere bei der Stromerzeugung. Während 2018 noch knapp drei Viertel der Stromerzeugung aus thermischen Kraftwerken mit entsprechend hohen Umwandlungsverlusten erfolgte, reduziert sich die brennstoffbasierte Stromerzeugung bis 2050 auf etwa 7 Prozent. Der größte Teil der Stromerzeugung erfolgt dann ohne Umwandlungsverluste aus Windenergie und Photovoltaik.

Neben der benötigten Menge an Primärenergie ändert sich bis 2050 auch die Energieträgerstruktur deutlich. Die Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Erdgas und Mineralöl geht bis 2050 vollständig



zurück. Kernenergie wird bereits nach 2022 nicht mehr verwendet.

Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch steigt von 14 Prozent im Jahr 2018, auf 38 Prozent bis 2030 und dann weiter auf 81 Prozent bis 2050. Importe von synthetisch erzeugten Energieträgern stellen 2050 etwa 16 Prozent der Primärenergie. Die restlichen 3 Prozent der Primärenergie entfallen 2050 auf sonstige Energieträger wie Abfall und geringe Mengen an importierten Strom.

Drei Säulen der Transformation: Säule 2 – erneuerbare Stromerzeugung und Elektrifizierung

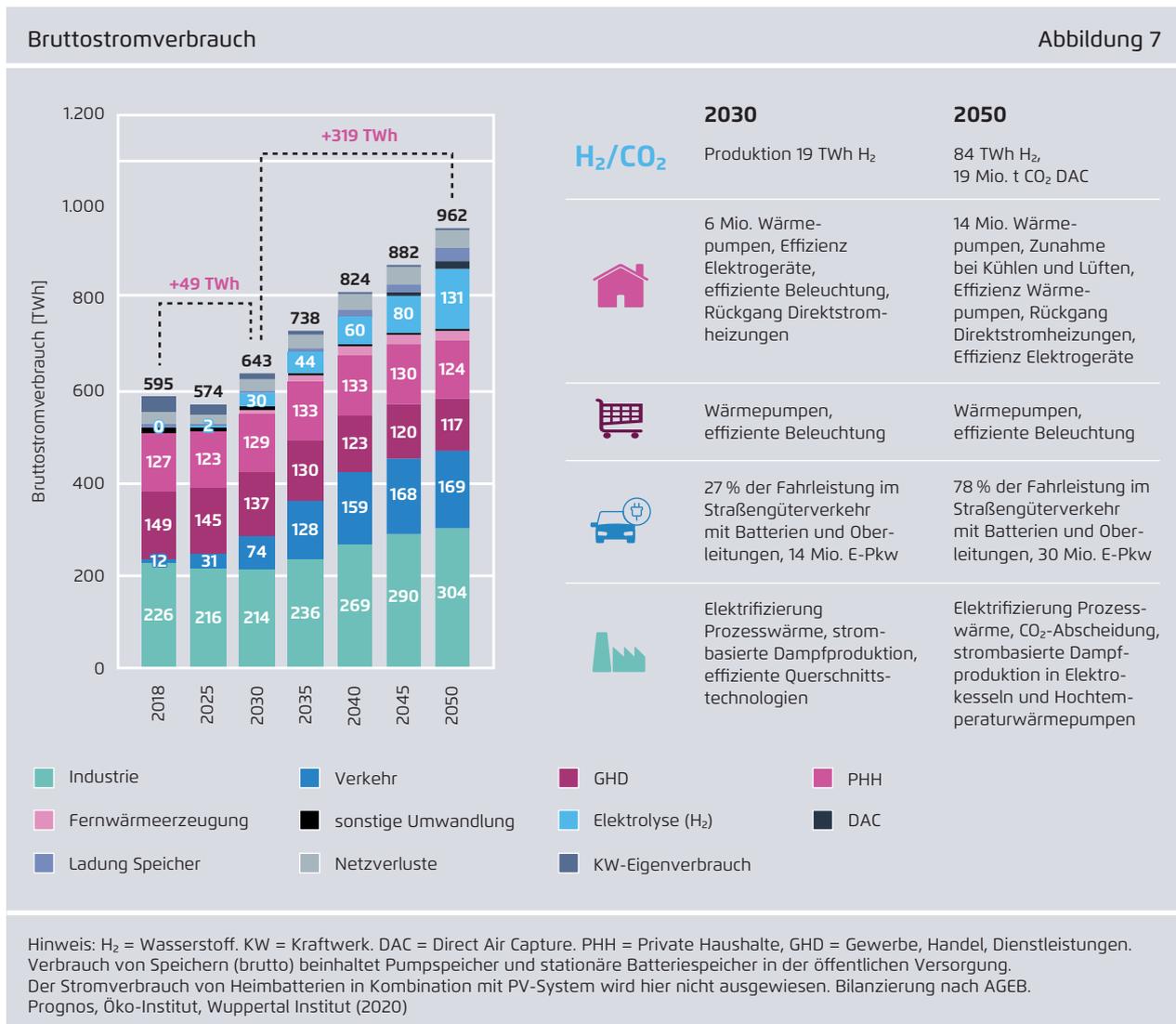
Die Bedeutung von Strom nimmt auf dem Weg hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft kontinuierlich zu. Strom kann bei vielen Endanwendungen sehr effizient eingesetzt werden. Insbesondere im Verkehr und Wärmemarkt ergeben sich deutliche Vorteile im Vergleich zu Verbrennungsmotoren und Heizkesseln.

