

Zwischenbericht
dena-Leitstudie
Aufbruch Klimaneutralität

Ein Blick in die Werkstatt: Erste Erkenntnisse und
Ableitungen zentraler Handlungsfelder

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel.: +49 (0)30 66 777-0
Fax: +49 (0)30 66 777-699
E-Mail: info@dena.de
Internet: www.dena.de

Autorinnen und Autoren der dena:

Martin Albicker	Dietmar Gründig	Ann-Katrin Schenk
Carsten Bamberg	Pascal Hader	Hannes Seidl
Manuel Battaglia	Dorothea Horneber	Stefan Siegemund
Elias Brunken	Dr. Karolina Jankowska	Christian Stolte
Thomas Bründlinger	Christoph Jugel	Lisa Strippchen
Pia Dorfinger	Hanne May	Annika Tönjes
Antonia Döring	Eric Meidel	Gustav Weber
Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick	Dr. Tim Mennel	Anna Willers
Johanna Friese	Moritz Robers	Jakob Willke

Autorinnen und Autoren der projektbeteiligten Gutachter:

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI):
Berit Hanna Czock, Hanna Decker, Max Gierkink, Arne Lilienkamp, Lena Pickert, Tobias Sprenger,
Dr. Johannes Wagner, Jonas Zinke

Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW) München:
Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm

Institut für technische Gebäudeausrüstung (ITG) Dresden:
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz, Dr. Bernadetta Winiewska

Jacobs University Bremen:
Christine Brandstät, Prof. Dr. Gert Brunekreeft, Dr. Marius Buchmann, Martin Palovic

Stiftung Umweltenergierecht:
Dr. Markus Kahles, Dr. Hartmut Kahl

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie:
Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick, Dr. Johannes Venjakob, Annika Tönjes

Konzeption & Gestaltung:

Heimrich & Hannot GmbH

Bildnachweis:

adobestock.com: S. 28 – bannafarsai, Soonthorn, Bildwerk, S. 38 – 1599685sv, Tiberius
Gracchus, Production Perig, S. 46 – Franco Nadalin, malp, S. 56 – Mikael Damkier, Thomas Pajot,
thomaslerchphoto, S. 65 – Westend61, peterschreiber.media, rcx, S. 69 – kflgalore, slavun, KB3,
S. 74 – TMLsPhotoG, rh2010; istockphoto.com: S. 46 – FG Trade, S. 69 – Charday Penn;
Unsplash: S. 28 – nicholas doherty

Stand:

03/2021

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2021)
„Zwischenbericht, dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität, Ein Blick in die Werkstatt:
Erste Erkenntnisse und Ableitungen zentraler Handlungsfelder“

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

dena-Leitstudie **Aufbruch Klimaneutralität**

Ein Blick in die Werkstatt: Erste Erkenntnisse und
Ableitungen zentraler Handlungsfelder



Inhalt

Vorwort Andreas Kuhlmann	6
1 dena-Leitstudie: Aufbruch Klimaneutralität.....	8
1.1 Hintergrund und Motivation	8
1.1.1 Motivation für eine neue Leitstudie	9
1.1.2 Rückblick auf die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende.....	10
1.2 Aufbruch Klimaneutralität: Die neue dena-Leitstudie	11
1.2.1 Projektbeteiligte.....	11
1.2.2 Projektstruktur	13
1.2.3 Methodik und Zielsetzungen	14
1.2.4 Der Zwischenbericht: Ein Blick in die Werkstatt.....	15
1.2.5 Der Begriff Klimaneutralität in der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität	16
2 Sieben Impulse für Klimaneutralität	18
Impuls 1: Herausforderungen und Chancen kommunizieren: Ehrlich machen.....	19
Impuls 2: Einzellösungen reichen nicht: Der ganzheitliche Blick.	20
Impuls 3: Entwicklung braucht zweierlei: Einen stabilen Rahmen und einen starken Stimulus.....	21
Impuls 4: In Unsicherheit und Dynamik: Starke Governance.	22
Impuls 5: Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern.	23
Impuls 6: Mehr als Treibhausgasminderung: Strategie für CO ₂ -Senken.	24
Impuls 7: Notwendige Maßnahmen in vier Säulen.	25
3 Blick auf die Sektoren.....	26
3.1 Die Energiewirtschaft	28
3.1.1 Energiemix.....	30
3.1.2 Außenhandel	31
3.1.3 Systemintegration.....	33
3.1.4 Versorgungssicherheit	35
3.1.5 Offene Fragen	36
3.2 Der Gebäudesektor	38
3.2.1 Gebäudehülle	41
3.2.2 Anlagentechnik.....	43
3.2.3 Erneuerbare Energien und klimaneutral erzeugte Energieträger	44
3.2.4 Nachfrage nach Wärme, Kälte und Strom	45
3.2.5 Offene Fragen	45

3.3 Der Industriesektor	46
3.3.1 Prozessemissionen/treibhausgasarme Kernprozesse.....	48
3.3.2 Energie- und Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft	50
3.3.3 Erneuerbare und klimaneutrale Energieträger und Rohstoffe	51
3.3.4 Wettbewerbsfähigkeit.....	53
3.3.5 Nachfrageentwicklung.....	54
3.3.6 Offene Fragen	55
3.4 Der Verkehrssektor	56
3.4.1 Verkehrsträger	59
3.4.2 Energieeffizienz und Antriebsarten	59
3.4.3 Erneuerbare Energieträger	60
3.4.4 Verkehrsleistung	62
3.4.5 Weitere Handlungsfelder zur klimafreundlichen Gestaltung des Verkehrssektors	62
3.4.6 Offene Fragen	63
4 Querschnittlicher Blick	64
4.1 Querschnittsmodul Energiemarktdesign	65
4.1.1 Themenbereiche im Querschnittsmodul Energiemarktdesign	66
4.1.2 Diskussion der zentralen Herausforderungen.....	67
4.2 Querschnittsmodul Transformation	69
4.2.1 Vertiefungsthema „Gesellschaftliche Perspektiven auf klimaneutrales Wohnen“	70
4.2.2 Vertiefungsthema „Ökonomische Partizipation an der Energiewende“	72
4.3 Querschnittsmodul Wirtschaft und Europa	74
4.3.1 Leitlinien für die Weiterentwicklung des europäischen Wirtschaftssystems	76
4.3.2 Impulse zur weiteren Ausgestaltung europäischer Instrumente.....	79
5 Anhang	80
5.1 Projektbeteiligte Unternehmen und Institutionen	80
5.2 Gutachter im Projektkonsortium	81
5.3 Mitglieder des Beirats der dena-Leitstudie	82
5.4 Glossar und Begriffsdefinitionen	84

Vorwort

Wer sich eine lange Strecke vorgenommen hat, sollte zwischendurch immer mal einen Blick darauf werfen, wie weit man schon gekommen ist – und was noch vor einem liegt. So wollen wir es auch beim derzeit größten Projekt der Deutschen Energie-Agentur (dena) halten: der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Unser Ziel ist es, Pfade zu beschreiben, die Deutschland bis zum Jahr 2050 sicher in die Klimaneutralität führen können.



Mit diesem Zwischenbericht geben wir einen Überblick über unseren bisherigen Arbeitsstand und die Suche nach möglichen Lösungsräumen. Es ist ein Blick in unsere Werkstatt. Es gibt (noch) keine vorgezeichneten Pfade, keine ausgefeilten Szenarien mit Zahlen und Kurven. Vielmehr haben wir Kernthemen und offene Fragen beschrieben, die wir identifiziert haben. Aber auch erste Ableitungen aus sehr intensiven Diskussionen zu den verschiedenen Sektoren haben wir bereits getroffen. Und so viel sei verraten: Die Debatten in dem großen Kreis von Akteuren, die wir versammelt haben, sind deutlich komplizierter, als wir es zu Beginn angenommen haben. Der Grund dafür: Es gibt keine einfachen, auf der Hand liegenden Lösungen. Aber es gibt eine Reihe von Dingen, die in jedem Fall angegangen werden müssen.

Hinter „wir“ verbirgt sich ein sehr großer Kreis an Partnern, Akteuren und Impulsgebern. Weit mehr als 100 Institutionen und Unternehmen aus der gesamten Breite von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft sind an diesem Projekt beteiligt. Sie arbeiten aktiv mit, bringen ihre Branchen- und Fachexpertise ein. Alle Ideen, Ansätze und Einschätzungen aus so einem großen Kreis übereinander zu bekommen, ist wie das Vorhaben Klimaneutralität selbst eine ziemliche Herausforderung. Aber dieser Ansatz war und ist eine bewusste Entscheidung. Warum? Man kann sich der Aufgabe, ein Szenario für ein klimaneutrales Deutschland zu entwerfen, rein akademisch widmen und Werte extrapolieren. Man kann auch vom Zielpunkt aus ansetzen und top-down mögliche Wege dahin skizzieren. Wir haben uns für einen aufwendigen, aber aus unserer Sicht auch verlässlicheren Ansatz entschieden: diese fundamentale Transformationsaufgabe in der Auseinandersetzung mit zahlreichen Akteurinnen und Akteuren zu gestalten, die alle beschriebenen Lösungen tatsächlich in der Praxis umsetzen müssen und dies immer im Blick haben.

Keine Frage, das dauert lange, ist oftmals kompliziert und führt zu intensiven Debatten. Wir sind aber überzeugt, dass es insgesamt zu belastbaren und praktikablen Hinweisen und Ergebnissen führt. Es verhindert im Übrigen auch, dass es zu stark interessen geleiteten Empfehlungen oder Ableitungen kommt, die einzelne Technologien, Branchen oder Energieträger in den Vordergrund stellen. Ein Phänomen, das in der Debatte um Klimaneutralität leider oft zu beobachten ist.

Bei diesem Zwischenbericht, unserem Blick in die Werkstatt, wird es natürlich nicht bleiben. Im nächsten Schritt wollen wir die skizzierten Lösungsräume immer weiter verdichten, konkretisieren und dann bis zum Herbst dieses Jahres zu sehr spezifischen Empfehlungen in einem umfassenden Abschlussbericht kommen. Zugleich wollen wir den Diskurs öffnen, zu einzelnen Fragestellungen öffentliche Formate anbieten und so den Kreis noch etwas breiter machen, noch mehr Verlässlichkeit in die Ergebnisse bringen.

Es ist noch eine ganze Strecke zu gehen. Die wird nicht einfach, es wird weiterhin ein hartes Ringen werden. Aber wir sind sicher, dass die Mühe lohnt und wir im Herbst, wenn die neue Bundesregierung ihre Arbeit aufnimmt, ein gutes Empfehlungspapier vorlegen können. Und die eigentliche Arbeit geht dann erst los, muss dann losgehen.

Auf eine weiterhin spannende Reise freut sich

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Andreas Kuhlmann'.

Andreas Kuhlmann

Vorsitzender der Geschäftsführung
der Deutschen Energie-Agentur (dena)

1

dena-Leitstudie: Aufbruch Klimaneutralität

1.1 Hintergrund und Motivation

Das Pariser Klimaabkommen aus dem Jahr 2015 ist ein Meilenstein der internationalen Klimapolitik. 195 Staaten, darunter auch Deutschland, haben sich geeinigt, den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Zahlreiche Akteure in Politik und Wirtschaft betrachten die Ziele dieses Abkommens als unumkehrbar und suchen nach Wegen, wie sie am besten zu erreichen sind. Die bislang bei der UN-Klimarahmenkonvention eingereichten nationalen Klimaschutzbeiträge und Treibhausgasminderungsziele reichen aber nicht aus. Es braucht weitere und effektivere Maßnahmen für eine Zielerreichung.

Deutschland hat sich mit dem Klimaschutzgesetz von 2019 erstmals gesetzlich verpflichtet, seine Emissionen bis 2030 um 55 Prozent zu reduzieren und „Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel zu verfolgen.“¹ Frühere Klimaziele wurden damit erheblich verschärft. Das mit dem Green Deal verkündete EU-Klimaneutralitätsziel für 2050 bettet das deutsche Klimaziel in eine gesamteuropäische Strategie ein.

Dieses neue Ziel Klimaneutralität stellt alle Akteure vor eine gewaltige Aufgabe. Sie lässt sich nicht durch Einzelmaßnahmen in einzelnen Sektoren lösen, sondern nur durch ein grundlegendes Neudenken von Wirtschaft und Gesellschaft und eine vollständige Transformation des Energie- und Wirtschaftssystems. Klimaneutralität erfordert auch eine fundamental andere Herangehensweise: Es bedarf einer grundlegenden Analyse und einer Identifikation der neuen Herausforderungen. Dabei spielen Planungshorizonte, Infrastrukturfragen und die zeitliche wie geopolitische Dimension der erforderlichen Maßnahmen eine erhebliche Rolle. Obwohl diese komplexe Transformation mit hohen Investitionskosten verbunden ist, wird sie auch vielfältige neue Chancen bieten und einen Beitrag zu einer weiterhin lebenswerten Welt leisten. Viele dieser neuen Chancen sind heute bereits Realität.

Mit zunehmender Sichtbarkeit der Auswirkungen des Klimawandels und dem Bewusstsein um die Verantwortung für zukünftige Generationen wächst der gesellschaftliche wie unternehmerische Druck, den politischen Bekenntnissen auch Taten folgen zu lassen. Weltweit haben sich mehr als 60 Staaten dem Ziel Klimaneutralität verpflichtet. China will bis zum Jahr 2060 klimaneutral werden, Japan und Südkorea peilen das Jahr 2050 an, und nach vier Jahren klimapolitischer Eiszeit sind auch die USA Anfang 2021 wieder dem Pariser Abkommen beigetreten.

Deutschland hat in den vergangenen Jahren erste wichtige Schritte getan – mit dem Klimaschutzprogramm 2030, dem Kohleausstieg bis spätestens 2038, der geplanten Steigerung des Erneuerbare-Energien-Anteils auf 65 Prozent bis 2030 sowie der Einführung eines CO₂-Preises. Um Klimaneutralität zu erreichen, muss sich die Dynamik in der Klima- und Energiepolitik aber in Deutschland wie weltweit beschleunigen.

1.1.1 Motivation für eine neue Leitstudie

Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 erfordert eine Ambition in allen Bereichen und Sektoren, die deutlich über dem in der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende (2018) zugrunde gelegten Zielkorridor liegt. Die bis dahin umzusetzenden Maßnahmen sind gewaltig. Zwar wurden in den vergangenen Jahren umfassende Maßnahmen für die unterschiedlichen Sektoren auf den Weg gebracht. So hat allein das Klimapaket der Bundesregierung aus dem Jahr 2019 ein Volumen von 55 Mrd. Euro und in der Corona-Krise wurden wirtschaftspolitische Maßnahmen mit Investitionen verbunden, die zu großen Teilen auch dem Gelingen von Energiewende und Klimaschutz zugutekommen.² Der Dialogprozess Gas 2030 und die folgende Nationale Wasserstoffstrategie sind grundlegende politische Neuorientierungen von Energiewende und Klimaschutz ebenso wie das verbindliche Klimaschutzgesetz mit sektorspezifischen Zielen und einem Monitoringprozess. Insgesamt besteht jedoch weitgehend Konsens, dass all diese schon weitreichenden Maßnahmen für das Ziel Klimaneutralität bei Weitem nicht ausreichen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Infrastrukturen kommt nicht schnell genug voran, im Verkehrsbereich stagniert der Endenergiebedarf seit 2005 auf hohem Niveau³ und im Gebäudesektor erfolgt der Hochlauf bei energetischen Sanierungen zu langsam.

¹ Bundesgesetzblatt Jahrgang 2019, 17.12.2019, Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes, § 1 Zweck des Gesetzes.

² dena & Navigant, 2020, „dena-Diskussionspapier: Synergien nutzen – Impulse für die weitere Ausgestaltung des Konjunkturprogramms der Bundesregierung“, <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-diskussionspapier-synergien-nutzen-impulse-fuer-die-weitere-ausgestaltung-des-konjunkturprogr/> (18.03.2021)

³ Der spezifische Energiebedarf konnte zwar gesenkt werden, aufgrund steigender Verkehrsleistung insbesondere im Güterverkehr ist der Gesamtenergiebedarf jedoch seit 2005 fast unverändert geblieben.

Dass Deutschland sein Klimaziel 2020 übererfüllt hat, ist ein schöner Erfolg. Aber für die künftige Entwicklung ist dies wenig aussagefähig. Zum einen weil die Zielerfüllung auch den mit der Corona-Krise verbundenen drastischen Einschränkungen bei Mobilität, Produktion und Warentransport geschuldet ist. Zum anderen, weil es für das Jahr 2030 deutlich anspruchsvoller wird, die strengeren Treibhausgasminderungsziele mit einer wieder auf den früheren Wachstumspfad zurückgekehrten Wirtschaft zu erreichen.

Die 2020er-Jahre sind eine Dekade der Weichenstellungen: Der Ausbau der Erneuerbaren muss deutlich schneller vorankommen, es müssen Lösungen gefunden werden für eine langfristig klimaneutrale Industrieproduktion unter Erhalt wettbewerbsfähiger Bedingungen, für eine bessere Markt- und Systemintegration erneuerbaren Stroms, für den Hochlauf von Wasserstoff und synthetischen Energieträgern sowie eine optimierte Nutzung biogener Ressourcen. Es gilt, die für den Umbau des Industriestandorts Deutschland die in Richtung Klimaneutralität erforderlichen Infrastrukturen zu identifizieren und entschlossen zu schaffen. Ebenso braucht es ein neues, integriertes Marktsystem als zentralen Steuerungsmechanismus. Alle Sektoren sind in diesem Prozess mit enormen technologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen konfrontiert und auch die Auswirkungen der Corona-Krise werden Energie- und Klimapolitik weiter erheblich beeinflussen.

Der neuen deutschen Bundesregierung fällt die große Verantwortung zu, nach ihrer Konstitution rasch die notwendigen Weichen zu stellen. Es gilt, die passenden Rahmenbedingungen zu schaffen, um Innovationen und Investitionen zu fördern und den Weg zur Klimaneutralität in Deutschland und der EU nicht nur zu einer klimapolitischen, sondern gleichzeitig einer wirtschaftlichen Erfolgsgeschichte zu machen. Für diese Entscheidungen in der nächsten Legislaturperiode möchte die Deutsche Energie-Agentur (dena) gemeinsam mit den zahlreichen projektbeteiligten Unternehmen und Institutionen durch die dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität wichtige Impulse liefern.

1.1.2 Rückblick auf die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende

Die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende aus dem Jahr 2018 hat gezeigt: Für eine erfolgreiche Energiewende braucht es ein funktionierendes Zusammenspiel aller dafür benötigten Energieträger und Technologien, der zugehörigen Infrastruktur und passender Rahmenbedingungen. Der bis dahin oft diskutierte Fokus auf eine „all electric society“ würde – so ein Ergebnis der Studie – mit erheblichen Mehrkosten einhergehen. Als unter ökonomischen, ökologischen wie sozialen Aspekten besonders effizient ist eine Drei-Pfeiler-Strategie identifiziert worden: Synthetisch erzeugte erneuerbare Energieträger und Rohstoffe (Powerfuels) ergänzen dabei Energieeffizienz und den Ausbau der direkten Nutzung erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Strom, Solar- und Geothermie sowie Biomasse).