Die steigende Elektrifizierung und die Produktion von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff sind die Haupttreiber für den Anstieg des Stromverbrauchs bis 2050 auf etwa 960 TWh. Der Stromverbrauch im Jahr 2050 liegt dann 370 TWh höher als heute. Von dem Anstieg entfallen etwa 160 TWh auf den

Verkehr, 130 TWh auf die Wasserstoffherstellung und etwa 70 TWh auf die Industrie. Leicht rückläufig entwickelt sich der Stromverbrauch im Gebäudesektor. Effizienzverbesserungen bei Elektrogeräten, Beleuchtung und der Ersatz von Nachtspeicherheizungen und Elektroboiler sparen mehr ein, als die Wärmepumpen brauchen.

Die Erzeugung erfolgt vollständig klimaneutral. Dafür steigt die installierte Leistung von Onshore-Windenergie auf 130 GW, die von Offshore-Windenergie auf 70 GW und die Photovoltaikleistung auf 355 GW.

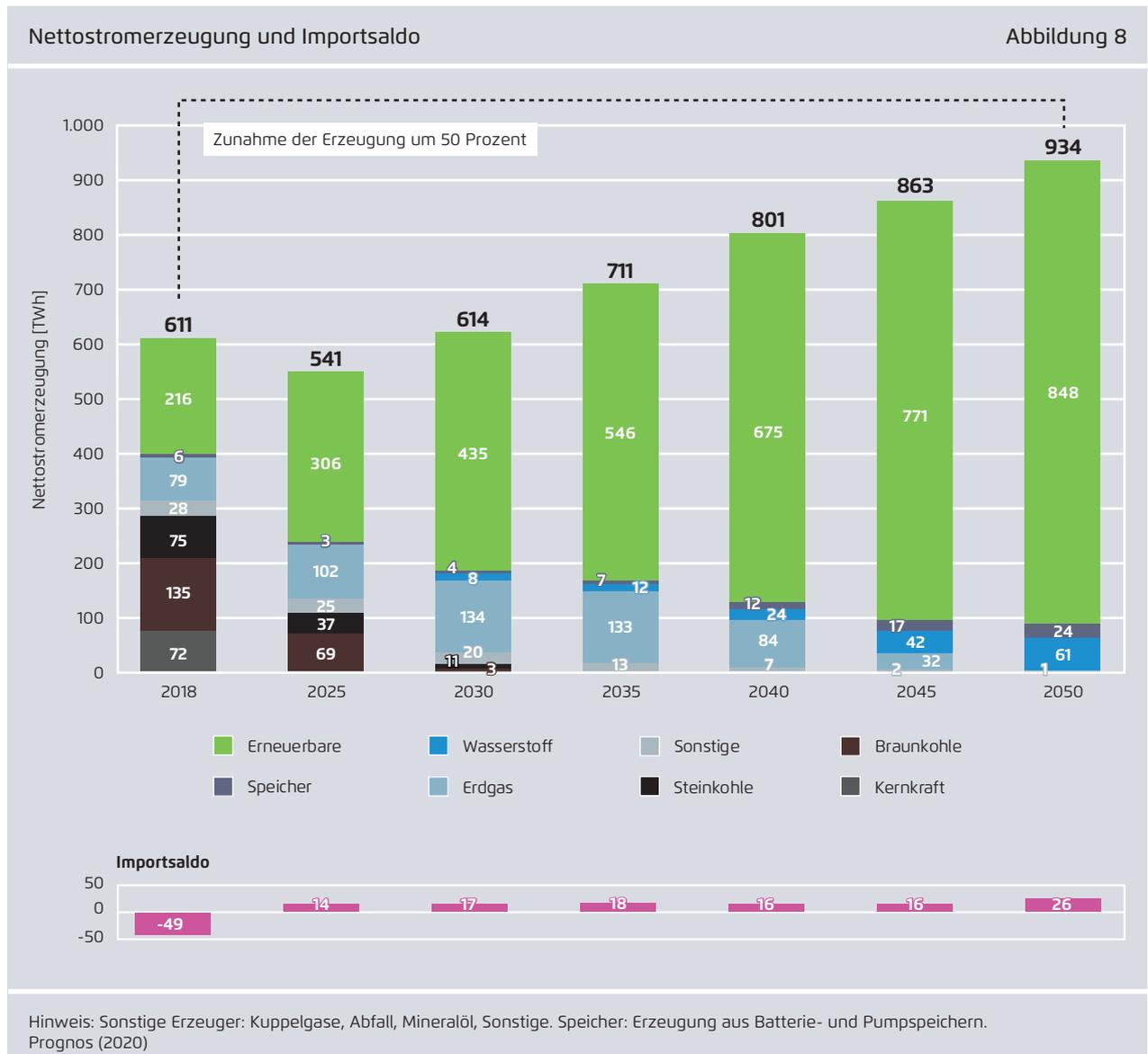
Das Stromsystem im Jahr 2050 basiert zu 100 Prozent auf Erneuerbaren Energien. Inklusive Wasserkraft und Biomasse decken Erneuerbare Energien im Jahr 2050 88 Prozent des Stromverbrauchs direkt ab, 7 Prozent entfallen auf Gaskraftwerke, die aus Erneuerbaren Energien erzeugten Wasserstoff als Brennstoff nutzen. Die restlichen 5 Prozent werden durch zwischengespeicherten oder importierten Strom gedeckt. Das Stromsystem wird deutlich flexibler: durch mehr Batteriespeicher, durch den flexiblen Einsatz von Wärmepumpen, Elektrolyseuren und der Elektromobilität sowie einem intensi-



vereren Stromhandel mit dem Ausland. Erneuerbare Stromerzeugung kann durch den damit möglichen räumlichen und zeitlichen Ausgleich auch bei hohen fluktuierenden Anteilen effizient genutzt werden.

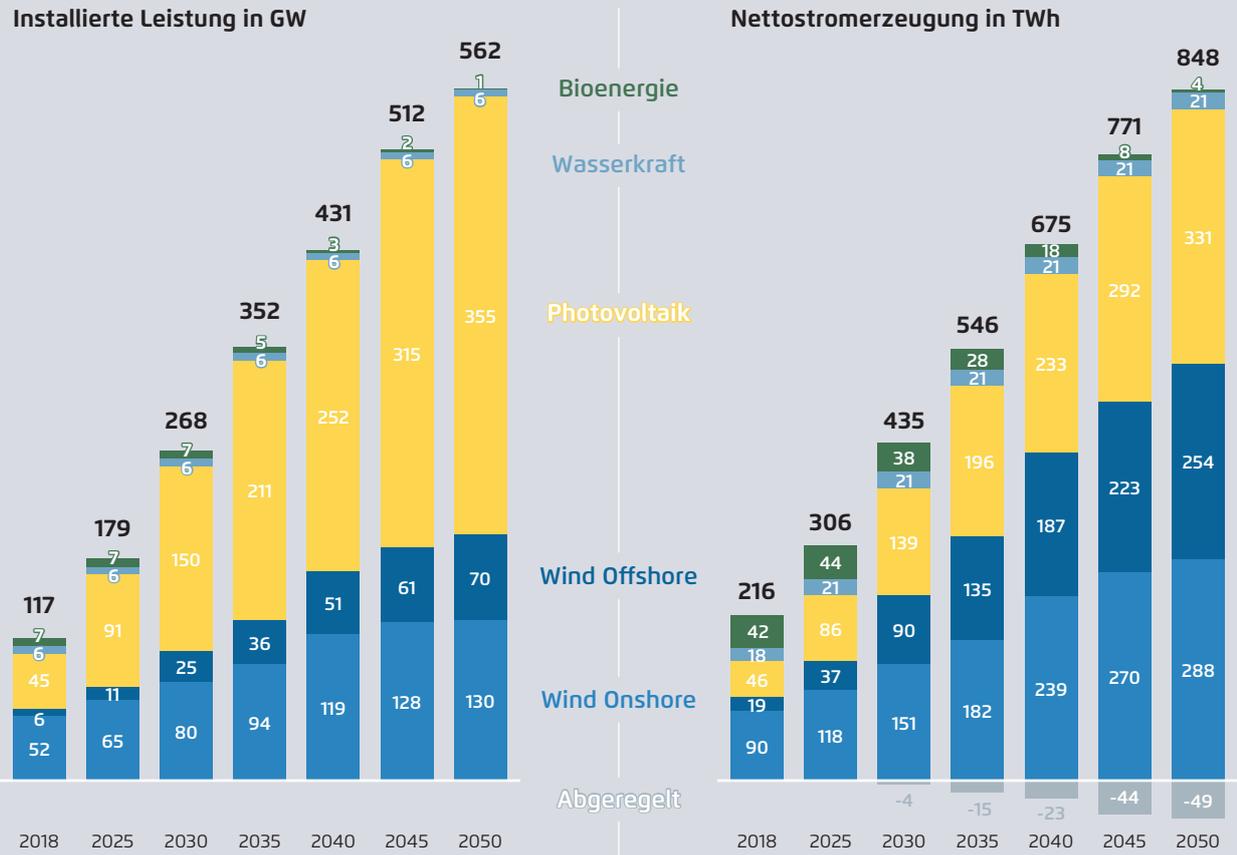
kraftwerke in Skandinavien und den Alpen. Im Vergleich zu heute können durch Stromexporte in diese Länder die Speicherstände – insbesondere im Sommer und Herbst – geschont werden und somit im Winter mehr Strom zur Verfügung gestellt werden.