Die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende konnte zeigen, dass bereits die damaligen Klimaziele nur mit erhöhten Anstrengungen in allen Sektoren erreichbar sind. Eine erfolgreiche Energiewende ist in jedem Sinne integriert, d. h.: Die Sektoren wachsen immer stärker zusammen. In allen Bereichen braucht es einen integrierten Blick auf die Wechselwirkungen mit anderen Sektoren, auf den Abgleich zwischen Infrastrukturen und Märkten, auf zentrale und dezentrale Lösungen sowie auf nationale und internationale Märkte, um systemübergreifende Optimierungen vornehmen zu können. Das gilt insbesondere für den Infrastrukturbedarf und die mit dessen Aufbau verbundenen Zeithorizonte.

Die integrierte Energiewende ist inzwischen Allgemeingut. Genauso hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass auch das künftige Energiesystem Elektronen wie Moleküle braucht. Diese Moleküle können gasförmig oder flüssig sein, inländisch erzeugt oder importiert. Eines müssen sie jedoch mittel- und langfristig sein: klimaneutral bereitgestellt. Aber wie genau die Aufteilungen aussehen könnten, ist umstritten. Bei der Betrachtung möglicher Konstellationen ist ein technologieoffener Ansatz oberstes Gebot. Insbesondere weil die Erfahrung zeigt, dass einzelne Pfade ins Stocken geraten können. Für diese Fälle braucht es andere Optionen, um die Klimaziele zu erreichen. Sie sollten selbst dann zum Einsatz kommen, wenn sie möglicherweise nicht die kosteneffizientesten sind. Bisher gibt es in vielen Bereichen kein „Level Playing Field“ zwischen den neuen, treibhausgasneutralen Anwendungen und Energieträgern und den etablierten emissionsbehafteten Optionen. Diese Gleichbehandlung ist jedoch Voraussetzung für eine kostenoptimierte Energiewende, in der sich die kostengünstigsten Technologien durchsetzen.

1.2 Aufbruch Klimaneutralität: Die neue dena-Leitstudie

Ziel der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität ist es, eine Basis für fundierte strategische Entscheidungen der politischen und wirtschaftlichen Akteure zur Erreichung von Klimaneutralität 2050 zu erarbeiten. Aus den Ergebnissen der Modellierung und umfassenden fachlichen Diskussionen werden die wesentlichen Erkenntnisse herausgearbeitet, um hieraus Handlungsempfehlungen für Politik und Wirtschaft ableiten zu können. Die dena-Leitstudie wird dabei von einem sehr breiten Stakeholderkreis getragen. Dies kann im Jahr der Bundestagswahl dem gesamtgesellschaftlichen Diskurs zu Klimaneutralität und den Optionen zur Erreichung dieses Ziels wichtige Impulse geben.

1.2.1 Projektbeteiligte

Die dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität ist wie die vorangegangene Leitstudie ein Multi-Stakeholder-Prozess mit Beteiligung eines sehr diversen Kreises von Unternehmen und Institutionen. Über 70 Projektpartner tragen mit ihrer Expertise und Marktkenntnis dazu bei, dass die Transformationspfade der dena-Leitstudie ein ambitioniertes und gleichzeitig realistisches Bild zeichnen.



Im Rahmen der Studienbearbeitung werden ergänzende Interviews mit Expertinnen und Experten aus nicht direkt projekt-beteiligten Branchen geführt. Zudem begleitet ein 45-köpfiger Projektbeirat das Vorhaben über seine gesamte Laufzeit. Hier sind hochrangige Personen aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft vertreten. Der Beirat soll wichtige Impulse für den Projektverlauf setzen und allen Beteiligten – dena, Gutachtern wie Projektpartnern – Hinweise zur kritischen Hinterfragung geben.

Zur Durchführung dieses komplexen Studienprojekts hat die dena eine Gruppe renommierter wissenschaftlicher Institute zusammengeführt, welche mit ihrer energie-, wirtschafts-, rechts- und sozialwissenschaftlichen Expertise gemeinsam mit der dena die Sektor- und Querschnittsmodule begleiten. Ein breites Team von dena-Expertinnen und -Experten sichert den Abgleich mit den Erkenntnissen aus einer Vielzahl anderer dena-Projekte.

Um die integrierte Betrachtung durch verschiedene Disziplinen zu gewährleisten, wirken bei der dena-Leitstudie folgende Gutachter mit:



Das **Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI)** ist wie in der ersten dena-Leitstudie als Hauptgutachter zuständig für die gesamtsystemische Modellierung des Energiesystems sowie die Begleitung der Verbrauchssektoren Industrie und Mobilität.



Das **Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW) München** und das **Institut für technische Gebäudeausrüstung (ITG)** Dresden unterstützen die dena-Leitstudie als Fachgutachter und Modellierer im Sektormodul Gebäude.



Die **Jacobs University Bremen** ist für die wissenschaftliche Begleitung des Querschnittsmoduls Energiemarktdesign zuständig und bringt seine Energiemarktexpertise in das gesamte Setting ein.



Die **Stiftung Umweltenergierecht** unterstützt mit energierechtlichen Kenntnissen, dies insbesondere im Querschnittsmodul Wirtschaft & Europa.



Das **Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie** begleitet mit seiner sozial- und gesellschaftswissenschaftlichen Expertise das Querschnittsmodul Transformation.

Darüber hinaus werden im Studienverlauf weitere Fachgutachter für spezifische Fragestellungen über Zusatzgutachten hinzugezogen (z. B. zur Stromnetzmodellierung, zu technischen und natürlichen CO₂-Senken).

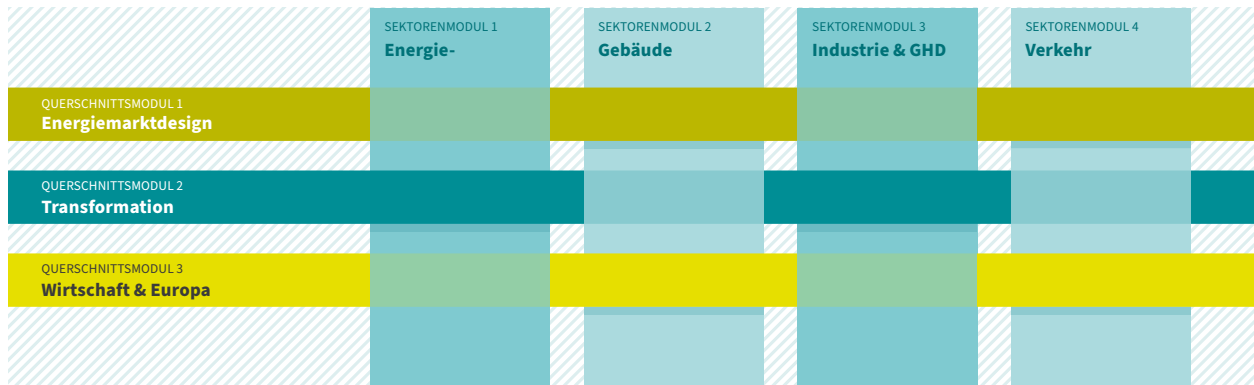
1.2.2 Projektstruktur

Analog dem Vorgehen der ersten dena-Leitstudie findet auch in der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität ein wesentlicher Teil der Analysen in vier Sektormodulen statt: Sie betrachten die Entwicklung für die Energiewirtschaft sowie für Gebäude, Industrie und Verkehr. Arbeitsschwerpunkte der Sektormodule sind die Diskussion konkreter Optionen zur Erreichung von Klimaneutralität im Jahr 2050 sowie die passende Parameter- und Prozessspezifizierung zur Quantifizierung der sektorspezifischen Transformationspfade im Rahmen der energiesystemischen Modellierung. Um integrierte Lösungen zu erarbeiten, diskutieren die projektbeteiligten Expertinnen und Experten zusätzlich sektorübergreifende Inhalte in drei gemeinsamen Querschnittsmodulen: Energiemarktdesign, Transformation sowie Wirtschaft & Europa.

Im Querschnittsmodul Energiemarktdesign wird nach Möglichkeiten einer grundlegenden Neuordnung der Rahmenbedingungen gesucht, damit Klimaneutralität durch eine Systemoptimierung möglichst kosteneffizient erreicht wird und klimaneutrale emissionsmindernde Pfade marktlich angereizt werden.

Der ambitionierte Weg zur Klimaneutralität wird auch „Spurwechsel“ im Sinne disruptiver Veränderungen von Anwendungs- und Prozesstechnologien oder im Verbraucherverhalten erforderlich machen. Um diese sprunghaften Entwicklungen besser zu verstehen und kritische Herausforderungen der Veränderungsprozesse zu identifizieren, müssen Ansätze aus Geistes- und Sozialwissenschaften berücksichtigt werden. Das Querschnittsmodul Transformation beschäftigt sich daher mit nicht-technischen transformatorischen Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität.

Unser Energiesystem ist eingebettet in das europäische Wirtschafts- und Rechtssystem. Europäische Rahmenseetzungen haben großen und wachsenden Einfluss auf die nationale Politik. Der European Green Deal, mögliche CO₂-Grenzausgleichsmechanismen (Carbon Border Adjustment Mechanisms, CBAM) oder die europäische Industriepolitik sind auch für die Erreichung der nationalen Klimaziele maßgeblich. Sie sollen im Querschnittsmodul Wirtschaft & Europa analysiert und diskutiert werden.



1.2.3 Methodik und Zielsetzungen

Zwei Phasen

Erste Ableitungen und Szenarien in Phase 1

Ähnlich der dena-Leitstudie Integrierte Energiewende umfasst auch diese Leitstudie zwei Phasen. In Phase 1 wurden ein ambitioniertes Referenzszenario sowie ein Klimaneutralität erreichendes Zielszenario gebildet. In den Sektormodulen wurden dazu unter Einbeziehung der technischen Expertise und Marktkenntnis des Partnerkreises erste Transformationspfade entwickelt sowie mögliche Maßnahmen und spezifische Herausforderungen diskutiert. Ein tieferer Abgleich der sektorspezifischen Pfade untereinander bzw. mit Blick auf die gesamtsystemischen Modellierungsergebnisse ist dabei noch nicht erfolgt.

Mit diesen in den Sektormodulen entwickelten Transformationspfaden haben die Gutachter eine erste Modellierung vorgenommen (EWI für die energiesystemische Modellierung und im Industrie- sowie Verkehrssektor sowie ITG und FIW für die Modellierungen im Gebäudesektor). Die dabei ermittelten Quantifizierungen (z. B. Energiebedarfe je Energieträger) dienen als Grundlage für die Diskussion zu möglichen Anpassungen der Modellierung in Phase 2. Dies gilt insbesondere für die Deckung der Energiebedarfe unter Einhaltung der Klimaziele und unter Berücksichtigung einer energiesystemischen Optimierung der Energiebereitstellungskosten.

Die durchgeführten Modellierungen erheben keinen Anspruch darauf, eine volkswirtschaftlich optimale Lösung zu sein. Ziel ist es vielmehr, im Sinne eines Abgleichs zwischen Ökonomie und Praktikabilität Transformationspfade herauszuarbeiten, die aus Sicht der Beteiligten auch durch einen hohen Grad an Umsetzbarkeit gekennzeichnet sind. Für die so gemeinsam mit den projektbeteiligten Partnern erarbeiteten Pfade werden die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Energiebereitstellung analysiert. Zudem soll untersucht werden, welche zusätzlichen Aspekte die Umsetzung der Transformationspfade unterstützen bzw. gefährden könnten – beispielsweise Bezahlbarkeit, Akzeptanz, Versorgungssicherheit, Verfügbarkeit von Infrastrukturen oder Resilienz.

In den Sektormodulen sind zudem unabhängig von der quantitativen Modellierung die Chancen der Transformation sowie Herausforderungen und Risiken beleuchtet und diskutiert worden. Dabei bestätigte sich an vielen Stellen, dass es eine Herangehensweise jenseits von Konzepten der bloßen Sektorenkopplung braucht und auf dem Weg zur Klimaneutralität eine integrierte Sicht auf verschiedene Handlungsfelder erforderlich ist. Zugleich kamen weiter gehende Fragen auf, die nun durch neue Szenarios und Betrachtungen in der zweiten Projektphase beantwortet werden sollen.

Die Querschnittsmodule arbeiten stärker qualitativ und haben zum Ziel, sektorübergreifende Aspekte zu behandeln. Erkenntnisse aus den Querschnittsmodulen können jedoch in einer Rückkopplung in die Diskussionen in den Sektormodulen einfließen und so auch die quantitative Modellierung beeinflussen.

Ausblick

Weiterentwicklung der dena-Leitstudie in Projektphase 2 (März bis Oktober 2021)

Bereits aus der ersten Modellierung haben sich viele Fragen ergeben und aus den Diskussionen mit dem Partnerkreis und dem Beirat ließen sich viele Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Szenariogestaltung identifizieren. Das weitere Vorgehen erfolgt analog zur ersten dena-Leitstudie: Die Modellierung wird in Phase 2 umfangreich überarbeitet und angepasst, um die Robustheit der Ergebnisse zu erhöhen und neue Erkenntnisse zu erzielen. Basierend auf den Ergebnissen aus dem ersten Modellierungslauf, den Diskussionen im Partnerkreis sowie mit dem Beirat wird daher derzeit geprüft, mit welchem Szenariosetting und mit welchen Sensitivitäten bzw. weiteren ergänzenden Analysen und Einordnungen die besten Erkenntnisse erarbeitet werden können.

Im Rahmen des weiterentwickelten Szenariorahmens werden dann erneut „bottom up“ unter Nutzung der Technologie- und Marktkenntnis der Projektpartner neue Transformationspfade für die Modellierung erarbeitet. In Phase 2 werden auch die mit den Transformationspfaden verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten der Energiebereitstellung und die Verfügbarkeiten der benötigten Energieträger in der Modellierung genauer untersucht. In den Sektor- und Querschnittsmodulen wird zudem der Fachdiskurs zur Erarbeitung von Lösungsansätzen und Empfehlungen zur Erreichung der Klimaziele fortgesetzt.

Aus den Quantifizierungen der Modellierung sollen schließlich weiter gehende Erkenntnisse sowie die mit den gewählten Pfaden verbundenen besonderen Herausforderungen erarbeitet werden. Dabei sollen auch die mit Quantifizierungen und Prognosen verbundenen Unsicherheiten herausgearbeitet werden:

- Unsicherheit über technische Machbarkeiten und Geschwindigkeit der Einführung bzw. des Markthochlaufs von Technologien und der erforderlichen Infrastrukturen.
- Unsicherheit über das Verhalten der Akteure in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft sowie der Bürgerinnen und Bürger in ihren vielfältigen Rollen, beispielsweise als Verbraucher, Arbeitskräfte und Unternehmer, Investoren oder Wähler.
- Unsicherheit über die Entwicklung des regulatorischen Rahmens bzw. der Verlässlichkeit und Beständigkeit von getroffenen Rahmenseetzungen.
- Unsicherheit über die Reaktionen natürlicher Systeme.
- Unsicherheit über Kostenentwicklungen und marktliche Zusammenhänge.

Aus den stärker quantitativen Arbeiten in den Sektormodulen, der Modellierung, den qualitativen Ergebnissen aus den Querschnittsmodulen und ihren Synergien sollen dann Handlungsempfehlungen entwickelt werden. Diese werden durch eine fortwährende Diskussion der Transformationspfade und der Modellierungsergebnisse mit dem breiten Partnerkreis erarbeitet und mit dem Beirat konsultiert. Die Handlungsempfehlungen sollen Wirtschaftsakteuren strategische Orientierung zur Ausrichtung ihrer Geschäftsaktivitäten auf dem Weg in eine klimaneutrale Gesellschaft geben und der Politik konkrete Empfehlungen für die Weichenstellungen in der kommenden Legislaturperiode anbieten. Dabei werden u. a. folgende Leitfragen diskutiert:

- Welche Schritte sind klar? Was sind No-Regret-Maßnahmen, also Entscheidungen oder Maßnahmen, deren Wirkung in allen betrachteten bzw. modellierten Szenarien auch bei veränderter Umgebung ökonomisch, ökologisch und sozial sinnvoll bleibt? Welche bekannten, aber eventuell noch nicht marktgängigen Technologien werden aus heutiger Sicht sicher benötigt?
- Welche gesellschaftlichen Diskussionen müssen geführt bzw. welche politischen Entscheidungen getroffen werden? Welcher Umgang mit Versorgungssicherheit ist beispielsweise gewollt bzw. bis zu welchem Grad soll das nationale Energiesystem gegen mögliche Phasen einer „langen kalten Dunkelflaute“ abgesichert sein? Welche Erwartungen wären an eine Hochlaufstrategie für neue Energieträger und neue Infrastrukturen geknüpft? Welche Bedeutung hat der Einsatz von Carbon Capture and Utilisation (CCU)/Carbon Capture and Storage (CCS) zur Erreichung der Klimaziele und wie wird mit europäischen Lösungsangeboten umgegangen?
- Für welche Herausforderungen ist noch keine (technische) Lösung absehbar? Wo werden Wissenschaft, Forschung und Innovation eine bedeutende Rolle zur Erreichung von Klimaneutralität haben?

1.2.4 Der Zwischenbericht: Ein Blick in die Werkstatt

Dieser Zwischenbericht enthält im Sinne eines „Werkstattblicks“ die ersten Erkenntnisse aus den Diskussionen in den Sektor- und Querschnittsmodulen der Phase 1. Übergreifendes Ziel ist es, zentrale Handlungsfelder zur Erreichung von Klimaneutralität zu benennen, die basierend auf den Diskussionen der Transformationspfade sowie den Ergebnissen des ersten Modellierungslaufs erarbeitet wurden. Diese Erkenntnisse sollen frühzeitig einen Beitrag zum politischen Diskurs leisten.

Der Zwischenbericht dient damit als Grundlage für zahlreiche Diskussionen mit dem Projektbeirat sowie mit weiteren Akteurinnen und Akteuren aus Politik, Wissenschaft und Zivilgesellschaft auf nationaler wie europäischer Ebene. Außerdem sind Erkenntnisse und Arbeitsstand in den Modulen der Ausgangspunkt für weitere Überlegungen für die Projektphase 2, in welcher die derzeit bestehende Modellierung angepasst und durch weitere Untersuchungen ergänzt werden soll.

Der Projektbeirat hat in der Diskussion zum Zwischenbericht einige Empfehlungen für die weitere Arbeit gegeben. Hierzu zählt der Vorschlag, verschiedene Grundüberzeugungen („Core Beliefs“) zu Fragen von Verfügbarkeiten, Prozessen und Infrastrukturen herauszuarbeiten und verschiedene Zeithorizonte (bis 2030, 2030–2040, 2040–2050, nach 2050) mit spezifischen Notwendigkeiten und Maßnahmen ausdifferenzieren. Die Zeithorizonte sollten mit ambitionierten Treibhausgasminderungszielen verbunden sein, etwa einer Steigerung der Minderungsziele der EU bis 2030 von 55 auf 65 Prozent und einem entsprechend höheren Minderungsziel für Deutschland.