Der kurzfristige Ausgleich von Stromnachfrage und -angebot erfolgt dabei vorwiegend durch Batterie-speicher, Lastmanagement und den Stromhandel. Der saisonale Ausgleich erfolgt im Wesentlichen durch die Erzeugung und Rückverstromung von Wasserstoff sowie durch die Nutzung der großen Speicher-



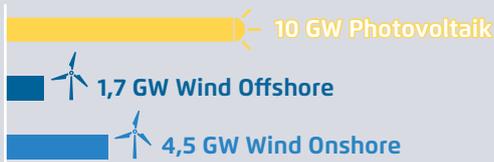
Erneuerbare Energien

Abbildung 9



Notwendiger mittlerer jährlicher Ausbau
Bruttozubau, bei 25 Jahren Lebensdauer

2021–2030



Ausbaustärkste Jahrgänge der Vergangenheit:
 Photovoltaik: 8 GW (2010, 2012)
 Wind Offshore: 2 GW (2015)
 Wind Onshore: 5 GW (2014, 2017)

Kumulierter Bruttozubau zwischen 2021 und 2030:
 Photovoltaik: 98 GW
 Wind Offshore: 17 GW
 Wind Onshore: 44 GW

Anteil Erneuerbarer Energien
am Bruttostromverbrauch



* Inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbarem Strom Prognos (2020)

Drei Säulen der Transformation: Säule 3 – Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff

In einem klimaneutralen Energiesystem wird Wasserstoff neben Strom eine sehr große Rolle spielen. Die Wasserstoffnachfrage im Jahr 2050 beträgt etwa 270 TWh. Davon werden 31 Prozent in Deutschland hergestellt. Der restliche Wasserstoff wird importiert.