Bei der Formulierung von politischen Handlungsempfehlungen sollten weitergehende Aussagen über erwartete Kosten und Nutzen sowie deren Verteilung und Unsicherheiten erarbeitet und systemische Auswirkungen stärker berücksichtigt werden. Diese Betrachtung könnte Kosten wegen unterlassener Treibhausgas-minderung einschließen. So soll ein ganzheitliches Bild entstehen, das die Kostenvorteile von Klimaschutz betont.

Zur Rolle von Powerfuels empfiehlt der Beirat, intensiv auf die dahinterliegenden Fragen der Infrastruktur (Importinfrastruktur, Fachkräfte etc.) zu schauen. Er erwartet hier nicht in erster Linie ein Finanzierungs-, sondern ein Verfügbarkeitsproblem. Im Gebäudesektor wird, unter anderem auf Empfehlung des Beirats, in Phase 2 stärker auf Quartiers- und Wärmenetze eingegangen. Im Verkehrssektor sollen der Einfluss neuer Verkehrskonzepte (autofreie Innenstädte, fahrradfreundliche Planung) und mögliche Langfristeffekte der Corona-Pandemie (z. B. mehr Home-office, weniger Dienstreisen) stärker beachtet werden.

1.2.5 Der Begriff Klimaneutralität in der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität

Im Klimaschutzplan 2050 hat die Bundesregierung bereits im Jahr 2016 Maßnahmen für die Erreichung nationaler Klimaziele festgesetzt und sektorale Vorgaben und Instrumente beschrieben. In der Folge hat das Klimaschutzgesetz im Jahr 2019 erstmals den Begriff **Treibhausgasneutralität** im Rahmen eines Gesetzes beschrieben als das Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Treibhausgasemissionen als Quellen und dem Abbau solcher Treibhausgase (THG) durch Senken. Die verschiedenen Gase tragen nicht in gleichem Maße zur Erwärmung der Atmosphäre durch den Treibhauseffekt bei und sie verbleiben unterschiedlich lange in der Atmosphäre. Um die Wirkung verschiedener Treibhausgase vergleichbar zu machen, können sie in CO₂-Äquivalente (CO₂e) umgerechnet und zusammengefasst werden.

Der Begriff **Klimaneutralität** geht weiter. Er beschreibt den Zustand, in dem sich die Wirkungen sämtlicher anthropogener und natürlicher temperaturbeeinflussender Faktoren gegenseitig aufheben, sodass sich die globale Durchschnittstemperatur stabilisiert. Zu den relevanten Faktoren gehören neben den Treibhausgasemissionen beispielsweise auch Veränderungen der Luftverschmutzung (z. B. durch Ruß, Schwefeldioxid (SO₂) oder Feinstaub), der Wolkenbedeckung (Höhe und Art der Wolken) sowie das Rückstrahlvermögen (Albedo) der Erdoberfläche.

Im Rahmen dieses Projekts wird in der Modellierung und der Diskussion von Maßnahmen gemäß der aktuellen Gesetzgebung auf die weitestgehende Minderung menschengemachter nationaler THG-Emissionen aus allen Quellen fokussiert. Zusätzlich wird der Abbau verbleibender Emissionen durch technische und natürliche Senken auf „Netto-Null“ analysiert. Neben Kohlenstoffdioxid werden – soweit möglich – auch die wichtigsten CO₂-Äquivalente berücksichtigt, etwa bestimmte Methanquellen im Energie- und Verkehrssektor sowie anthropogene Quellen von Methan und Lachgas in der Landwirtschaft. Im engen Sinne dieser Begriffsdefinition betrachtet die dena-Leitstudie daher keine Klima-, sondern Treibhausgasneutralität.

Zeitliche Bilanzierungsgrenze: Das Zieljahr 2050 vs. Treibhausgasbudget bis 2050

Aufgrund der langfristigen Klimawirksamkeit von Treibhausgasen sind zur Stabilisierung der globalen Durchschnittstemperatur nicht nur die Emissionen eines einzelnen Jahres relevant, sondern die über mehrere Dekaden kumuliert emittierten Mengen. Bis um das Jahr 2000 ist man in der Forschung von allmählich stattfindenden Veränderungen im Klimasystem ausgegangen, durch einen quasilinearen Zusammenhang zwischen den Gesamtemissionen seit 1870 und dem Temperaturanstieg. Inzwischen geht die internationale Forschungsgemeinschaft eher von einer nicht linearen Dynamik mit der Möglichkeit diskontinuierlicher, irreversibler und extremer Veränderungsereignisse im Klimasystem aus – sogenannter „Kippunkte“ (Tipping Points).⁴

Für eine wirksame Begrenzung der Erderwärmung muss deshalb die Menge der gesamthaft ausgestoßenen Treibhausgase begrenzt werden, statt nur auf ausgeglichene Bilanzen in einzelnen Zieljahren hinzuarbeiten. Über die Verteilung und Berechnung dieser Gesamtmenge bzw. dieses Budgets und die damit verbundenen komplexen völkerrechtlichen Fragen gibt es vielfältige Literatur.⁵

Räumliche Bilanzierungsgrenze: Deutschland vs. Europa vs. Welt

Die Atmosphäre der Erde ist global und lokale Treibhausgasemissionen haben globale Klimawirksamkeit. Daher muss auch Klimaneutralität als globales Ziel mit gemeinsamen internationalen Anstrengungen und globalen Lösungsansätzen verfolgt werden. Auf dem Weg dorthin könnten einige Länder bereits eine netto-negative Emissionsbilanz erreichen, während andere Länder noch positive Emissionen ausweisen. Auch sind die Potenziale zur CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre lokal und regional sehr unterschiedlich. Manche Länder müssten die Potenziale anderer Staaten mobilisieren, um Klimaneutralität erreichen zu können.

⁴ Aktuelle Analyse zu „Tipping Points“ bspw: Lenton, T.M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H.J., 2019, „Climate tipping points — too risky to bet against“, *Nature* 575, S. 592–595.

⁵ Für einen Überblick über die Debatte siehe dena, 2020, „dena-Analyse: Klimaneutralität“, <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-analyse-klimaneutralitaet/> (18.03.2021).

Die Modellierungen der dena-Leitstudie basieren auf den gängigen Regeln der THG-Bilanzierung auf nationaler und internationaler Ebene. Bei Entwicklung der Transformationspfade in den Sektoren werden jeweils die Optionen diskutiert, durch die jeder Sektor bzw. jede Verbrauchsgruppe die durch das eigene Verhalten verursachten THG-Emissionen weitestgehend vermeiden bzw. reduzieren kann. Ausgangspunkt sind Maßnahmen in Deutschland, welche die bilanzierten CO₂-Emissionen reduzieren bzw. durch zusätzliche natürliche und/oder technische Senken aktiv ausgleichen. Zusätzlich sollen die Möglichkeiten des europäischen Binnenmarkts und der globalen Märkte für Energieträger, Rohstoffe und Produkte sowie gegebenenfalls Emissionsminderungszertifikate einbezogen werden.

Bilanzierungsprinzip:

Quell- vs. Verursacherprinzip

Nach den derzeit gültigen Standards zur Bilanzierung von THG-Emissionen wird das **Quellprinzip** angewendet. Dabei ist der Entstehungsort von Emissionen maßgeblich, also der Ort, wo Treibhausgase physisch in die Atmosphäre entweichen, beispielsweise durch Umwandlung oder Endverbrauch von Energieträgern sowie durch Industrieprozesse. Emissionen werden nach ihrem Entstehungsort bilanziell dem jeweiligen Sektor oder Staat zugerechnet. Emissionen aus vorgelagerter Wertschöpfung sind nur dann erfasst, wenn sie ebenfalls im Bilanzierungsraum entstehen.

Nach dem **Verursacherprinzip** (auch Verbraucherprinzip) werden THG-Emissionen demgegenüber der gesamten vorgelagerten Wertschöpfungskette beim letztverbrauchenden Akteur bilanziert. Diese beinhalten auch Emissionen aus dem Bezug von Strom und Wärme aus der öffentlichen Versorgung sowie internationale Energieträgerimporte (z. B. Stromimporte). Zudem müssen die Vorkettenemissionen von Gewinnung, Produktion, Transport und Speicherung von Energieträgern berücksichtigt werden. Gegenüber dem Quellprinzip ist eine verursachergerechte THG-Bilanzierung deutlich komplexer. Es braucht hierzu eine umfassende internationale Bilanzierung und Zuordnung der Emissionen, um sie auf alle nachfolgenden Wertschöpfungsstufen bis zum Letztverbraucher umlegen zu können. Regionale oder sektorale Systemgrenzen sind dabei nicht zulässig.

Für eine verantwortungsgerechte Bilanzierung von Emissionen, aus der sich wirksame Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele ableiten lassen, ist das Quellprinzip nicht ausreichend. Die Nichtberücksichtigung von Emissionen außerhalb des eigenen Bilanzraums kann zu Anreizen führen, die einer globalen Emissionsminderung entgegenstehen. Damit die Konsumententscheidungen aller Verbrauchsebenen (Einzelverbraucher, Sektor, Branche, Region, Nation, Kontinent) dazu beitragen, die Klimaziele zu erreichen, müssen auch die THG-Emissionen durch bilanzielle Zuordnung zur jeweils letztverbrauchenden Instanz eingepreist sein. Um sektorale oder nationale Maßnahmen zu skizzieren, die einen Beitrag zur Erreichung der übergeordneten nationalen, europäischen oder globalen Klimaziele leisten, ist eine Verursacherbilanzierung aussagekräftiger.

Für die dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität wird zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Studien und zur besseren Anschlussfähigkeit an die aktuellen gesellschaftlichen und politischen Ziel- und Maßnahmendiskussionen trotzdem das in der internationalen Treibhausgasberichterstattung übliche Quellprinzip verwendet. Zusätzlich wird für ausgewählte Bereiche eine verursacherorientierte Darstellung von Emissionen erarbeitet, um die Robustheit und Konsistenz der erarbeiteten Erkenntnisse und abgeleiteten Empfehlungen zu erhöhen. In der qualitativen Diskussion der sektorspezifischen Transformationspfade und möglicher Maßnahmen zur Emissionsminderung werden soweit möglich die zugehörigen Vorkettenemissionen berücksichtigt.

2

Sieben Impulse für Klimaneutralität

Impuls 1

Herausforderungen und Chancen kommunizieren: Ehrlich machen.

Impuls 2

Einzellösungen reichen nicht: Der ganzheitliche Blick.

Impuls 3

Entwicklung braucht zweierlei: Einen stabilen Rahmen und einen starken Stimulus.

Impuls 4

In Unsicherheit und Dynamik: Starke Governance.

Impuls 5

Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern.

Impuls 6

Mehr als Treibhausgasreduzierung: Strategie für CO₂-Senken.

Impuls 7

Notwendige Maßnahmen in vier Säulen.



Herausforderungen und Chancen kommunizieren: Ehrlich machen.

Das 20. Jahrhundert war von einem schier grenzenlosen Wachstum geprägt – bei Bevölkerung, Produktivität und Mobilität sowie damit verbunden bei Energie-, Naturverbrauch und Emissionen. Diese in der Menschheitsgeschichte beispiellose Entwicklung basierte auf der unbeschränkten Nutzung fossiler Ressourcen. Nun steht die Menschheit im 21. Jahrhundert vor der historisch bisher nicht gekannten Herausforderung, die gesamten Produktions- und Konsumprozesse so anzupassen, dass der erreichte Lebensstandard erhalten und gleichzeitig die natürlichen Ressourcen nicht weiter belastet und insbesondere die globale Erwärmung nicht weiter vorangetrieben wird.

Für die Erreichung der Klimaziele ist eine grundlegende Transformation des Energie- und Wirtschaftssystems notwendig. Dabei ist die Zeit in allen Klimamodellen ein kritischer Faktor: Je früher Treibhausgasreduktionen erfolgen, umso wirksamer sind sie. Nach der Konkretisierung des langfristigen politischen Ziels auf Klimaneutralität 2050 werden daher derzeit folgerichtig auch die kurz- und mittelfristigen politischen THG-Minderungsziele deutlich angehoben. Aber die Umstellung auf klimaneutrale Prozesse und Verhaltensweisen in allen Bereichen ist mit großen Herausforderungen verbunden. Bestehende Technologien und Prozesse müssen weiterentwickelt oder ersetzt, gewohnte Verhaltens- und Konsummuster müssen hinterfragt und geändert

werden. Technische Innovationen können als Beschleuniger wirken, aber die erforderlichen breiten Veränderungsprozesse können auch Widerstände erzeugen.

Die Politik sollte sich daher „ehrlich machen“ und den Bürgerinnen und Bürgern die bevorstehenden Herausforderungen früh, klar und umfassend benennen – mit Blick auf die zeitliche Dimension, auf notwendige Veränderungen im persönlichen Umfeld und die finanziellen Belastungen der Transformation.

Bürgerinnen und Bürger können von der Energiewende auch unmittelbar profitieren, sei es direkt durch finanzielle Beteiligung an Energieprojekten oder indirekt durch geringere Lärmbelastung, eine saubere Umwelt und ein stabiles Klima. Zugleich sind mit der Transformation unternehmerische und industriepolitische Chancen und mögliche Wohlfahrtsgewinne für alle verbunden. Die Erhöhung von Energie- und Rohstoffeffizienz kann die inländische Wertschöpfung verbessern. Eine größere Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffquellen macht den Aufbau neuer Wertschöpfungsnetzwerke möglich. Durch neue, globale Standards können die breite Einsetzbarkeit von Energiewendetechnologien sichergestellt und die industriepolitische Position Deutschlands als Leitanbieter für emissionsarme Produktions- und Anwendungstechnologien gestärkt werden.



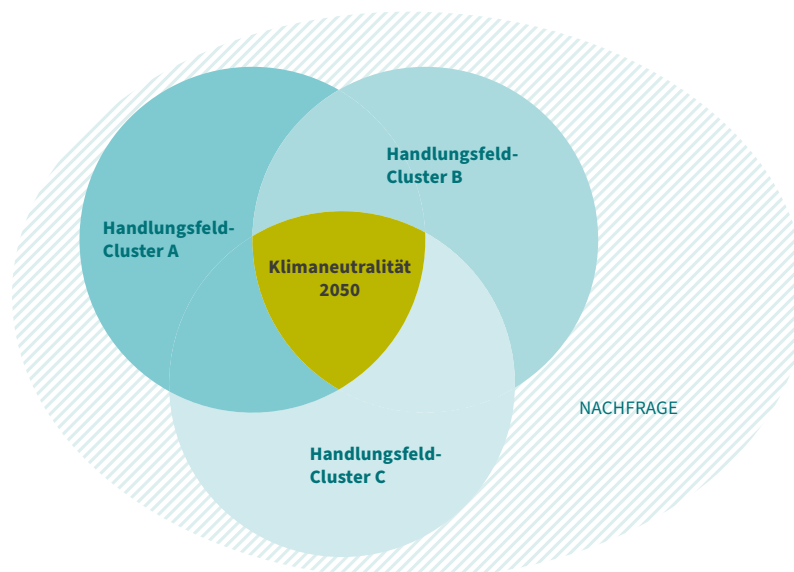
Einzellösungen reichen nicht: Der ganzheitliche Blick.

Klimaneutralität lässt sich nur mit einer ganzheitlichen Betrachtung und in einem integrierten Energie- und Wirtschaftssystem erreichen. In der dena-Leitstudie werden dazu sektorspezifische Handlungsfeldcluster identifiziert und sektorübergreifende Bedarfe an klimaneutralen Energieträgern – erneuerbarer Strom sowie klimaneutrale gasförmige und flüssige Energieträger und Rohstoffe – herausgearbeitet.

Eine der wesentlichen Erkenntnisse aus den Untersuchungen der Gutachter sowie aus den Fachdiskussionen war, dass sich Klimaneutralität in den Sektoren jeweils nur erreichen lässt, wenn es Veränderungen in allen Handlungsfeldclustern gibt. Zwar kann man die Schwerpunkte der Maßnahmen zwischen Clustern verschieben – so kann beispielsweise Emissionsminderung durch eine Reduzierung des Endenergiebedarfs oder durch Umstellung auf klimaneutrale Energieträger erreicht werden. Aber kein Sektor erzielt Klimaneutralität, wenn Transformationspfade nur in einem einzelnen Handlungsfeldcluster angepasst werden. Politische Maßnahmen müssen daher alle Cluster in den Blick nehmen.

Wesentlicher Treiber für Energiebedarf und THG-Emissionen ist in allen Verbrauchssektoren die Nachfrage. Maßnahmen zur Transformation eines Sektors müssen immer durch nachfrageseitige Maßnahmen begleitet werden und auch die Entwicklung von Leitmärkten und die Schaffung von Nachfrage für klimaneutrale Produkte umfassen. Grundsätzlich sollten klimaneutral erzeugte Rohstoffe, Energieträger oder Güter für die endverbrauchenden Akteure auch wirtschaftlich vorteilhaft sein: Die Verwendung eines klimaneutralen Produkts muss für die Anwenderin kostengünstiger sein als eine entsprechende klimaschädliche Alternative. Nicht zuletzt kann auch eine Änderung des Verbraucherverhaltens und des Konsums (Betonung von Langlebigkeit, qualitativem Wachstum, Suffizienz, Verursachergerechtigkeit) die Nachfrageseite positiv in Richtung Klimaneutralität lenken. Die öffentliche Hand hat hier wichtige Vorbildfunktion, auf Konsumentenebene sollte über Anreize nachgedacht werden.

Ganzheitlichkeit ist zudem für die sektorübergreifende Weiterentwicklung des Energiesystems wichtig. Infrastrukturen sollten in einer integrierten Planung und Entwicklung von Strom-, Methan- und Wasserstoffnetzen zusammen weiterentwickelt werden, die Digitalisierung kann zur sektorübergreifenden Koordination und Optimierung benutzt und neue Wertschöpfungsnetzwerke können entwickelt werden.





Entwicklung braucht zweierlei: Einen stabilen Rahmen und einen starken Stimulus.

Ein stabiler regulatorischer Rahmen muss ein attraktives Marktumfeld für klimaneutrale Lösungen, Produkte und Prozesse schaffen, in dem diese bei vergleichbaren übrigen Eigenschaften die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit gegenüber emissionsbehafteten Alternativen erhalten. Zentrale Stellschraube ist die Weiterentwicklung des Energiemarkt-designs. Zur Schaffung eines „Level Playing Fields“ für verschiedene Technologien wie Sektoren gehört die Prüfung bestehender Instrumente und Subventionen für emissionsbehaftete Optionen.

Prozess- oder Technologieentscheidungen sind oft mit erheblichen Investitionen und langen Amortisationszeiten verbunden. Langfristige Planungssicherheit für den Marktrahmen wie für ordnungsrechtliche Vorgaben sind hier besonders wichtig. Dabei spielt bei langlebigen Gütern wie Produktionsanlagen oder Gebäudetechnik die Erwartung einer gewissen Preisentwicklung, etwa der nationalen CO₂-Bepreisung, eine ähnlich große Rolle wie die unmittelbare Höhe des Preises.

Für im internationalen Wettbewerb stehende Industriebranchen bedeutet ein langfristig stabiler regulatorischer Rahmen zudem die Notwendigkeit für einen die Wettbewerbsfähigkeit erhaltenden Carbon-Leakage-Schutz. Hierzu könnte beispielsweise eine internationale CO₂-Bepreisung – innerhalb der G20 oder einer Gruppe von Vorreiterstaaten – oder ein CO₂-Grenzausgleichsmechanismus beitragen.

Der stabile Rahmen ermöglicht die langfristige, schrittweise Erhöhung der Anteile von emissionsarmen gegenüber emissionsintensiven Optionen innerhalb eines konsistenten Transformationspfades. So müsste beispielsweise ein stabiler Rahmen sicherstellen, dass in die Bereitstellung von klimaneutral erzeugten flüssigen und gasförmigen Energieträgern und Kraftstoffen investiert wird: Investitionen auf Erzeugungsseite könnten marktgetrieben erfolgen, wenn die Erzeugungskosten langfristig planbar wettbewerbsfähig gegenüber dem Einsatz emissionsbehafteter Rohstoffe oder Prozesse wären. Dies wäre beispielsweise durch niedrige Bezugskosten von erneuerbarem Strom zur Erzeugung synthetischer Energieträger gegeben und wenn eine dauerhafte Nachfrage nach den erneuerbaren Energieträgern erwartet werden kann.

Die Umstellung auf klimaneutrale Optionen muss auch in den Bereichen möglich sein, wo dies nicht schrittweise erfolgen kann oder im Rahmen der üblichen Reinvestitionen in technische Geräte und Anlagen nicht wirtschaftlich ist. Dies kann der Fall sein, wenn die klimaneutralen Technologien oder Anwendungen noch keine Marktreife erreicht haben oder größere infrastrukturelle Voraussetzungen zu schaffen sind. Hier kann nur ein starker Stimulus die notwendige Disruption zu einer Systemveränderung herbeiführen. In bestimmten Fällen könnten auch strategische Investitionen des Staates zur Risikoreduzierung beitragen, damit klimaneutrale Prozesse und Technologien die Marktgängigkeit erreichen.

Der starke Stimulus ermöglicht den sprunghaften Wechsel auf einen alternativen Transformationspfad, der auf anderen, klimafreundlicheren Technologien, Prozessen und Anwendungen basiert. So wäre im bestehenden Markt- und Wettbewerbsumfeld beispielsweise die Umstellung auf neue, emissionsarme Erzeugungsprozesse in der Stahlindustrie nur durch einen begleitenden Stimulus möglich, etwa über das Instrument der Differenzverträge (Carbon Contracts for Difference, CCfD). Innerhalb des so geschaffenen neuen Transformationspfades muss dann wiederum ein stabiler regulatorischer Rahmen die weitere Marktentwicklung der klimaneutralen Angebote ermöglichen.



In Unsicherheit und Dynamik: Starke Governance.

Klimaneutralität braucht eine ganzheitliche politische Betrachtung, eine Art politischer Sektorkopplung. Und zugleich eine starke Governance, um die mit der Transformation verbundenen Unsicherheiten zu reduzieren. Für viele Investitionen ist ein langfristig stabiler regulatorischer Rahmen notwendige Voraussetzung, gleichzeitig müssen die Wirkungen von Maßnahmen und Instrumenten laufend evaluiert und der Instrumentenmix an die Zielerreichung angepasst werden. Dabei muss die Politik in der Lage sein, dynamisch und flexibel auf Veränderungen zu reagieren.

Politik muss sich auch besser koordinieren, um die Governance-Herausforderungen der Klimaneutralität zu meistern. Das betrifft beispielsweise die Zusammenarbeit der verschiedenen Bundesressorts. So könnte die sektorspezifische Erarbeitung von Sofortmaßnahmen im Monitoringprozess zum Klimaschutzgesetz für Konflikte sorgen. Eine zentrale Koordinierungsstelle zur Flankierung des Klimakabinetts könnte Überlegungen zu neuen Klimaschutzmaßnahmen frühzeitig sichtbar machen und Synergien zwischen den Bundesressorts schaffen. Die Förderung in einem Sektor könnte so auch zur Zielerreichung in einem anderen Sektor dienen. Es ließe sich beispielsweise prüfen, wie eine Verknüpfung der Förderung der Elektromobilität an die Verfügbarmachung von Batteriespeichern zur Hebung von Flexibilitätspotenzialen im Stromsystem beiträgt. Eine frühzeitige Koordinierung von Bund, Ländern und Kommunen könnte den Wettlauf um EU-Förderungen vermeiden helfen und eine bessere Abstimmung beim Ausbau erneuerbarer Energien und bei der regionalen Flächennutzung ermöglichen. Auch die Infrastrukturplanung und -entwicklung erfordert eine enge Abstimmung über all diese Ebenen.

Starke Governance beinhaltet die Konsistenz politischer Zielsetzungen und Maßnahmen sowie umfassende Kommunikation dazu. Dies schafft Vertrauen und kann die Akzeptanz für die Energiewende steigern. Eine starke Governance braucht auch ein gutes Erwartungsmanagement. Ein konkretes Beispiel hierfür ist das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG). Für die Non-ETS-CO₂-Bepreisung sollten hier nicht nur das Niveau und die Anstiegsrate für den CO₂-Preispfad bis 2026 festgelegt sein, sondern eine längere regulatorische Perspektive gegeben werden. Der mögliche Systemwechsel hin zum europäischen Emissionshandel ist ein (weiterer) Unsicherheitsfaktor. Wichtig ist ein konkreter Governance-Mechanismus zur Anpassung des Instruments, sobald es Klarheit über die EU-Instrumentenarchitektur und deren zeitlichen Fahrplan bis 2030 gibt. Dazu gehören auch klare institutionelle Prozesse, um den Unternehmen und Investoren sowie Bürgerinnen und Bürgern den Umgang mit Unsicherheit zu erleichtern und sie frühzeitig in den Diskursprozess einzubinden.



Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern.

Die gesellschaftlichen Herausforderungen der Energiewende begleiten diese Transformation fast von Beginn an. Fragen der (mangelnden) Akzeptanz sind häufig mit großen Energieinfrastrukturprojekten verbunden, beispielsweise dem Bau von Leitungstrassen oder Windkraftanlagen an Land. Es ist anzunehmen, dass die Herausforderungen auf dem Weg zu Klimaneutralität weitaus größer werden. Die Menschen werden den Wandel deutlich häufiger in ihrem privaten Lebensraum und ihrem unmittelbaren Wohn- und Arbeitsumfeld erleben. Dabei werden viele Menschen positiv auf die Veränderungen reagieren und die langfristigen Vorteile sehen. Andere werden sie eher als Nachteil oder gar als Bedrohung empfinden.

Der Weg zu Klimaneutralität ist nicht nur eine große Herausforderung für die Wirtschaft, sondern für alle Bürgerinnen und Bürger. Umso wichtiger ist es, die Menschen aktiv einzubinden, ihnen Vorteile wie Herausforderungen transparent zu kommunizieren, individuelle Gestaltungsmöglichkeiten und eine aktive Teilhabe zu ermöglichen – durch direkte ökonomische ebenso wie nicht ökonomische Partizipation. Bürgerinnen und Bürger können in vielen verschiedenen Rollen an der Transformation teilhaben – als Bezieher von Energie oder Konsument von energieeffizienten Produkten, mit Investitionen in „grüne“ Anlagen, als Teil lokaler Gemeinschaften oder bei der Mitgestaltung neuer Wohn- und Versorgungskonzepte für Quartiere.

Wichtig ist, nicht nur ein fernes Ziel zu definieren, sondern auch den Weg dorthin herauszuarbeiten. Das große Ziel sollte auf kleinere, nachvollziehbare Schritte heruntergebrochen und mit konkreten Antworten auf praktische Alltagsfragen verbunden werden: Was wollen wir bis zum Jahr 2025 erreicht haben, was bis 2030 und bis 2035? Was bedeutet das für die Besitzerin einer 15 Jahre alten Heizungsanlage? Auf welche beruflichen Veränderungen muss sich ein 50-jähriger Arbeiter einer bestimmten Industriebranche einstellen? Welche Berufswahl empfiehlt man einer 15-jährigen Jugendlichen?

Die Kommunikation zur Transformation darf keine Pseudo-sicherheiten vermitteln. Sie sollte vielmehr Transparenz schaffen über die positiven und negativen Wirkungen auf die natürlichen Systeme, die das eigene Verhalten hat. In der Bewertung und der Kommunikation von sektorspezifischen Maßnahmen und Erfolgen sollte stärker das Verursacherprinzip im Vordergrund stehen, um den unmittelbaren Beitrag zur Erreichung der Klimaziele sichtbar und damit nachvollziehbar zu machen. Dazu muss das Bewusstsein für den positiven Wertbeitrag von klimaneutral bereitgestellten Energieträgern, Rohstoffen, Gütern und Lebensmitteln gestärkt werden.



Mehr als Treibhausgasminderung: Strategie für CO₂-Senken.

Um die im Klimaschutzgesetz festgeschriebene „Treibhausgasneutralität bis 2050“ zu erreichen, müssen die menschenverursachten Emissionen weitgehend reduziert werden. Aus heutiger Perspektive werden aber auch zukünftig noch anthropogene THG-Emissionen beispielsweise aus der Landwirtschaft und aus Landnutzungsänderungen entstehen. Auch für einzelne Industrieprozesse sind aus heutiger Perspektive keine Technologien absehbar, bei der die benötigten Produkte emissionsfrei erzeugt werden könnten. Hinzu kommt, dass Deutschland als hoch entwickeltes Industrieland, welches in der Vergangenheit erhebliche Emissionen verursacht hat, im internationalen Ländervergleich mehr zur Erreichung der globalen Klimaziele beitragen muss als nur eine Reduzierung von nationalen Emissionen. Nur über Minderungs- und Vermeidungsstrategien allein lässt sich das Ziel „Treibhausgasneutralität bis 2050“ also nicht erreichen.

Es braucht in allen denkbaren Transformationspfaden ergänzende Optionen, um die Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre zu erhöhen bzw. aktiv vorzunehmen. Zur Erreichung der Klimaziele werden nachhaltige Treibhausgassenken benötigt. Neben natürlichen CO₂-Senken (z. B. Moore, Böden, Wälder und Meere) sind dies technische Methoden zur Entnahme von atmosphärischem Kohlendioxid (Carbon Dioxide Removal, CDR). Hierfür ist ein Entwicklungsschub bei Negativemissionstechnologien (Negative Emission Technologies, NET) notwendig, eingebettet in eine Strategie und eine zu entwickelnde Roadmap für Senken insgesamt.

Die Entwicklung von NET ist zentral, da Klimaneutralität nicht nur bezogen auf ein Jahresziel betrachtet werden darf, sondern auf die Gesamtemissionsmenge bzw. das Emissionsbudget. Ein frühzeitiger Einsatz von NET kann wertvolle Entwicklungszeit für weitere, langwierige Maßnahmen schaffen. Das erste Forschungsprogramm hierzu ist mit der BMBF/BMU-Förderung für Methoden zur Entnahme von atmosphärischem Kohlendioxid gestartet. Ergänzend könnte ein prestigeträchtiger, hoch dotierter Wettbewerb auch kurzfristig konkrete Meilensteine mit signifikanten THG-Reduktionen erbringen.⁶

Neben Technologien zur aktiven Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre wird voraussichtlich auch die Abscheidung von CO₂ aus bestehenden Punktquellen (Carbon Capture) eine wichtige Rolle spielen. Denn aus heutiger technologischer Perspektive wird es auch zukünftig Industrieprozesse mit direkten Prozess-emissionen geben (z. B. in der Zementindustrie). Die Entnahme von CO₂ aus einem Luftstrom mit relativ hoher CO₂-Konzentration ist zudem energieeffizienter als die Entnahme aus der Atmosphäre. Zentrale Voraussetzung ist eine gesellschaftliche Diskussion zur Klärung der zukünftigen Rolle von CCU und CCS. Daneben werden einheitliche internationale Lösungen zur Zertifizierung von Negativemissionen benötigt.

⁶ Vorbild für so einen Technologiepreis könnten etwa die in den vergangenen drei Jahrzehnten von US-amerikanischen Unternehmen und Investoren ausgelobten Wettbewerbe zur Förderung der privaten bemannten Raumfahrt sein, die zahlreiche Entwicklungen von Technologien und Unternehmen anreizen konnten. Der „Ansari X-Prize“ fand 1996 bis 2004 statt, es wurde ein Preisgeld in Höhe von 10 Mio. US-Dollar ausgelobt und ausgezahlt. Der „America's Space Prize“ fand 2004 bis 2010 statt. In diesem Wettbewerb wurden für verschiedene Ziele 50 bis 800 Mio. US-Dollar Preisgeld ausgelobt, allerdings konnte kein Team die Anforderungen erfüllen, sodass diese Preise nicht ausgezahlt wurden. Der „Google Lunar X-Prize“ fand von 2007 bis 2018 statt; hier waren 40 Mio. US-Dollar Preisgeld ausgelobt, davon wurden rund 6 Mio. Dollar für die Erreichung von Zwischenzielen ausgezahlt.



Notwendige Maßnahmen in vier Säulen.

In der ersten dena-Leitstudie wurde gezeigt, dass es für eine erfolgreiche Energiewende eine Drei-Säulen-Strategie braucht: die Erhöhung der Energieeffizienz, die stärkere unmittelbare Nutzung erneuerbarer Primärenergie (Erneuerbaren-Strom und biogene Energieträger) sowie die Bereitstellung erneuerbar erzeugter gasförmiger und flüssiger Energieträger und Rohstoffe. Zur Erreichung von Klimaneutralität muss diese Strategie um eine vierte Säule ergänzt werden: die aktive CO₂-Minderung aus Punktquellen sowie aus der Atmosphäre. Um Klimaneutralität zu erreichen, müssen die Umsetzungsgeschwindigkeiten in allen Säulen deutlich erhöht und No-Regret-Maßnahmen⁷ konsequent so rasch wie möglich vorangetrieben werden.

Die Erhöhung der Energieeffizienz in allen Verbrauchssektoren kann nach Analyse zahlreicher Studien und Szenarios als No-Regret-Handlungsfeldcluster gelten. Die Sektoren verfügen über unterschiedliche Potenziale und in einigen Bereichen sind bereits umfangreiche Maßnahmen ergriffen worden. Auch der weitere Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und die möglichst weitgehende direktelektrische Nutzung sind nach heutiger Kenntnis für alle Sektoren zur Erreichung der Klimaziele unbedingt erforderlich. Um beides rasch weiter zu erhöhen, sollten neue Technologien und Anwendungsgebiete sowie neue Prozesse und administrative oder regulatorische Ansätze gestärkt werden.

Neben Strom werden auch zukünftig gasförmige und flüssige Energieträger und Rohstoffe benötigt. Ergänzend zur optimierten Nutzung biogener Energieträger braucht es daher weiteres Engagement für die nationale und internationale Marktentwicklung von Powerfuels. Die Produktion an inner- und außereuropäischen Standorten mit hohen Potenzialen für erneuerbare Energien führt zu Kostenvorteilen. Mit dem Export der notwendigen Technologien sind zudem industriepolitische Chancen verbunden und auch die Diversifizierung der Importbeziehungen sowie eine Erhöhung der Versorgungssicherheit sind volkswirtschaftlich vorteilhaft.⁸

Als weitere Maßnahmen sind neben der Treibhausgasminderung die CO₂-Abscheidung sowie die Entnahme aus der Atmosphäre notwendig. Hierzu sollte eine Strategie zum Aufbau von CCU/CCS und NET entwickelt werden, um Kostendegressionen zu erreichen und bei dieser Technologie führend zu sein. Der frühzeitige Einsatz von CDR kann zudem Zielverfehlungen anderer Maßnahmen abschwächen.

Neben diesen übergeordneten No-Regret-Maßnahmen gibt es zahlreiche sektorspezifische Maßnahmen zur Erreichung von Klimaneutralität, deren Werthaltigkeit in vielen Szenarios erhalten bleibt. Einige davon werden in den folgenden Kapiteln 3 und 4 aufgeführt.⁹ Zudem existieren nicht für alle bestehenden Herausforderungen passende technische Lösungen, daher müssen neben technischen Innovationen auch neue prozedurale Ansätze entwickelt werden.

⁷ Die Werthaltigkeit vieler Maßnahmen ist von spezifischen Annahmen und Umgebungsbedingungen abhängig, etwa der Nachfrage nach bestimmten Anwendungen oder Technologien, der Erreichung vorheriger Zwischenziele oder der weiteren Klimaveränderung. No-Regret-Maßnahmen erreichen die gewünschte Wirkung dagegen nicht nur in einem bestimmten Szenario, sondern erhalten ihren ökologischen, ökonomischen oder sozialen Wert auch unter veränderten Bedingungen.

⁸ Der Import von Powerfuels ist insbesondere für die Substitution von fossilen Rohstoffen wie fossilem Methan oder Naphtha relativ unstrittig. Trotzdem sollten hier auch die mit veränderten überregionalen Wertschöpfungsnetzwerken verbundenen industriepolitischen Risiken untersucht werden.

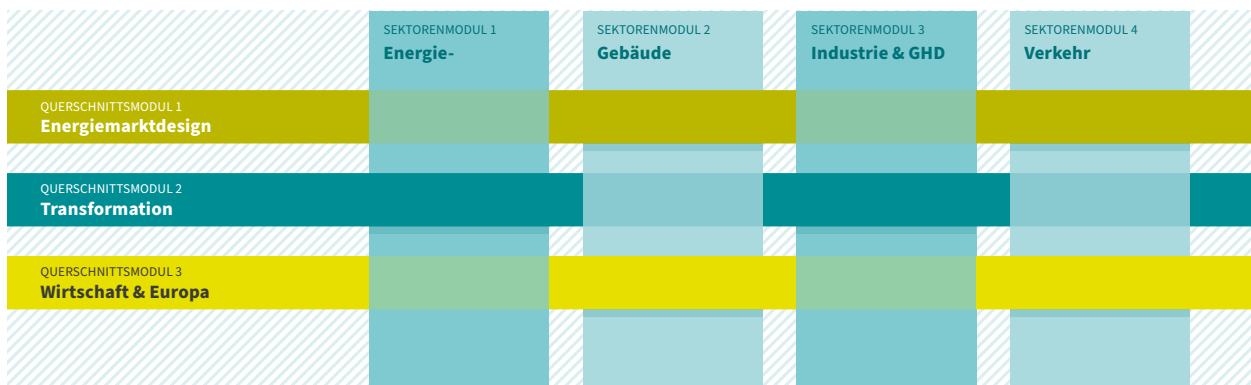
⁹ Beispielsweise kann eine Umstellung der Stahlerzeugung auf das Direktreduktionsverfahren schon heute erfolgen, auch wenn noch keine ausreichenden Mengen erneuerbar erzeugten Wasserstoffs verfügbar sind, da im DRI-Verfahren beim Einsatz von Methan bereits eine erhebliche THG-Minderung gegenüber dem heute üblichen Kohlekoks-basierten Verfahren erfolgt. Auch der Markthochlauf von synthetischen flüssigen Energieträgern im Luft- und Schiffsverkehr kann als No-Regret-Maßnahme gelten. Ein Beispiel für eine Prozessinnovation ist das serielle Sanieren im Gebäudebereich.

3

Blick auf die Sektoren

Die dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität zeichnet aus, dass sie die Expertise und Erfahrungen der projektbeteiligten Unternehmen und Institutionen in vier Sektormodulen einbezieht. Zusammen mit der Erarbeitung stimmiger sektorspezifischer Parametersets bilden die qualitativen Diskussionen von Leitfragen in diesem Kreis eine wichtige Grundlage der Studienarbeit.