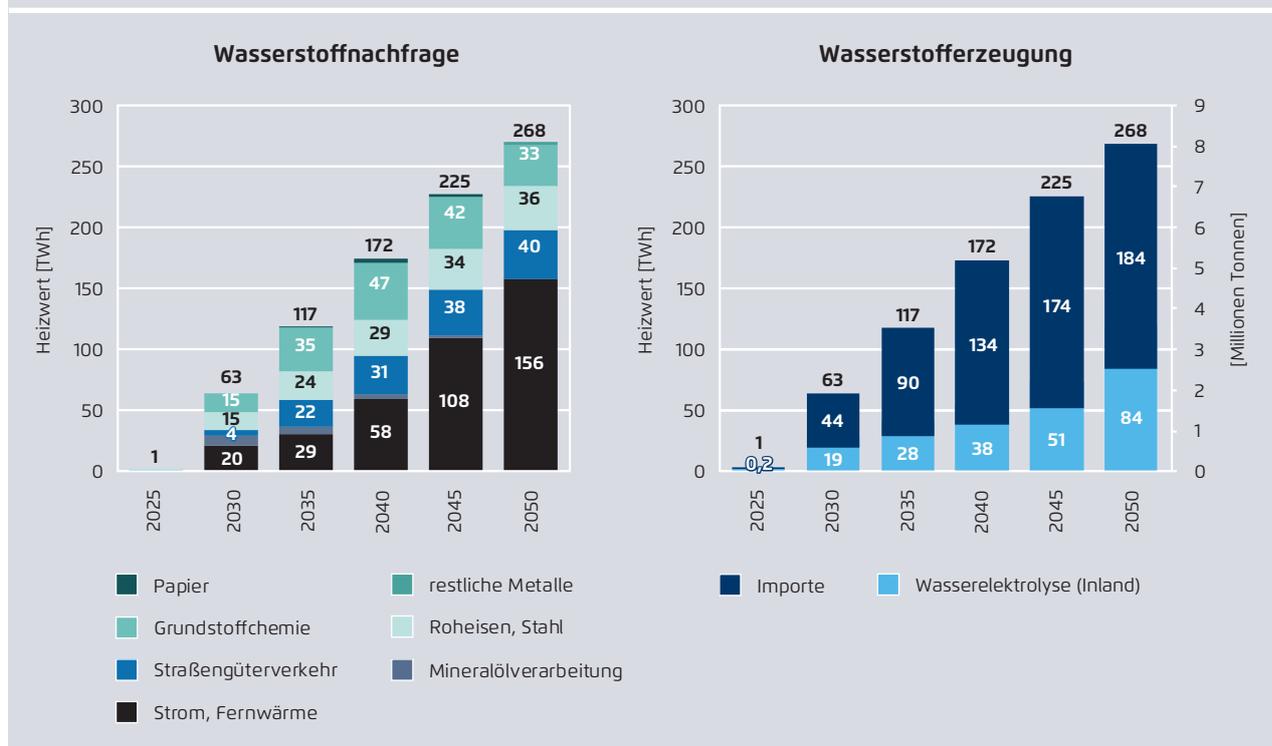
Im Industriesektor dient Wasserstoff vorwiegend zur Direktreduktion von Eisenerz für eine CO₂-freie Stahlherstellung, als Rohstoff in der Grundstoffchemie und zur Erzeugung von Prozessdampf.

Der Wasserstoffeinsatz von 40 TWh im Verkehr erfolgt überwiegend im schweren Güterkehr. Last- und Sattelzüge nutzen den Wasserstoff in Brennstoffzellen als Energieträger. Zu kleineren Anteilen fahren auch leichtere Nutzfahrzeuge mit Wasserstoff.

Der größte Teil des Wasserstoffbedarfs entfällt auf die Stromerzeugung. In Zeiten, in denen eine Residualnachfrage besteht, wird Wasserstoff in Gaskraftwerken als Brennstoff genutzt. Zum Teil erfolgt dies in Kraft-Wärme-Kopplung, sodass auch ein Teil der Fernwärme auf Wasserstoff basiert. Im Bereich der Objektbeheizung erfolgt aus Kostengründen kein Einsatz von Wasserstoff.

CO₂-freie Wasserstofferzeugung und -nutzung in Deutschland

Abbildung 10



Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020). Ohne fossil erzeugten Wasserstoff.

Zusätzlich zum Wasserstoff werden auch weitere synthetische Energieträger in dem Szenario eingesetzt. Im nationalen und internationalen Schiffs- und Flugverkehr werden CO₂-neutrale PtL-Kraftstoffe verwendet, in geringem Umfang auch noch im Straßenverkehr für die im Bestand verbleibenden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Zudem wird in der Industrie für die stoffliche Nutzung, die nicht durch die verstärkte Kreislaufwirtschaft abgedeckt werden kann, grünes Naphtha importiert. Strombasierte Brennstoffe und grünes Naphtha werden nicht in Deutschland hergestellt, sondern importiert, in Summe etwa 160 TWh.

Insgesamt ergibt sich für 2050 ein Bedarf an Wasserstoff und sonstigen synthetischen Brennstoffen und Feedstocks in Höhe von 432 TWh, von denen 348 TWh importiert werden.