Im Folgenden werden erste Erkenntnisse aus den Diskussionen sowie die Resultate der ersten Modellierungen beschrieben. Diese dienen als Basis für die weiteren Diskussionen mit den Projektbeteiligten und externen Stakeholdern sowie für die Gestaltung der Studienarbeit in Phase 2.



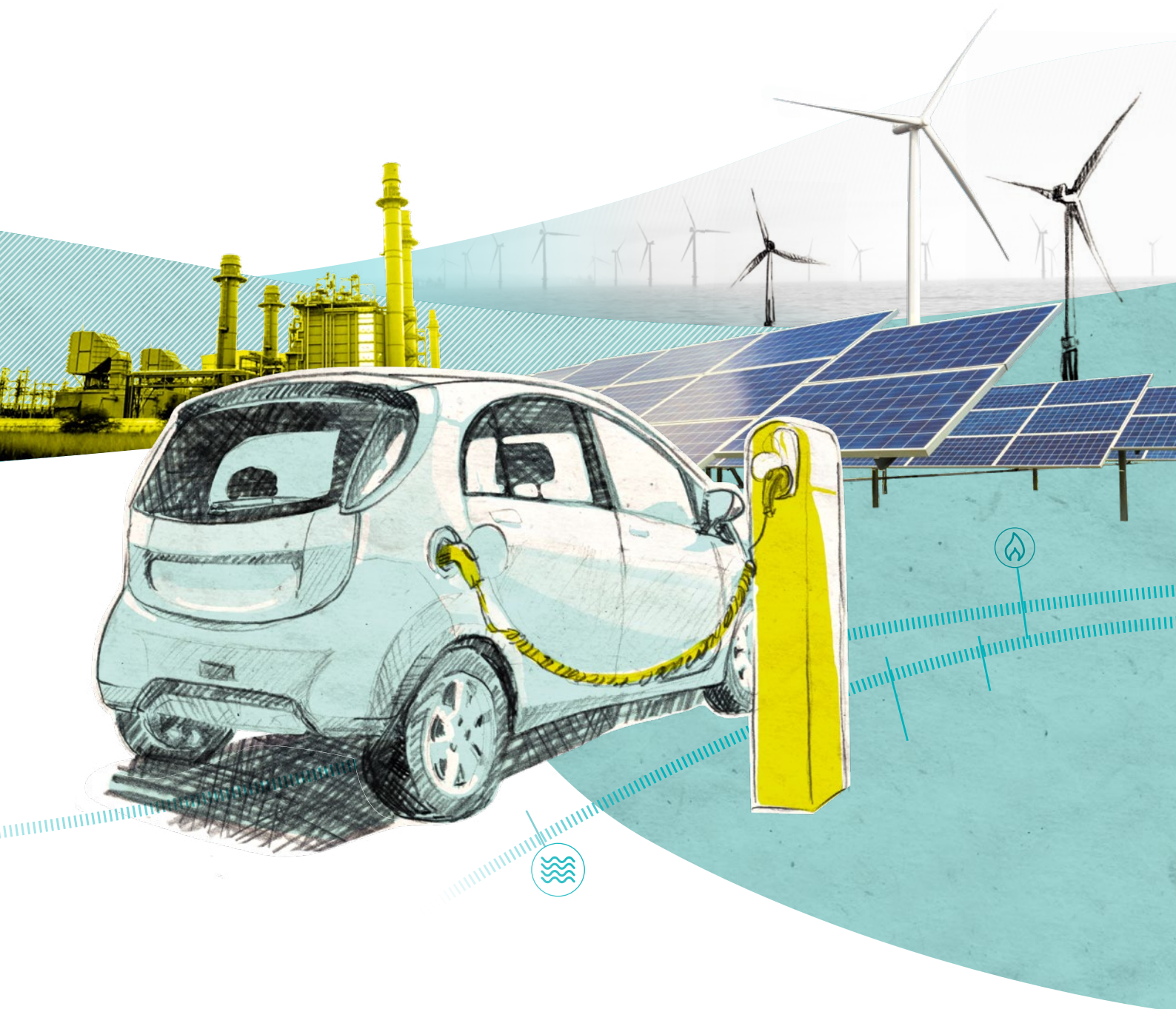
Aus einer Diskussion im Gebäudemodul entwickelten die Fachgutachter eine quantitative Auswertung als „Gedankenexperiment“: Ausgangspunkt war die Frage, ob Klimaneutralität in diesem Verbrauchssektor mit der Fokussierung auf ein einzelnes Handlungsfeldcluster erreicht werden könnte. Das Gedankenexperiment umfasste eine Hochrechnung, in der Gebäudehülle und technische Anlagen unverändert blieben und nur die CO₂-Bilanzen der eingesetzten Energieträger in Richtung Nullemissionen entwickelt würden; der Endenergiebedarf im Gebäudesektor läge 2050 dann fast unverändert auf heutigem Niveau. Demgegenüber stand eine Rechnung, in der Gebäudehülle und Anlagentechnik mit maximaler Anstrengung modernisiert und auf Energieeffizienz ausgerichtet würden, 2050 aber weiterhin Energieträger mit den heutigen CO₂-Emissionsfaktoren zum Einsatz kämen; der Endenergiebedarf könnte dann zwar bis 2050 auf rund ein Drittel des heutigen Niveaus gesenkt werden, es verblieben aber noch rund 55 Millionen t CO₂-Emissionen im Gebäudesektor.

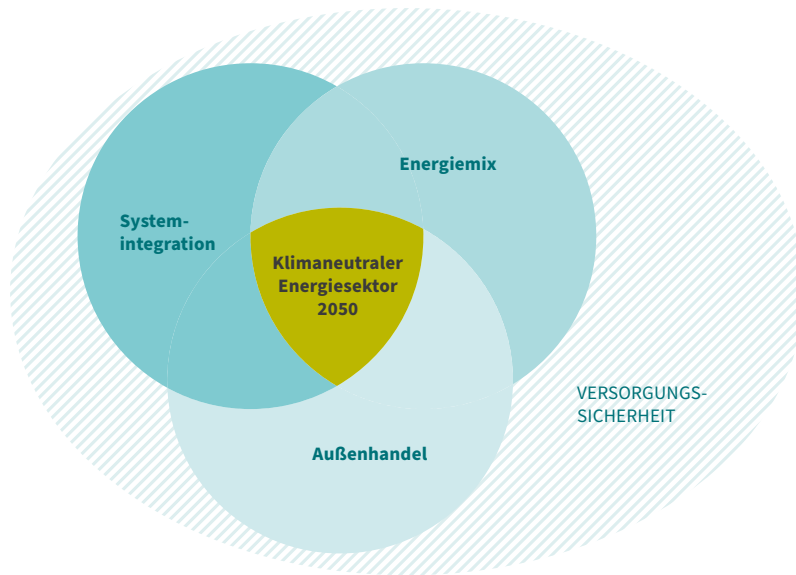
Aus diesem Gedankenexperiment entstand eine Diskussion über mögliche Handlungsfelder und Handlungsfeldcluster zur Erreichung von Klimaneutralität. Die Erkenntnis, dass Klimaneutralität nur durch Anstrengungen in mehreren Handlungsfeldern zu erreichen ist, wurde auch auf die anderen Sektoren übertragen und bildete die Grundlage für den zweiten Impuls dieses Zwischenberichts (siehe Kapitel 2).

Die dargestellten Erkenntnisse in den Sektoren werden jeweils anhand von Zielbildern strukturiert und die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Transformation durch nachfrageseitige Betrachtungen ergänzt. Im Industriesektor ist der Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit ein weiterer maßgeblicher Faktor.

3.1

Die Energie- wirtschaft





Für das Erreichen von Klimaneutralität ist ein struktureller Wandel erforderlich: Fossile Energieträger müssen durch klimaneutrale ersetzt werden. Die verschiedenen Energiebedarfe von Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Haushalten und Verkehr müssen im Zuge dieses Wandels aber weiter zuverlässig gedeckt werden. Für die Energiepolitik ist deshalb das klassische Zieldreieck aus Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit weiterhin entscheidend, ergänzt um die Perspektive der Sozialverträglichkeit.

In diesem Sektormodul werden Wege zur Klimaneutralität im Energiesektor entwickelt und analysiert. Von Bedeutung sind dabei drei Handlungsfeldcluster, die bei der Transformation ineinandergreifen müssen:

- **Energimix:** die Bereitstellung klimaneutraler Energieträger (bzw. in einer Übergangsphase auch Brenn- und Kraftstoffe mit geringeren THG-Emissionen).
- **Außenhandel:** Zur Bereitstellung dieser Energieträger müssen nationale Potenziale und Energieimporte genutzt werden.
- **Systemintegration:** Klimaneutrale Energieträger (Erneuerbaren-Strom, Powerfuels, Bioenergie) müssen durch den Aus- und Umbau von Infrastrukturen¹⁰ und die sektorübergreifende Nutzung von Flexibilität in das Gesamtsystem integriert werden.

Diese drei Handlungsfeldcluster sind Gegenstand dieses Abschnitts. Sie sind für das Gelingen der Transformation und für die Beherrschbarkeit der damit verbundenen Kosten entscheidend. Gleichzeitig muss die Versorgungssicherheit sektor- und energieträgerübergreifend auf hohem Niveau erhalten bleiben.

Als Orientierungspunkte dienen dabei die heutige Zuverlässigkeit und Sicherheit der Versorgung sowie die durch Politik und energiewirtschaftliche Akteure festgeschriebenen Grenzwerte.¹¹

Generell lässt sich festhalten, dass die ambitionierteren Klimaziele der Europäischen Union bis 2030¹² den Druck auf die Transformation der Energiebereitstellung im Vergleich zu den derzeit bestehenden nationalen Sektorzielen kurzfristig deutlich erhöhen werden. Eine Verschärfung der Bedingungen des europäischen Emissionshandels ETS dürfte eine der zentralen Maßnahmen sein, um die neuen Ziele auf europäischer Ebene zu erreichen. Neben einer Verknappung europäischer Emissionsrechte sind gesteigerte Anforderungen in den Verbrauchssektoren und an die Sektorenkopplung zu erwarten. Dies wird tendenziell zu einem Anstieg der Stromnachfrage führen.

Den bisherigen Erkenntnissen der dena-Leitstudie sowie weiteren aktuellen Veröffentlichungen¹³ zufolge scheint ein gegenüber dem derzeit geltenden Zeitrahmen beschleunigter, marktgetriebener Kohleausstieg ein denkbare Szenario zu sein. Der Zertifikatemarkt würde hierbei das Tempo vorgeben; Energiewirtschaft und Politik sollten die möglichen Konsequenzen dieser Entwicklung diskutieren. Gleichzeitig bieten weder der aktuelle regulatorische Rahmen noch die geltenden Marktregeln die nötigen Anreize und Verpflichtungen (z. B. technische Anschlussrichtlinien für den Systembetrieb), um die erforderlichen Investitionen in alternative Technologien für Erzeugung¹⁴ (inklusive KWK), Energiespeicherung und die Aktivierung lastseitiger Flexibilitäten auszulösen, die in Zukunft für eine zuverlässige Deckung der Stromnachfrage notwendig sind. Die erforderlichen Instrumente sind zum Teil Gegenstand der Diskussionen im Querschnittsmodul Energiemarktdesign (siehe Kapitel 4.1).

¹⁰ Infrastrukturen im Sinne dieses Dokuments meinen grundsätzlich sowohl leitungsgebundene als auch nicht leitungsgebundene Infrastrukturen.

¹¹ z. B. eine maximale Loss of Load Expectation von fünf Stunden bei der Stromversorgung.

¹² Finale Zahlen lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor. Im Rahmen der Trilogverhandlungen zwischen europäischem Parlament, Rat der EU und europäischer Kommission wird über eine Zielverschärfung auf 55–60 % Emissionsminderung bis 2030 gegenüber einem bisherigen Ziel von 40 % diskutiert.

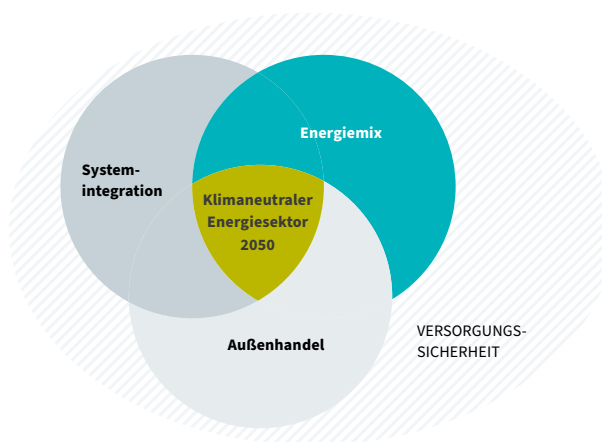
¹³ z. B.: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020, „Klimaneutrales Deutschland“; Die 4 deutschen ÜNB, 2021, „Szenariorahmen für den NEP 2035“; <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2035-2021> (18.03.2021); BMWi, 2019, „Monitoringbericht des BMWi zum Monitoring der Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität“, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-versorgungssicherheit-2019.html> (18.03.2021).

¹⁴ Im Rahmen der Studie wird angenommen, dass Erdgas schrittweise durch klimaneutrale Alternativen ersetzt wird. Für zugebaute Gaskraftwerke ab 2030 wird eine Zulässigkeit der direkten Verbrennung von 100 Prozent Wasserstoff angenommen.

Mit Blick auf die Schlüsselstellung klimaneutraler Energieträger zeigt sich auch, dass ein schnellerer Markthochlauf für Wasserstoff und dessen Folgeprodukte bis 2030 und danach forciert werden sollte, um die Produktion nennenswerter Mengen und die Entwicklungsdynamik hin zur Klimaneutralität bei der Energiebereitstellung insgesamt zu beschleunigen.

3.1.1 Energiemix

Ausbauziele für erneuerbare Energien anheben und durch zusätzliche Maßnahmen flankieren



Die Ausweitung der direkten Nutzung erneuerbarer Energieträger wie Erneuerbaren-Strom und Bioenergie ist für alle Sektoren eine Grundvoraussetzung zur Erreichung von Klimaneutralität. Um die politischen Ziele bis 2030 zu erreichen, ist eine deutliche Beschleunigung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung erforderlich.

Ein Anteil von 65 Prozent erneuerbaren Energien am Stromverbrauch lässt sich aus heutiger Sicht mit den geplanten Ausbauzielen bei einer sich gleichzeitig abzeichnenden Erhöhung der Strombedarfe nicht erreichen. Allein um die Ziele der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) zu erreichen, müsste weitere Erzeugungsleistung aus erneuerbaren Energien über das 65-Prozent-Ziel hinaus installiert werden. Auch die erwarteten Zielverschärfungen der EU mit einer Anhebung von 40 auf mindestens 55 Prozent THG-Reduktion bis 2030 machen eine Anhebung der deutschen Klimaziele nötig. Hierdurch erhöht sich ebenfalls der Bedarf an erneuerbaren Energien über das 65-Prozent-Ziel hinaus.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Die Ausbauziele für erneuerbare Energien müssen über die aktuellen Pläne für das EEG 2021 hinaus deutlich angehoben werden, allein um die aktuellen nationalen und europäischen Klimaziele bis 2030 zu erreichen. Um ambitioniertere Ziele zu erreichen, müssten entsprechend zusätzliche Maßnahmen hinterlegt werden.

Neben der regulierten Vergütung nach EEG muss es verbesserte marktliche Anreize für erneuerbare Energien geben. So können langfristige Stromlieferverträge (Power Purchase Agreements, PPAs) zusätzliche Investitionen in Erzeugungsanlagen anregen und die Wirtschaftlichkeit von Repowering wie des Weiterbetriebs von Altanlagen verbessern. Hierfür müssten aktuelle Hemmnisse (z. B. Vereinbarkeit mit Stromkompensation, Zugang zu Herkunftsnachweisen für Kleinanlagen) beseitigt und zusätzliche Anreize (z. B. Privilegierung der Photovoltaik im Außenbereich) geschaffen werden.

Die Stärkung von erneuerbarem Eigenverbrauch, Mieterstrom und Erneuerbare-Energien-Gemeinschaften kann privates Kapital mobilisieren und zur weiteren Verbesserung der lokalen Akzeptanz beitragen. Darüber hinaus können so Teile des großen Potenzials der Photovoltaik ohne zusätzlichen Flächenverbrauch gehoben werden.

Markt- und Infrastrukturentwicklung für klimaneutrale Energieträger parallel vorantreiben

Nicht zuletzt in der Nationalen Wasserstoffstrategie wurde der eindeutige politische Wille formuliert, aus Erneuerbaren-Strom emissionsfrei erzeugten „grünen“ Wasserstoff und daraus synthetisch hergestellte Energieträger und Rohstoffe als Kernelemente der Energiewende zu etablieren und die hierfür erforderlichen Erzeugungs-, Transport- und Nutzungsstrukturen aufzubauen. Mit Blick auf den zwischenzeitlichen Transformationsprozess während des Markthochlaufs und der Entstehung bzw. Ertüchtigung erforderlicher Infrastrukturen können weitere Quellen einen Beitrag zur Nachfragedeckung leisten, z. B. die Produktion von Wasserstoff aus Erdgas, bei der die entstehenden CO₂-Anteile abgeschieden werden (CCS). Bei den möglichen Transformationspfaden sollten neben wirtschaftlichen Faktoren immer die Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen der gesamten Energieversorgung – im In- und Ausland – und das langfristige Ziel einer klimaneutralen Wasserstoffproduktion betrachtet werden.

Für Bereiche wie den Flug- und Schiffsverkehr und Teile der Grundstoffindustrie besteht innerhalb des Partnerkreises der dena-Leitstudie große Einigkeit, dass für die Erreichung von Klimaneutralität kein Weg an Wasserstoff und dessen Folgeprodukten vorbeiführt. Auch für andere Bereiche wie die Gebäudewärme oder die individuelle Mobilität zeichnet sich ab, dass Powerfuels einen Beitrag leisten können.

Aktuell sind synthetisch erzeugter „grüner“ Wasserstoff und dessen Folgeprodukte nur in wenigen Nischenanwendungen wettbewerbsfähig. Eine Ursache hierfür ist, dass bislang nur verhältnismäßig geringe Marktvolumina nachgefragt werden, wodurch technologische Weiterentwicklungen sowie eine erwartete Kostendegression (z. B. Großserienfertigung der Elektrolyseure) nur langsam erfolgen. Die Nationale Wasserstoffstrategie und die erwartete Entstehung internationaler Märkte für klimaneutrale Energieträger können zu einer deutlichen Beschleunigung der Entwicklungsdynamik führen. Auch der Abbau von Subventionen für fossile Energieträger kann zu einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit klimaneutraler Alternativen beitragen. Nur durch ein „Level Playing Field“ erneuerbarer Energieträger und Technologien gegenüber emissionsbehafteten Alternativen kann sich die effizienteste Lösung durchsetzen. Voraussetzung für die Erzeugung von Powerfuels ist ein konsequenter Ausbau der erneuerbaren Energien.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

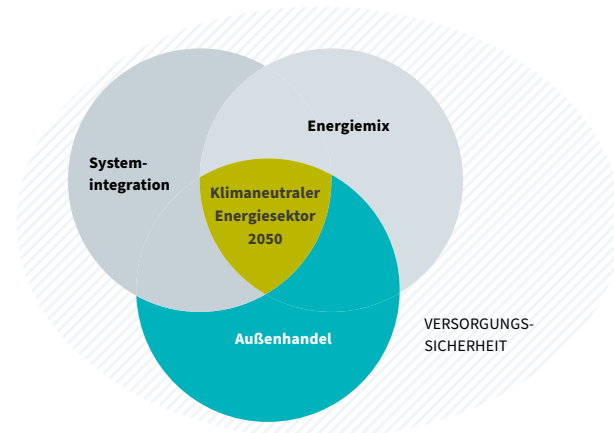
Um die Potenziale einer klimaneutralen Wasserstoffwirtschaft und wasserstoffbasierter Folgetechnologien schnellstmöglich zu heben und den Markthochlauf zu beschleunigen, gilt es, Angebot und Nachfrage gleichermaßen anzureizen.

Die erforderlichen Infrastrukturen für den Transport und die Verteilung von Wasserstoff müssen aufgebaut und mit dem Markthochlauf synchronisiert werden. Vorhandene Infrastrukturen können in großem Umfang weitergenutzt oder mit vergleichsweise niedrigeren Kosten gegenüber einem Neubau umgerüstet werden.

Bei der synthetischen Wasserstofferzeugung aus Erneuerbarem Strom mit Anschluss an das Strom- und/oder Gasnetz muss eine systemdienliche Integration berücksichtigt werden, um bestehende Engpass-Situationen nicht übermäßig zu verstärken. Langfristig ist eine integrierte Planung unter Einbeziehung der Kapazitäten des Stromnetzes, inklusive des vorausschauenden weiteren Ausbaus sinnvoll.

Die nationale Erzeugung von Wasserstoff zu marktfähigen Preisen erfordert eine Verbesserung der Rahmenbedingungen. Eine Anpassung der politisch induzierten Strompreisbestandteile (Umlagen, Steuern etc.) wäre ein erster Schritt.

3.1.2 Außenhandel



Globale Importwege für Powerfuels frühzeitig erschließen

Bereits ab Anfang der 2030er-Jahre zeichnet sich in Deutschland ein Importbedarf für klimaneutrale gasförmige und flüssige Energieträger aus europäischen und außereuropäischen Ländern ab.

Es zeigt sich, dass die Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff in Deutschland auch langfristig nur einen Teil der nationalen Bedarfe decken kann, primär wegen vergleichsweise hoher Erzeugungskosten sowie begrenzter Flächenpotenziale für erneuerbare Energien. Importe von klimaneutral erzeugtem Wasserstoff und anderen Powerfuels werden daher mittel- bis langfristig einen maßgeblichen Teil der nationalen Nachfrage decken müssen. Insbesondere bei Importen aus Europa ist zu berücksichtigen, dass kostengünstige Potenziale häufig auch eine Nachfrage in den Herkunftsregionen nach sich ziehen. In welchem Umfang kostengünstiger, importierter Wasserstoff zur Verfügung stehen wird, ist daher von der Nachfrageentwicklung im europäischen Ausland abhängig.

Global betrachtet gibt es weitere erhebliche Potenziale für die kostengünstige Produktion von „grünem“ Wasserstoff. Neben der direkten Belieferung aus Nachbarländern, beispielsweise über Pipelines, kommen auch entferntere Regionen in Betracht, aus denen Wasserstoff per Schiffstransport geliefert werden könnte (z. B. in Form von Ammoniak oder mithilfe anderer Trägerflüssigkeiten wie LOHC). Aus welchen Regionen Deutschland in Zukunft seinen Importbedarf decken kann, hängt maßgeblich davon ab, wie sich die großskalige Erzeugung weltweit entwickeln wird, beispielsweise in Ländern der MENA-Region.¹⁵

¹⁵ MENA steht für Middle East and North Africa und bezeichnet die Länder von Marokko bis Iran. Für die Produktion von Powerfuels kommen dabei insbesondere Länder mit hohem Potenzial für EE (Wind, Globalstrahlung und Flächenverfügbarkeit) wie Marokko, Algerien und Saudi-Arabien infrage.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Die Bemühungen zum Aufbau internationaler Kooperationen für den Import von klimaneutralem Wasserstoff aus inner- und außereuropäischen Erzeugungsländern sollten intensiviert werden. Erforderlich ist eine Definition von Standards für die Produktion, welche die reale Klimawirksamkeit in den Herkunftsländern abbilden und die nachhaltige, wirtschaftliche Entwicklung vor Ort im Sinne der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung einschließen (Sustainable Development Goals, SDG).

Damit kohlenstoffhaltige Powerfuels nach der national und international üblichen Bilanzierung nach dem Quellprinzip einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können, muss die positive Klimawirkung durch die bei der Produktion vorgenommene Entnahme von atmosphärischem CO₂ (z. B. durch Biomasse oder Direct-Air-Capture) bilanziell auf das verbrauchende Land übertragen werden. Der internationale Handel mit kohlenstoffhaltigen klimaneutralen Brenn- und Kraftstoffen benötigt daher zwangsläufig eine entsprechende Zertifizierung.

Es gilt, aus der existierenden Vielfalt möglicher Fördermechanismen einen sinnvollen Instrumentenmix zu wählen, um die Entwicklung eines globalen Marktes anzureizen. Verstärkt diskutiert werden Auktionsmodelle, Einspeisevergütungen sowie Investitions- und Betriebskostenförderungen.

Wechselwirkungen europäischer und nationaler Klima- und Energiepolitik stärker in den Fokus nehmen

Die verschärften Klimaziele auf europäischer Ebene bis 2030 machen eine ambitioniertere Klima- und Energiepolitik der Mitgliedstaaten erforderlich. Dabei ist der deutsche Strommarkt in den europäischen Strombinnenmarkt eingebunden, die deutschen Stromnetze sind Teil des europäischen Verbundnetzes, und der Kraftwerkspark steht unter dem Einfluss des europäischen Emissionshandels. Die Entwicklung der nationalen Energieversorgung wird entsprechend stark von europäischen Zielvorgaben, Marktmechanismen und Prozessen beeinflusst. Demgegenüber stehen nationale Zielvorgaben der Bundesregierung, wie z. B. ein Anteil von 65 Prozent erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bis 2030 oder das Kohleverstromungsbeendigungsgesetz.

Erste Erkenntnisse der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität machen deutlich, dass die Wechselwirkungen zwischen europäischen und nationalen Zielvorgaben in den kommenden Jahren stärker in den Blick genommen werden sollten. Zum Beispiel könnte nach ersten Modellierungen zukünftig eine deutliche Verschiebung stattfinden, und Deutschland könnte vom Stromexporteur zum -importeuer werden.

In zentralen nationalen und europäischen Prozessen zur Infrastrukturplanung (Netzentwicklungsplan, NEP, und Ten Year Network Development Plan, TYNDP) und zur Bewertung der Versorgungssicherheit (nationales Monitoring und European Resource Adequacy Assessment, ERAA) wird in regelmäßigen Abständen ein Blick auf unterschiedliche Wechselwirkungen im europäischen Energiesystem geworfen. Im Kern stützen sich diese Betrachtungen auf die jeweiligen nationalen Zielvorgaben und setzen deren Konsistenz voraus. Die gesamteuropäische Entwicklung und die Robustheit der Planung werden zudem in ergänzenden Top-down-Szenarien untersucht. Bei den hierbei gewonnenen Erkenntnissen sind Abweichungen von nationalen politischen Zielen möglich, allerdings gibt es keine direkten Rückwirkungen auf die Energiepolitik der Mitgliedstaaten.

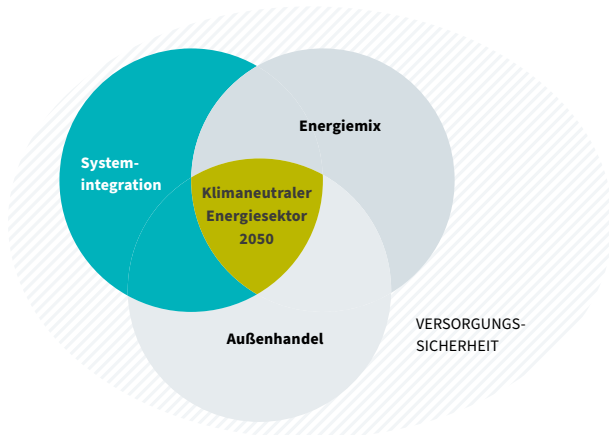
Bestehende Koordinationsprozesse scheinen die Konsistenz nationaler und europäischer Zielvorgaben also bereits umfangreich zu betrachten und die Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen gut abzubilden. Dennoch ist fraglich, ob die einzelnen Mitgliedstaaten ihre Energie- und Klimapolitik bereits ausreichend abstimmen. So stellt sich etwa die Frage, wie sich die verschärften EU-Klimaziele, der EU-ETS und der Strombinnenmarkt auf den beschlossenen Kohleausstieg in Deutschland auswirken und welche Rückwirkungen sich daraus im europäischen Strommarkt und Verbundsystem ergeben.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Für eine erfolgreiche Gestaltung der Transformation in Deutschland sollten die politischen Zielvorgaben und Instrumente der Energiewende enger mit den Klima- und Energiepolitiken der Europäischen Union und der übrigen Mitgliedstaaten abgeglichen werden. Für eine effiziente transnationale Infrastrukturplanung sind konsistente Szenarien entscheidend.

Der weitere Ausbau des europäischen Energiebinnenmarkts und die Stärkung marktbasierter Prozesse sollten konsequent weiter vorangetrieben werden, um transnationale Potenziale und Kapazitäten zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit zu nutzen. Angesichts einer zunehmend europäischen Energiewende gilt es, übergreifende Koordinationsprozesse wie die Szenariobildung für die verschiedenen Infrastrukturen weiter zu verzahnen und die Instrumente zur Bewertung der Versorgungssicherheit kontinuierlich weiterzuentwickeln und zu ergänzen.

3.1.3 Systemintegration



Systemische Optimierungspotenziale nutzen – Infrastrukturen integriert planen und Flexibilitäten einsetzen

Leistungsfähige leitungsgebundene Infrastrukturen sind Voraussetzung für die effiziente Systemintegration der erneuerbaren Energien. Dies erfordert allerdings einen weiteren bedarfsge-rechten Ausbau, insbesondere der Stromübertragungs- und -verteilnetze, um Erneuerbaren-Strom zu jeder Zeit sicher zu den Verbrauchern transportieren zu können. Dem Ausbau sind in der Praxis jedoch Grenzen gesetzt, u. a. aufgrund mangelnder gesellschaftlicher Akzeptanz.

Gleichzeitig entstehen im Zuge der sektorübergreifenden Energiewende erhebliche Flexibilitätpotenziale. Durch einen flexiblen Einsatz steuerbarer Lasten können Teile des Stromverbrauchs koordiniert zeitlich verschoben werden, beispielsweise durch den Einsatz von Wärmepumpen in Kombination mit Wärmespeichern, beim Laden von Elektrofahrzeugen oder durch die Verschiebung von flexiblen Industrieprozessen. So kann eine regionale Optimierung von erneuerbarer Erzeugung und Stromverbrauch die Transportbedarfe und Belastungsspitzen in den Netzen reduzieren und sich entsprechend positiv auf den Infrastrukturbedarf auswirken.

Durch eine integrierte Betrachtung der netz- oder leitungsgebundenen und ungebundenen Infrastrukturen für Strom, Methan, Wasserstoff und flüssige Energieträger sowie Wärme ließen sich bestehende Planungsprozesse besser aufeinander abstimmen. Hierdurch könnten Synergien beim künftigen Ausbau entstehen und vorhandene Infrastrukturen volkswirtschaftlich ganzheitlicher bewertet werden. Ein Beispiel für einen integrierten Planungsansatz, der sich positiv auf den gesamten Infrastrukturbedarf auswirken könnte, ist die sektor- und infrastrukturübergreifende Abstimmung bei der Allokation neuer Flexibilitäten – wie z. B. Elektrolyseuren oder Speichern in Wärmenetzen in Verbindung mit KWK-Anlagen.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Der regulatorische Rahmen für den netz- und systemdienlichen Einsatz von Flexibilitäten sollte weiterentwickelt werden, um Anreize für Netznutzer und Netzbetreiber zu setzen. Eine entsprechende Weiterentwicklung der Abgaben- und Umlagesystematik kann sinnvolle technologieoffene Anreize schaffen.

Wie bereits im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung vereinbart, sollten die leitungsgebundenen Infrastrukturen auf der Transportebene integriert geplant werden. Hierfür bedarf es eines grundlegenden Prozesses, der den heutigen Planungsschritten vorgelagert ist und das Energiesystem sektorübergreifend in den Blick nimmt. Dieser Prozess sollte Eckpunkte für die Planung der Strom-, Gas- sowie perspektivisch auch der Wasserstoffinfrastruktur liefern.¹⁶

Auf kommunaler Ebene sollte ebenfalls ein integrierter Planungsansatz unter Berücksichtigung der lokalen Last und Erzeugung etabliert werden. Die ganzheitlich optimierte Nutzung technischer Anlagen und Infrastrukturen kann so vorangetrieben werden.

Um Planungssicherheit für den Aufbau eines überregionalen Wasserstoffnetzes zu schaffen, ist ein klarer regulatorischer Rahmen für die leitungsgebundene Wasserstoffinfrastruktur nötig. Hierbei ist auch die Umwidmung bestehender Gasinfrastrukturen sinnvoll.

¹⁶ Die dena-Netzstudie III pilotiert in diesem Zusammenhang einen sogenannten „Systementwicklungsplan“, in dem Ankerpunkte für die nachfolgenden Infrastrukturprozesse festgelegt und innerhalb eines gesellschaftlich-politischen Prozesses legitimiert werden.

Energiapolitische Weichen stellen, um die Infrastrukturplanung robuster zu machen

Unsicherheiten über zukünftige Entwicklungen sind eine Herausforderung für langfristige Investitionsentscheidungen, insbesondere beim Ausbau leitungsgebundener Infrastrukturen. Entsprechend stützt sich die Netzentwicklungsplanung der Strom- und Gasinfrastruktur auf Szenarien, die die Grundlage für Ausbaumaßnahmen legen.

Generell bestehen bei der auf Szenarien basierenden Planung verschiedene Ansätze: Nach dem sogenannten No-Regret-Planungsansatz werden nur solche Vorhaben umgesetzt, die in allen Szenarien benötigt werden. Demgegenüber steht der Ansatz einer Infrastrukturentwicklung, die den Fokus in allen Szenarien auf ein engpassfreies Netz legt. Während eine reine Umsetzung von No-Regret-Vorhaben systematisch eine Unterdimensionierung begünstigt, führt das Abdecken aller betrachteten Eventualitäten mit erhöhter Wahrscheinlichkeit zu Investitionen in Infrastrukturprojekte, die nicht vollständig ausgelastet werden.

Das bisherige Genehmigungsverfahren beim deutschen Stromnetzausbau folgt im Kern dem No-Regret-Ansatz, da vom Regulierer überwiegend Projekte genehmigt werden, die mit großer Sicherheit – also in allen betrachteten Szenarien – aus energiewirtschaftlicher Sicht benötigt werden. Dabei wird dem Risiko der systematischen Unterdimensionierung allerdings in mehrfacher Hinsicht Rechnung getragen. So werden z. B. in der Tendenz nah beieinanderliegende Szenarien erarbeitet, sodass große Überschneidungen erreicht werden. Darüber hinaus wird der Planungsprozess regelmäßig im Abstand von zwei Jahren wiederholt, und im Laufe des Prozesses kann im Einzelfall von der Genehmigungspraxis abgewichen werden, sodass aktuelle energipolitische Ereignisse in die Planung einfließen können.

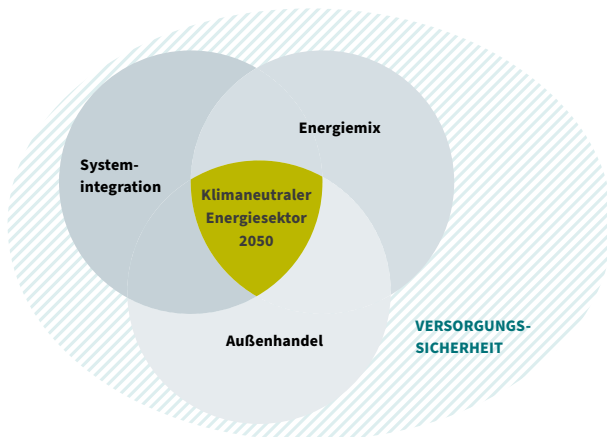
Die Verschärfung der Klimaziele bis 2030 auf europäischer Ebene macht deutlich, welche Entwicklungsdynamik sich im Rahmen der Energiewende innerhalb kürzester Zeit entfalten kann. Vor diesem Hintergrund können politische Weichenstellungen einen wertvollen zusätzlichen Beitrag zum Umgang mit dem Problem einer systematischen Unterdimensionierung im No-Regret-Planungsansatz leisten, wenn sie mehr Planungssicherheit schaffen. So würden Genehmigungsspielräume für den Regulierer etwa den Ausbau der Infrastruktur über den Mindestbedarf hinaus ermöglichen: Dies würde dazu beitragen, weitere Transformationspfade für die Zukunft offenzuhalten, und damit auch einen Beitrag zur Technologieoffenheit leisten.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Frühzeitige energipolitische Weichenstellungen können die Planungssicherheit erhöhen und zu einem wirtschaftlichen, zeitgemäßen und bedarfsgerechten Infrastrukturausbau beitragen. Ein breiter Diskurs kann das Spannungsfeld zwischen Zukunftswahrscheinlichkeit und erforderlicher Planungssicherheit verkleinern. Die Politik sollte sich auf einen Prozess stützen können, der wegweisende Entscheidungen durch eine vorausgehende gesellschaftliche Debatte besser legitimiert. Daraus kann eine konsistente Energiepolitik entstehen, welche sowohl für Netznutzer als auch für Infrastrukturbetreiber einen verlässlichen Rahmen setzt und sich einer volkswirtschaftlich kostenoptimierten Lösung annähert.

Wenn der Regulierer in die Lage versetzt wird, Infrastrukturmaßnahmen auch über den Mindestbedarf hinaus zu genehmigen, kann dies dazu beitragen, den Netzausbau robuster zu machen. Weitere Transformationspfade können so für die Zukunft offengehalten werden, was wiederum den Ansatz der Technologieoffenheit stärkt.

3.1.4 Versorgungssicherheit



Den regulatorischen Rahmen weiterentwickeln, um Versorgungssicherheit auch mit neuen Akteuren und Anlagen sicherstellen zu können

Im Zuge der Transformation zu einem integrierten Energiesystem gilt es, die Versorgungssicherheit insgesamt in den Blick zu nehmen. Auch während des Übergangs hin zu klimaneutralen Alternativen muss die Versorgung mit Strom, festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen durch bedarfsgerechte Angebote und Infrastrukturen (inklusive Speichern) erhalten bleiben.