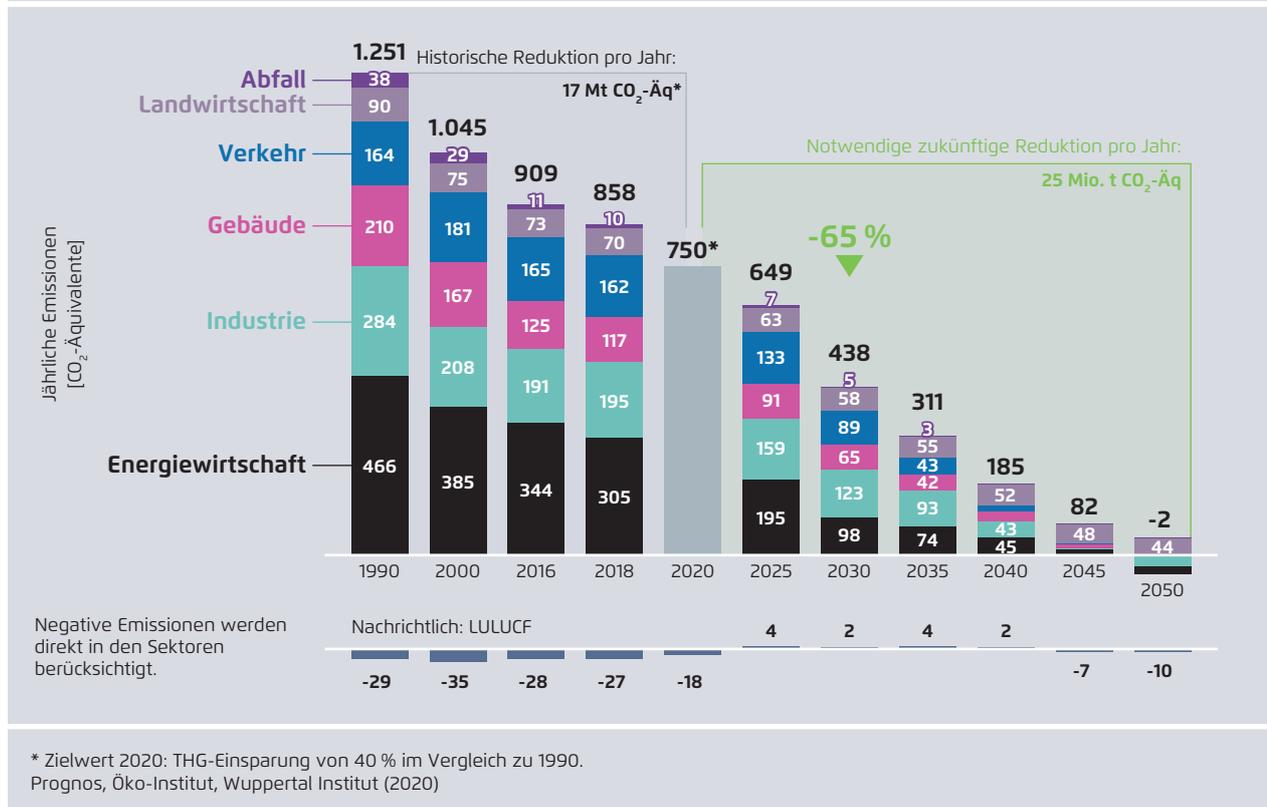
Szenario Klimaneutral 2050 im Überblick

Kernindikatoren des Szenarios Klimaneutral 2050					Abbildung 11		
KN2050							
		2018	2030	2040	2050	2018– 2030 p.a. netto	2030– 2050 p.a. netto
Treibhausgasemissionen* (Mio. t CO ₂ -Äq.)							
Energiewirtschaft 		305	98	45	-19	-17	-6
Industrie 		195	123	43	-30	-6	-8
Verkehr 		162	89	18	0	-6	-4
Gebäude 		117	65	24	1	-4	-3
Landwirtschaft 		70	58	52	44	-1	-1
Abfall und sonstige 		10	5	3	2	0	0
Summe		858	438	185	-2	-35	-22
Minderung im Vergleich zu 1990 (%)		31	65	85	100		
LULUCF (nachrichtlich)		-27	1	2	-10	2	0
Primärenergieverbrauch (PJ), davon		13.129	8.578	7.208	6.573	-379	-100
Kohlen		2.909	349	34	0	-213	-17
Mineralöle		4.452	2.108	817	2	-195	-105
Fossile Gase		3.099	2.613	1.354	3	-41	-131
Bruttostromverbrauch (TWh)		595	643	824	962	4	16
EE-Anteil am Bruttostromverbrauch (%)		38	69	82	100**		
Wind Onshore (GW)		52	80	119	130	2	3
Wind Offshore (GW)		6	25	51	70	2	2
Photovoltaik (GW)		45	150	252	355	9	10
Anzahl Elektro-Pkw (inkl. Plug-in-Hybride, Mio. Stück)		0	14	32	30	1	1
Güterverkehrsleistung Schiene (Mrd. tkm)		135	190	210	230	5	2
Anzahl Wärmepumpen (Mio. Stück)		1	6	11	14	0,4	0,4
Nutzenergiebedarf Wohngebäude (kWh/(m ² ·a))		106	85	71	60	-2	-1
Elektrolyseure in Deutschland (GW)		0	10	25	51	1	2
Einsatz von Wasserstoff (TWh)		0	63	172	268	5	10
Herstellung von erneuerbar erzeugtem H ₂ in DE (TWh)		0	19	38	84	2	3
Import Wasserstoff (TWh)		0	44	134	184	4	7
Import sonstiger synth. Brennstoffe u. Feedstocks (TWh)		0	1	8	164	0	8
Carbon Capture and Storage (Brutto-Menge, Mio. t CO₂)		0	-1	-22	-73	0	-4
Prozessemissionen und Abfall (Mio. t CO ₂)		0	-1	-5	-18	0	-1
Negativemissionen (Mio. t CO ₂)		0	0	-17	-56	0	-3
Negativemissionen inkl. stofflicher Bindung (Mio. t CO₂)		0	0	-17	-64	0	-3
Biomasse-CCS (BECCS, Mio. t CO ₂)		0	0	-15	-37	0	-1
Direct-Air-Capture-CCS (DACCS, Mio. t CO ₂)		0	0	-2	-19	0	-1
Importierte grüne Polymere (Mio. t CO ₂)		0	0	0	-8	0	0
Bevölkerung in Deutschland (Mio.)		83	83	81	79	0	0
EU-ETS, EUR2019/t		16	52	70	90	3	2

* Negativemissionen direkt in den Sektoren berücksichtigt.
** inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbaren Strom
Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

Überblick Entwicklung THG-Emissionen nach Sektoren

Abbildung 12



Publikationen von Agora Energiewende

AUF DEUTSCH

[Klimaneutrales Deutschland \(Vollversion\)](#)

In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals

[Wie passen Mieterschutz und Klimaschutz unter einen Hut?](#)

[Wie weiter nach der EEG-Förderung?](#)