Im Stromsystem erfüllen große thermische Kraftwerke, insbesondere Kern- oder Kohlekraftwerke, bisher neben der reinen Lastdeckung eine Vielzahl weiterer Funktionen: Sie stellen gesicherte steuerbare Leistung bereit und tragen durch System- und Netzdienstleistungen (z. B. zur Frequenz- und Spannungshaltung) zu einem verlässlichen Netzbetrieb sowie zur Erhöhung von Sicherheit und Stabilität bei (z. B. zum Versorgungswiederaufbau). Durch den Atom- und Kohleausstieg stehen die entsprechenden technischen Fähigkeiten dieser konventionellen Kraftwerke in Zukunft in geringerem Ausmaß zur Verfügung.

Gaskraftwerke und Stromspeicher stellen schon immer ebenfalls wichtige Systemdienstleistungen zur Verfügung. Alternativen zur Bereitstellung gesicherter Leistung für einen zuverlässigen Systembetrieb sind in Form neuer Energiespeicher und flexibler Lasten bereits technisch entwickelt, aber nicht in ausreichender Durchdringung im System vorhanden. Neben Stromspeichern spielen auch Speicher anderer Energieträger eine wichtige Rolle für die Versorgungssicherheit. So können

Gasspeicher einen Beitrag zum Ausgleich saisonaler Schwankungen bei der Erneuerbaren-Erzeugung leisten, indem sie klimaneutrale Gase für den Einsatz in flexiblen Gaskraftwerken zwischenspeichern. Aktuelle Entwicklungen beim Zubau neuer Gaskraftwerke machen allerdings deutlich, dass das derzeitige Marktumfeld und der regulatorische Rahmen bisher nicht die erforderlichen Anreize setzen bzw. nicht die erforderliche Dynamik erzeugen, um Investitionen mit ausreichend zeitlichem Vorlauf zu ermöglichen.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Die Auswirkungen eines beschleunigten Kohleausstiegs auf die Verfügbarkeit gesicherter Leistung müssen geprüft werden, insbesondere hinsichtlich nötiger Anreize auf dem Energiemarkt (Energy-only-Markt) und des Zusammenspiels mit dem europäischen Binnenmarkt. Hierbei kann auf aktuelle und in der Entwicklung befindliche Methoden zur Bewertung der Versorgungssicherheit aufgesetzt werden.¹⁷

Es muss sichergestellt werden, dass durch entsprechende Anreize im Marktdesign oder die Weiterentwicklung von Reservemechanismen (Netz-, Kapazitätsreserve und Sicherheitsbereitschaft) jederzeit ausreichend gesicherte Leistung bereitsteht. Reserven sollten mithilfe eines engen, transparenten und kontinuierlichen Monitorings der Versorgungssicherheit dimensioniert werden, um sie auf das Nötige zu begrenzen.

Der regulatorische Rahmen sollte vorausschauend angepasst werden, um die Sicherheit des Netzbetriebs zu gewährleisten. Entsprechende Vorleistungen für die Systemsicherheit sollten frühzeitig definiert und angereizt werden.

Angesichts durchschnittlicher Planungs- und Bauzeiten für neue Gaskraftwerke von vier bis fünf Jahren ist zeitnah eine stabile Rahmensetzung notwendig, um die bereits 2025 benötigten wie die darüber hinaus erforderlichen zusätzlichen Kapazitäten bis 2030 zu realisieren. Neu entstehende Gaskraftwerke sollten auf den Einsatz von Wasserstoff statt Erdgas vorbereitet sein (H₂-ready). Es sollte untersucht werden, welche Potenziale lastseitiger Flexibilität langfristig wirtschaftlich nutzbar gemacht werden können, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Der regulatorische Rahmen sollte so angepasst werden, dass diese Potenziale gehoben werden können.

¹⁷ Z. B. Midterm Adequacy Forecast (MAF) und European Resource Adequacy Analysis (ERAA) der ENTSO-E.

3.1.5 Offene Fragen

Die in diesem Zwischenbericht dargestellten Erkenntnisse basieren auf den Diskussionen und bisher erarbeiteten Ergebnissen der Phase 1. Im weiteren Projektverlauf wird ein Fokus der Arbeit das Hinterfragen der Plausibilität, Wirksamkeit und Tragfähigkeit der bisher diskutierten Ansätze und Quantifizierungen sein, insbesondere mit Blick auf die Interaktion zwischen den Sektoren.

Hierfür wurden offene Fragen gesammelt, von denen einige in der Phase 2 bearbeitet werden sollen. Eine adäquate Bearbeitung aller Fragen wird im Rahmen der Leitstudie nicht möglich sein.

Welche Auswirkung haben leitungsgebundene Infrastrukturen auf die Ausgestaltung der Transformationspfade und ergeben sich daraus Anpassungsbedarfe für die Ausgestaltung in der zweiten Projektphase?

- Welche Auswirkungen hätte eine deutliche Zunahme der Einspeisung durch Photovoltaikanlagen in den unteren Spannungsebenen auf den Ausbaubedarf der Verteilnetze?
- Welche Implikationen hat der Einsatz von Wasserstoff in verschiedenen Verbrauchssektoren für die Infrastrukturen? Welche Bedeutung haben Wasserstoffverteilstrecken im zukünftigen Energiesystem?
- Wie wirkt sich eine übergangsweise Nutzung von „blauem“ Wasserstoff auf die Ausgestaltung der Transportinfrastruktur für Wasserstoff aus?
- Welche (neuen?) Infrastrukturen werden für Import, Wandlung und Speicherung von Powerfuels benötigt? Ist es möglich, bestehende Infrastrukturen nahtlos weiter zu nutzen?

- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche geografische Allokationsansätze und Anlagengrößen (z. B. zentral/dezentral) bei der Wasserstoffherzeugung auf die Strom-, Wasserstoff- und Gasnetze?

- Ist es notwendig, eine Infrastruktur für die stoffliche Nutzung (CCU) und die Einlagerung (CCS) von CO₂ in Deutschland oder grenzüberschreitend in Europa zu schaffen?

- Wie lässt sich der Zubau an Offshore-Windleistung integrieren? Können gemeinsame Ansätze der Nord- und Ostsee-Anrainerstaaten zur grenzüberschreitenden Nutzung von Offshore-Windenergie beitragen?

Wie wirkt sich eine tiefergehende Betrachtung der Versorgungssicherheit in der zweiten Projektphase auf die Transformationspfade und die Energiebereitstellung aus?

- Wie lässt sich die Versorgungssicherheit im Stromsystem während langer Perioden mit niedriger Verfügbarkeit von erneuerbar erzeugtem Strom bei gleichzeitig niedrigen Temperaturen gewährleisten?
- Welchen Anforderungen muss flexible Erzeugung genügen, um zur gesicherten Leistung beitragen zu können? Welchen Beitrag können in eine Reserve überführte Kohlekraftwerke künftig leisten, insbesondere mit Blick auf ihre technischen Eigenschaften und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen?

- Stellt eine höhere Geschwindigkeit beim Zubau flexibler Erzeugung (z. B. in Form von Gaskraftwerken) kurzfristig ein Hemmnis für einen schnelleren als den im Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) festgelegten Ausstieg aus der Kohleverstromung dar? Wenn ja, in welchem Umfang?
- Welchen Beitrag kann die Flexibilisierung von Lasten (z. B. von elektrischen Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen) zur Versorgungssicherheit leisten?
- Wie lässt sich Abwärme aus Industrieanlagen oder von Elektrolyseuren sinnvoll für den Wärmemarkt nutzen, insbesondere mit Blick auf die Versorgungssicherheit?

Auswirkungen einer veränderten Verfügbarkeit von Wasserstoff auf die Transformationspfade:

- Sind die Annahmen zum Markthochlauf von Powerfuels realistisch, insbesondere bezüglich internationaler Importoptionen und des Zeithorizonts ihrer Verfügbarkeit sowie der vorausgesetzten Degression der Erzeugungskosten (national und international)? Müssen zusätzliche Restriktionen berücksichtigt werden?

Welche Rolle können „blauer“ oder „türkiser“ Wasserstoff spielen?

- Welche Voraussetzungen erfordert ein zügiger Hochlauf der Erzeugung, des Transports und der Verteilung von klimaneutralen gasförmigen und flüssigen Energieträgern?

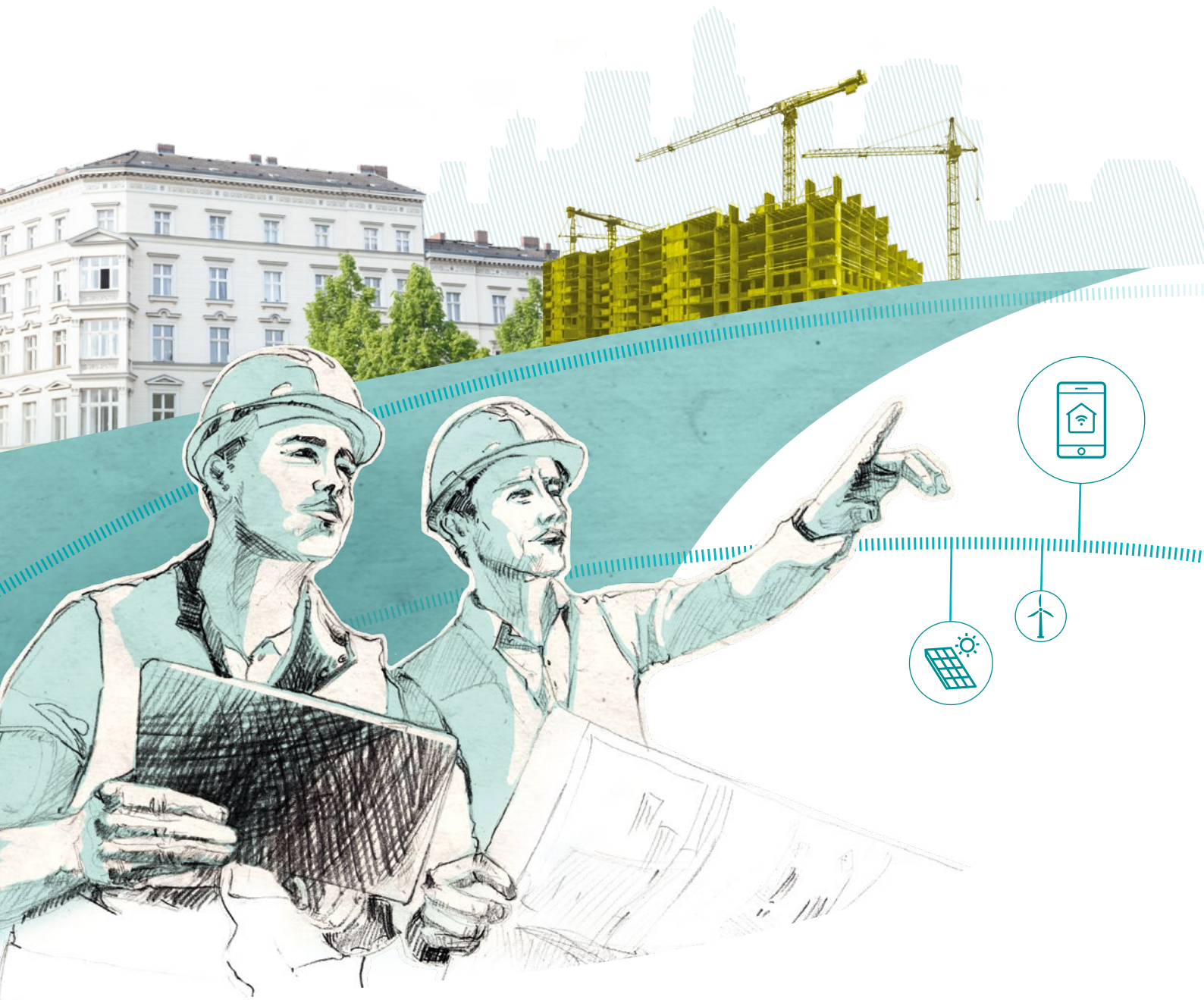
- Wie hoch ist das Erneuerbaren-Strom-Potenzial zur Wasserstoffherzeugung in der EU? Wie viel Wasserstoff (und Folgeprodukte) müssen aus Nicht-EU-Staaten importiert werden?
- Sollte die Nutzung einzelner, (zeitweise) knapper Energieträger wie beispielsweise Biomasse oder Wasserstoff langfristig oder vorübergehend einzelnen Verbrauchssektoren vorbehalten sein, in denen eine sonstige Substitution schwierig erscheint, oder soll sich die Nutzung eher an Marktkriterien ausrichten?

In welchen Bereichen sind aus heutiger Sicht Abweichungen gegenüber der kostenoptimierten Modellierung der Energiebereitstellung zu erwarten?

- Wie ist das künftige Verhältnis zwischen PV-Aufdach- und Freiflächenanlagen?
- An welchen Stellen entstehen Restriktionen oder Anforderungen aus dem Systembetrieb, die es zu berücksichtigen gilt?
- Welche politischen Risiken könnten Einfluss auf die Importoptionen für klimaneutrale Energieträger haben?

3.2

Der Gebäude- sektor



Im Sektormodul Gebäude der Leitstudie sind knapp 30 Unternehmen und Institutionen als Projektpartner beteiligt. Wissenschaftlich begleitet wird das Gebäudemodul durch die Fachgutachter Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz und Dr.-Ing. Bernadetta Winiewska (ITG Dresden) sowie Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm (FIW München).

In den Diskussionen kristallisierten sich folgende Leitfragen heraus:

- Wie lässt sich die Energieeffizienz im Gebäudebereich deutlich erhöhen? Welche Maßnahmen sind dafür bei Gebäudehülle und Anlagentechnik erforderlich?
- Wie können erneuerbare flüssige und gasförmige Energieträger im Gebäudebereich genutzt werden? Welche Rolle kann und sollte Wasserstoff zukünftig im Gebäudebereich spielen?
- Wie kann der Anteil erneuerbarer Energien im Gebäudebereich gesteigert werden?

Darüber hinaus wurden weitere Themen diskutiert, die in Phase 2 der Leitstudie vertieft werden sollen. Dazu zählen die Rolle von Nah- und Fernwärmenetzen, Quartierslösungen und Mieterstromansätze als Ausprägungen einer dezentralen (insbesondere urbanen) Energiewende, die Bedeutung von Gebäuden als Energieerzeuger im Rahmen einer dezentralen Energieerzeugung und -speicherung sowie die Bedarfe für sommerlichen Wärmeschutz und technische Kühlung. Um Gebäude besser als aktiven Bestandteil in das Energiesystem zu integrieren, die Energiebedarfe zu senken und gleichzeitig den Wohnkomfort zu erhöhen, werden zudem die Potenziale von Digitalisierung und Gebäudeautomation weiter erörtert. Darüber hinaus wird der Einfluss von Trinkwassererwärmungssystemen und Raumlufthygiene auf die Energieeffizienz diskutiert.

Eine besondere Rolle spielte beim Gebäudemodul die Frage nach dem Quell- oder dem Verursacherprinzip als Basis für die Bilanzierung (siehe Kapitel 1.2.5). Nach dem Quellprinzip werden die bei der Erzeugung von Strom und Fernwärme entstehenden Emissionen im bereitstellenden Energiesektor bilanziert, auch wenn Nachfrage und Verbrauch eigentlich dem Gebäudesektor zuzurechnen wären. Die Bilanzierung nach dem Verursacherprinzip rechnet die Treibhausgasemissionen dagegen dort an, wo sie verursacht und damit auch vermieden werden können. So wird deutlich transparenter, welche Emissionen in den einzelnen Sektoren entstehen und welchen Erfolg die Maßnahmen zur Vermeidung haben. In der dena-Leitstudie wird in den Gesamtmodellierungen grundsätzlich das im Rahmen der internationalen Treibhausgasberichterstattung übliche Quellprinzip angewandt. Die Überlegungen zur Modellierung des Gebäudesektors beruhen dagegen auf dem Verursacherprinzip. Dadurch wird besser deutlich, welche Emissionen im Gebäudesektor tatsächlich entstehen. So lassen sich zielgerichteter Maßnahmen ableiten, mit denen der Gebäudesektor wirksame Anstrengungen zur Treibhausgasreduzierung erbringen kann.

Sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude werden bei der Modellierung berücksichtigt. Bei den Nichtwohngebäuden werden die Bereiche Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen einbezogen.

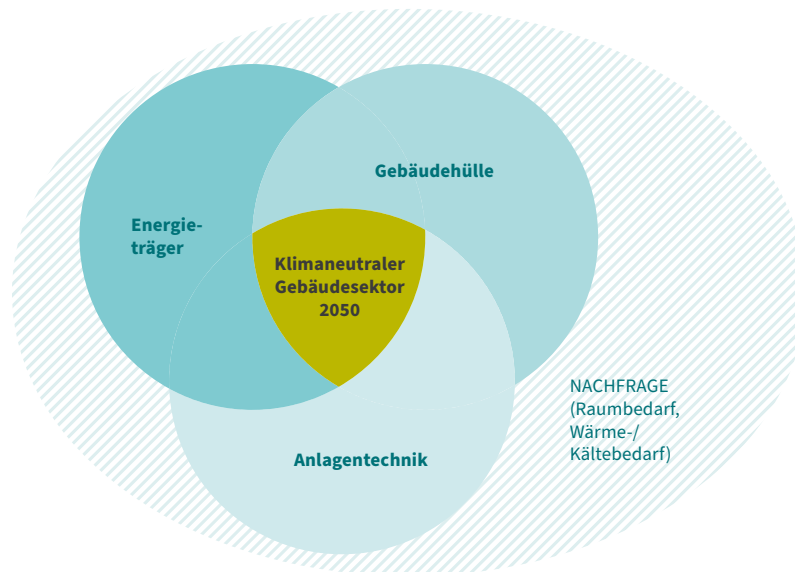
Handlungsfeldcluster für Klimaneutralität im Gebäudesektor

Für die Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 liegt der Fokus des Gebäudemoduls auf den folgenden drei zentralen Säulen sowie den damit verbundenen Herausforderungen und Potenzialen:

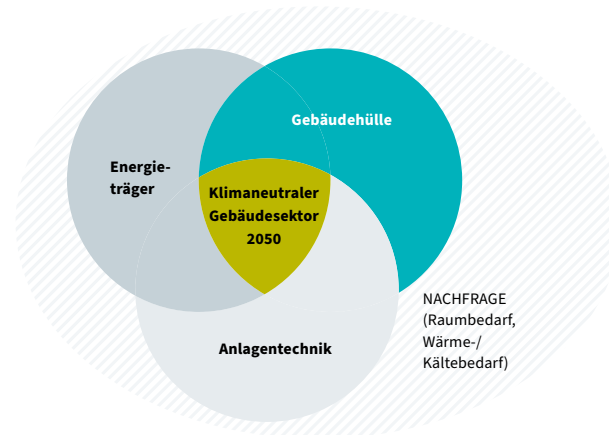
- Energiesparende **Gebäudehülle** (hoher winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz bei Neu- und Bestandsbauten)
- Effiziente **Anlagentechnik** (Wärmeerzeugung mit optimaler Systemintegration)
- Einsatz erneuerbarer Energien und klimaneutral erzeugter **Energieträger**.

Die Fachgutachter und Projektpartner betonen, dass die Erreichung der klimapolitischen Ziele nur möglich ist, wenn alle Handlungsfeldcluster des Zielbilds klimaneutraler Gebäudesektor gleichermaßen verfolgt werden.