Solaranlagen zwischen Eigenverbrauch und Volleinspeisung

[Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende](#)

Handlungsempfehlungen für eine umfassende Akzeptanzpolitik

[Zwischen Rekordhoch und Abschaffung: Die EEG-Umlage 2021 in Zeiten der Corona-Krise](#)

[Der Doppelte Booster](#)

Vorschlag für ein zielgerichtetes 100-Milliarden-Wachstums- und Investitionsprogramm

[Auswirkungen der Corona-Krise auf die Klimabilanz Deutschlands](#)

Eine Abschätzung der Emissionen 2020

[Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie die Lücke gestopft werden kann](#)

Effekte der Windkraftkrise auf Strompreise und CO₂-Emissionen sowie Optionen, um das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel 2030 noch zu erreichen

[Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2019](#)

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2020

[Klimaneutrale Industrie](#)

Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement

[Charta für eine Energiewende- Industriepolitik](#)

Ein Diskussionsvorschlag von Agora Energiewende und Roland Berger

[Dialog „Energiewende und Industriepolitik“](#)

Abschlussbericht

[Flex-Efficiency](#)

Ein Konzept zur Integration von Effizienz und Flexibilität bei industriellen Verbrauchern

[Aktionsplan Lastmanagement](#)

Endbericht einer Studie von Connect Energy Economics

Publikationen von Agora Energiewende

AUF ENGLISH

#1 COVID-19 China Energy Impact Tracker

How is the pandemic reshaping China's energy sector?

How to Raise Europe's Climate Ambitions for 2030

Implementing a -55% Target in EU Policy Architecture

Recovering Better!

Climate Safeguards for the proposed EU's Proposed 1.85 trillion Euro 85-Trillion-Euro Budget

EU-China Dialogue on Green Stimulus Packages

Summary of a High-Level Discussion on 23 June 2020

Dual-Benefit Stimulus for Germany

A Proposal for a Targeted 100 Billion Euro Growth and Investment Initiative

Making the Most of Offshore Wind

Re-Evaluating the Potential of Offshore Wind in the German North Sea

Supporting the Energy Transition in the Western Balkans

The German Power Market: State of Affairs in 2019

State of Affairs in 2019

The Liberalisation of Electricity Markets in Germany

History, Development and Current Status

A Word on Low Cost Renewables

The Renewables Breakthrough: How to Secure Low Cost Renewables

Building sector Efficiency: A crucial Component of the Energy Transition

Final report on a study conducted by Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (Ifeu), Fraunhofer IEE and Consentec

Climate-neutral industry (Executive Summary)

Key technologies and policy options for steel, chemicals and cement

Distribution grid planning for a successful energy transition – focus on electromobility

Conclusions of a study commissioned by Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Regulatory Assistance Project (RAP)

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-energiewende.de

Publikationen von Agora Verkehrswende

AUF DEUTSCH

[Klimaneutrales Deutschland \(Vollversion\)](#)

In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals

[Ein anderer Stadtverkehr ist möglich](#)

Neue Chancen für eine krisenfeste und klimagerechte Mobilität

[Die Automatisierung des Automobils und ihre Folgen](#)

Chancen und Risiken selbstfahrender Fahrzeuge für nachhaltige Mobilität

[Weiter denken, schneller laden](#)

Welche Ladeinfrastruktur es für den Erfolg der Elektromobilität in Städten braucht

[Lieferrn ohne Lasten](#)

Wie Kommunen und Logistikwirtschaft den städtischen Güterverkehr zukunftsfähig gestalten können

[Städte in Bewegung](#)

Zahlen, Daten, Fakten zur Mobilität in 35 deutschen Städten

[Der Doppelte Booster](#)

Vorschlag für ein zielgerichtetes 100-Milliarden-Wachstums- und Investitionsprogramm

[Abgefahren!](#)

Die Infografische Novelle zur Verkehrswende

[Technologieneutralität im Kontext der Verkehrswende](#)

Kritische Beleuchtung eines Postulats

[Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen](#)

[Ausgeliefert – wie die Waren zu den Menschen kommen](#)

Zahlen und Fakten zum städtischen Güterverkehr

[E-Tretroller im Stadtverkehr](#)

Handlungsempfehlungen für deutsche Städte und Gemeinden zum Umgang mit stationslosen Verleihsystemen

[Studie: Verteilnetzausbau für die Energiewende](#)

Elektromobilität im Fokus

[15 Eckpunkte für das Klimaschutzgesetz](#)

Publikationen von Agora Verkehrswende

AUF ENGLISCH

Technology Neutrality for Sustainable Transport

Critical Assessment of a Postulate – Summary

Bike Sharing in a State of Transition

Action recommendations for German cities and municipalities in dealing with dockless systems

En route to Paris?

Implications of the Paris Agreement for the German transport sector

Distribution grid planning for a successful energy transition – focus on electromobility

Conclusions of a study commissioned by Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Regulatory Assistance Project (RAP)

Shared E-Scooters: Paving the Road Ahead

Policy Recommendations for Local Government

Entering the home stretch

The German car makers facing the European CO2 limits for 2021

New Roads to Sustainable Travel

Communication Strategies for Behaviour Change

Supporting a U-Turn in Parking Policy

Facts and Figures

Towards Decarbonising Transport | 2018

A 2018 Stocktake on Sectoral Ambition in the G20

The new EU regulation on CO2 emissions from cars and how it impacts carbon targets in Germany's transport sector

The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels

Ensuring a Sustainable Supply of Raw Materials for Electric Vehicles

A Synthesis Paper on Raw Material Needs for Batteries and Fuel Cells

Transforming Transport to Ensure Tomorrow's Mobility

12 Insights into the Verkehrswende

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-verkehrswende.de

Wie gelingt uns die Energiewende? Welche konkreten Gesetze, Vorgaben und Maßnahmen sind notwendig, um die Energiewende zum Erfolg zu führen? Agora Energiewende und Agora Verkehrswende wollen den Boden bereiten, damit Deutschland in den kommenden Jahren die Weichen richtig stellt. Wir verstehen uns als Denk- und Politiklabore, in deren Mittelpunkt der Dialog mit den relevanten energiepolitischen Akteuren steht.

Die Stiftung Klimaneutralität wurde gegründet, um in enger Kooperation mit anderen Denkfabriken sektorübergreifende Strategien für ein klimagerechtes Deutschland zu entwickeln. Auf der Basis von guter Forschung will die Stiftung informieren und beraten – jenseits von Einzelinteressen.



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

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Strasse 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000 | F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-energiewende.de
info@agora-energiewende.de

Agora Verkehrswende

Anna-Louisa-Karsch-Strasse 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000 | F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

Stiftung Klimaneutralität

Friedrichstr. 140 | 10117 Berlin
T +49 (0)30 62939 4639
www.stiftung-klima.de
info@stiftung-klima.de