Neben diesen Handlungsfeldclustern muss auch betrachtet werden, wie sich die **Nachfrage nach Wärme, Kälte und Strom** im Gebäudebereich beeinflussen lässt. Denn der Energieverbrauch spielt eine wichtige Rolle für die Modellierung im Bereich Energieträger, Anlagentechnik und Gebäudehülle. Die größten Treiber der Nachfrageentwicklung sind demografische Trends (etwa ein möglicher zukünftiger Rückgang der Bevölkerung), die Wohnflächenentwicklung sowie die Neubaurate. Mit diesen Themen beschäftigt sich u. a. vertieft das Querschnittsmodul Transformation (siehe Kapitel 4.2). Darüber hinaus lassen sich im Rahmen von Quartiersansätzen über dieses Zieldreieck hinaus erhebliche Potenziale für einen klimaneutralen Gebäudebestand heben.



3.2.1 Gebäudehülle



Der Endenergiebedarf im Gebäudesektor beträgt aktuell insgesamt 987 TWh/a. Dies umfasst den Energiebedarf für Heizung, Warmwasseraufbereitung, Klimatisierung, Nutzerstrom einschließlich Beleuchtung sowie Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT).

Dabei beeinflusst die Gebäudehülle maßgeblich den Endenergiebedarf. Eine energieeffiziente Gebäudehülle schont den Ressourcenbedarf für die Energiebereitstellung.

Aktuell ist jedoch nur rund ein Viertel aller Wohngebäude in Deutschland auf einem zufriedenstellenden energetischen Stand, 30 Prozent der Wohnflächen im Gesamtbestand entfallen auf „schlechte“ Effizienzklassen.¹⁸ Angesichts der Bedeutung der energieeffizienten Gebäudehülle für die Erreichung des klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 wird deutlich, dass im Bereich der Gebäudehülle weiterhin dringender Handlungsbedarf besteht.

Die energetische Verbesserung der Gebäudehülle führt zur Verringerung des Heizwärmebedarfs und ist ein wesentlicher Faktor zur Reduzierung des Endenergiebedarfs. Um die Gebäudehülle insbesondere auch bei Bestandsgebäuden zu verbessern, ist eine ambitionierte Steigerung der Sanierungsrate anzustreben. In den bisherigen Diskussionen im Rahmen der dena-Leitstudie stand daher die energetische Sanierung von Bestandswohngebäuden im Fokus.

Weitere Dimensionen einer umfassenden Betrachtung in Phase 2 sind energetische Standards im Neubau sowie die Unterschiede zwischen einzelnen Gebäudetypen wie Ein- und Zweifamilienhäusern, Mehrfamilienhäusern oder Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden in Neubau und Bestand. Neubauten werden gemäß den energetischen Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) gebaut. Zum Teil handelt es sich um Ersatzneubauten, die eine Alternative zur Komplettsanierung darstellen können.

Identifizierte Hemmnisse für die energetische Sanierung

Lange Amortisationszeiträume und hohe Investitionskosten sind zentrale Hemmnisse für Investitionsentscheidungen für energetische Gebäudesanierungen. Die Amortisationszeiträume erfüllen häufig nicht die Erwartungen der Eigentümer, insbesondere wenn ein kurzfristiger „return on invest“ gewünscht ist, oftmals aber auch nicht von langfristig agierenden, bestandshaltenden Akteuren. Bei gewerblichen Vermietern können weitere betriebswirtschaftliche Aspekte wie die Eigenkapitalausstattung eine Rolle spielen. Die Planung einer energetischen Sanierung wird zudem durch komplexe gesetzliche Regelungen erschwert.

Regulatorische Rahmenbedingungen, etwa im Denkmalschutz oder Baurecht, sowie diverse Regelungen zur Grenzbebauung sind häufig zusätzliche Herausforderungen.

Neben wirtschaftlichen und regulatorischen Hemmnissen ist die sozialverträgliche Umsetzung der energetischen Sanierung ein zentrales Thema, um einzelne Akteure nicht zu überlasten. Im Mietwohnbereich ist die gerechte Verteilung der Kosten der energetischen Sanierung eine Herausforderung. Für Vermieter fehlen zum Teil finanzielle Anreize für Investitionen aufgrund einer begrenzten Umlagefähigkeit der Sanierungskosten. Mieter können mithilfe einer energieeffizienten Gebäudehülle Energiekosten sparen, aber die Investitionsentscheidung selbst nicht treffen (Mieter-Vermieter-Dilemma). Die eingesparten Energiekosten fallen häufig geringer aus als die Erhöhung der Kaltmiete durch den Vermieter. Übersteigen die umgelegten Investitionskosten im Mietwohnungsbereich den Betrag, den die Mieter an Heizkosten einsparen können, kommt es zu zusätzlichen finanziellen Belastungen für die Mieter („soziales Dilemma“).

Eine ambitionierte Erhöhung der Sanierungsrate würde eine verstärkte Nachfrage an Handwerkskapazitäten nach sich ziehen. Bereits heute sind jedoch Ressourcenengpässe im Handwerk zu verzeichnen. Daneben stellt die fachliche Qualifikation im Bereich energetische Sanierung eine zusätzliche Herausforderung dar.

Die Heterogenität des Gebäudesektors hinsichtlich der Eigentümer- und Nutzerstrukturen erschwert die Sanierungsentscheidung. Verschiedene Motivationen und Wirtschaftlichkeitsabwägungen unter den Eigentümern erfordern diversifizierte Anreize sowie ein umfassendes Beratungs- und Kommunikationsangebot.

¹⁸ dena, 2015, „Der dena-Gebäudereport 2015. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand“. Mit schlechten Effizienzklassen sind dabei die Klassen G und H gemeint.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Aus den dargestellten Hemmnissen lassen sich drei Handlungsfelder ableiten, um die Aktivitäten bei der energetischen Sanierung zu erhöhen: die Gestaltung eines attraktiven Marktumfelds, eine verstärkte Kommunikation und Beratung sowie ergänzende, ordnungsrechtliche Vorgaben.

Gestaltung eines attraktiven Marktumfelds

Förderung ausweiten: Förderung ist ein wichtiger Baustein, um Treibhausgasreduktionen auszulösen. Die aufgestockten Förderprogramme von KfW und BAFA treffen derzeit auf eine hohe Nachfrage aus dem Markt und zeigen Wirkung. Nichtwohngebäude und der gewerbliche Gebäudesektor sollten künftig stärker in Förderprogrammen berücksichtigt werden.

Regulierung anpassen: Die Amortisationszeiträume energetischer Sanierungen liegen in der Regel innerhalb der Lebensdauer der Maßnahmen: Sie können z. B. mit einem höheren CO₂-Preis verkürzt werden, vorausgesetzt, der Investitionsentscheider trägt auch die CO₂-Kosten. Auch Förderung verbessert die Wirtschaftlichkeit für die Investierenden. Verbesserte steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten (AfA) sind eine weitere geeignete Möglichkeit. Eine Entbürokratisierung und Beschleunigung der Genehmigungsprozesse kann zudem zu mehr Sanierungen beitragen.

Wirtschaftlichkeit fördern: Um eine sozialverträgliche Verteilung der Kosten der energetischen Sanierung zu gewährleisten, sollte eine Aufteilung der Kosten zwischen Mietern, Vermietern und dem Staat angestrebt werden. Dabei ist es eine große Herausforderung, bezahlbares Wohnen sicherzustellen und durch eine für alle Seiten leistbare Aufteilung der Kosten zu verhindern, dass Akzeptanzprobleme entstehen.

Innovationen voranbringen: Die Komplexität energetischer Sanierungen erfordert innovative Lösungen, die einen wirtschaftlich attraktiven und gleichzeitig sozialverträglichen Sanierungsprozess ermöglichen. Ein Weg sind effiziente, standardisierte serielle Sanierungsverfahren (beispielsweise nach dem Energiesprung-Prinzip). Serielle Sanierung bezieht neben der Gebäudehülle auch die Anlagentechnik ein und setzt auf schnelle Umsetzung durch standardisierte, vorgefertigte Haus-technikmodule sowie Dach- und Fassadenelemente. Das Verfahren bietet zudem die Möglichkeit einer effizienteren Nutzung von Handwerkskapazitäten.

Kommunikation und Beratung

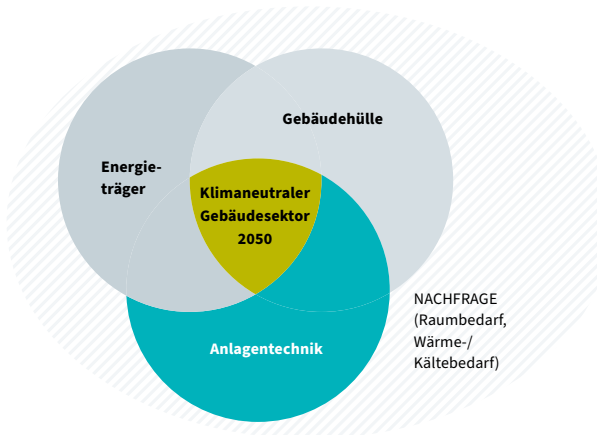
Informieren, beraten und qualifizieren: Eine breit angelegte Beratungs-, Informations- und Kommunikationsoffensive sollte für die Vorteile energetischer Sanierungen werben und Eigentümer für deren Notwendigkeit sensibilisieren. Aufgrund der heterogenen Eigentümer-, Investoren- und Nutzerstrukturen müssen verschiedene Zielgruppen individuell angesprochen werden. Weiterhin ist es zentrale Aufgabe, die Attraktivität der Handwerksberufe zu erhöhen, um neue Fachkräfte zu gewinnen und zu qualifizieren, damit der steigende Bedarf im Gebäudebereich gedeckt werden kann.

Rahmenbedingungen verbessern: Auf politischer Ebene bedarf es einer Strategie, wie der Fachkräftebedarf gedeckt und wie Handwerker und Planer qualifiziert werden können.

Ordnungsrechtliche Vorgaben

In bestimmten Fällen könnten ordnungsrechtliche Vorgaben für den Gebäudebestand zur verstärkten Reduktion von Treibhausgasemissionen notwendig sein. Solche Vorgaben sollten grundsätzlich verschiedene Optionen zulassen, um die angestrebte CO₂-Minderung zu erreichen. Außerdem müssen die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit für die betroffenen Akteure stets berücksichtigt werden. Bestehende Regelungen sollten im Vollzug konsequent umgesetzt werden.

3.2.2 Anlagentechnik



Eine effiziente Anlagentechnik und der Einsatz erneuerbarer Energien reduzieren den Energiebedarf und können zur gesamt-systemischen Optimierung beitragen. Um die Klimaziele zu erreichen, müssen die Technologien zudem in immer stärkerem Maße auf erneuerbaren Energien bzw. dekarbonisierten Energieträgern basieren.

Derzeit liegt das durchschnittliche Alter von Wärmeerzeugern im Wohnbereich bei 17 Jahren. Bei 46 Prozent der Anlagen handelt es sich um Erdgasheizkessel, 30 Prozent sind Ölheizkessel. Diese teilen sich wiederum in 42 Prozent Niedertemperaturkessel und 47 Prozent Brennwertkessel auf. Über einen Nah- oder Fernwärmeanschluss verfügen 6,6 Prozent der Wohngebäude. 3,4 Prozent werden durch elektrische Wärmepumpen versorgt. Insgesamt basiert die Wärmeversorgung in Deutschland zu 49,3 Prozent auf Gas, zu 30,4 Prozent auf Öl, zu 6,6 Prozent auf Nah- oder Fernwärme und zu 5,7 Prozent auf Strom. Der Rest entfällt auf Energieträger wie Holz/Pellets oder Flüssiggas.¹⁹ Dies macht deutlich, dass der Bereich der Anlagentechnik weiter transformiert werden muss, um das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 zu erreichen.

Die Verbraucher haben zugleich höhere Anforderungen an die Steuerung und Automatisierung bestehender und neuer Systeme (z. B. Hybridsysteme zur Nutzung von Solarthermie als Ergänzung steuerbarer Wärmeerzeugung) sowie die Einbindung erneuerbarer Energien. Auch die Ansprüche an den Komfort steigen stetig.

Mit der Erhöhung der Anlageneffizienz soll der Energiebedarf für Wärme und Kälte weiter reduziert werden. Dies lässt sich u. a. durch eine erhöhte Flexibilität und Systemdienlichkeit erreichen (z. B. durch Einbindung von Speichern) sowie mit einer Optimierung der Anlagensteuerung, beispielsweise durch

Automatisierung und eine bessere Mess- und Steuerungstechnik. Die Einbindung in Quartierskonzepte sowie die Nutzung und Weiterentwicklung bestehender Infrastrukturen (z. B. Gas- und Wärmenetze) sind weitere Optionen.

Identifizierte Hemmnisse in der Anlagentechnik

Mit der erforderlichen Umrüstung des Technik- und Anlagenparks gehen technische Herausforderungen sowie höhere Anforderungen an die Anlageneffizienz einher, insbesondere mit Blick auf die Jahresarbeitszahl (JAZ) und den Wirkungsgrad. Der bislang geringe Standardisierungsgrad bei der Einbindung erneuerbarer Energieträger (z. B. bei größeren Wohngebäuden) ist eine weitere Herausforderung. Hier gibt es regionale Unterschiede bei der Verfügbarkeit der notwendigen Energieinfrastrukturen, beispielsweise zwischen dem urbanen und dem ländlichen Raum. Für einen schnellen Hochlauf von Technologien wie Wärmepumpen oder Hybridheizgeräten sind sehr kurzfristige Anpassungen des Technik- und Anlagenparks erforderlich. Limitierende Faktoren sind hierbei auch bauphysikalische und -technische Restriktionen sowie Verfügbarkeit und nötige Qualifikation des Handwerks. Regulatorische Rahmenbedingungen wie Umweltauflagen spielen ebenso eine Rolle. Nicht zuletzt ist die heterogene Eigentümer- und Nutzerstruktur der Gebäude eine Herausforderung für die Transformation des Technik- und Anlagenparks, da die Umstellung immer auch von individuellen investiven Entscheidungen abhängt.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

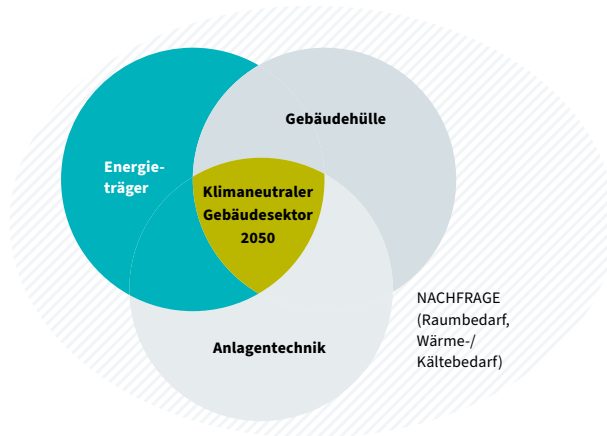
Die Schaffung eines Marktes sowie entsprechender Anreize (u. a. durch Förderung) kann einen schnelleren Hochlauf sowie eine stärkere Marktdurchdringung von Technologien auf Basis erneuerbarer Energien oder dekarbonisierter Energieträger ermöglichen. Die Nutzung bestehender Anlagentechnik und Infrastrukturen sollte dabei gleichberechtigt zur Umrüstung oder Umstellung als Option berücksichtigt werden.

Begleitend sollten Kommunikations- und Beratungsangebote für Eigentümer und Bauherren zur Modernisierung der Anlagentechnik (vor allem von Heizungsanlagen) ausgebaut werden, um zum Austausch bzw. zur Umrüstung anzuregen und verstärkt auf energie- und kosteneffiziente Lösungen hinzuweisen. Eine schnelle Marktdurchdringung innovativer Technologien in Bereichen wie der smarten Gebäudesteuerung, der Automation sowie dem Energiedatenmanagement fördert ebenso die Energieeffizienz.

Nicht zuletzt sollten Gebäude stärker als dezentrale Energieerzeuger und -speicher betrachtet werden, die als Flexibilität einen systemdienlichen Einsatz ermöglichen.

¹⁹ BDEW, 2019, „Wie heizt Deutschland?“, https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_final_30.09.2019_3ihF1yL.pdf (18.03.2021).

3.2.3 Erneuerbare Energien und klimaneutral erzeugte Energieträger



Für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors sind erneuerbare Energien und klimaneutral erzeugte gasförmige und flüssige Energieträger (insbesondere aus erneuerbarem Strom oder biogener Herkunft) notwendig.

Flüssige und gasförmige Energieträger spielen im Gebäudesektor nach wie vor eine große Rolle. Dabei basieren aktuell Wärme- und Kältebereitstellung zu etwa 85 Prozent auf fossilen Brennstoffen.²⁰ Erneuerbare Energien und klimaneutrale Brennstoffe haben bislang eine untergeordnete, aber steigende Bedeutung.

Neben der direkten Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien und der Nutzung erneuerbarer Energie über Wärmenetze werden klimaneutrale, erneuerbare Brennstoffe eingesetzt. Ihr Anteil wird wachsen, während der Anteil fossiler Brennstoffe sinkt.

Die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien (direkte Nutzung von Umweltwärme, Solarthermie, Strom aus erneuerbaren Energien, Biomasse oder indirekte Nutzung über Wärmenetze) sowie die verstärkte Nutzung dekarbonisierter Energieträger (z. B. klimaneutraler Wasserstoff, Biogas, Strom aus erneuerbaren Energien und weitere Powerfuels) sollen den Endenergiebedarf der Gebäude reduzieren und die Dekarbonisierung des Sektors vorantreiben.

Identifizierte Hemmnisse für klimaneutral erzeugte Energieträger

Die Nutzung klimaneutraler, erneuerbarer Energieträger zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung befindet sich noch in einem frühen Stadium. Die künftige Verfügbarkeit von Power-

fuels ist aktuell noch nicht exakt voraussehbar. Voraussetzung für die Herstellung von Powerfuels sind ausreichende Erzeugungskapazitäten, die im internationalen Kontext aufgebaut und marktfähig gemacht werden müssen. Ein zügiger Markthochlauf entsprechender Energieträger könnte jedoch Nutzungskonkurrenzen nach sich ziehen. Verfügbarkeit und Kosten synthetischer Brennstoffe im Gebäudesektor sind abhängig von der Nutzung in anderen Sektoren (Industrie, Verkehr) sowie der internationalen Produktion und Nachfrage. Erforderlich ist daher eine gesamt-systemische Betrachtung im internationalen Kontext.

Die Nutzung erneuerbarer Energieträger ist abhängig von der Verfügbarkeit der erforderlichen Infrastrukturen: Hier gibt es Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Regionen.

Wenn Wasserstoff zur Reduzierung des CO₂-Gehalts in existierende Erdgasnetze beigemischt werden soll, ergeben sich bestimmte technische Restriktionen. Gasverbrauchende technische Anlagen im Gebäudesektor können heute Wasserstoffanteile bis 20 Prozent verarbeiten. Darüber hinaus sind aus heutiger Sicht weitergehende Anpassungen im Gasnetz und auf Abnehmerseite notwendig (z. B. Aufrüstung oder Austausch der Wärmeerzeuger). Einige Geräte können auch schwankende Gasqualitäten verwenden (z. B. verschiedene Methan-Wasserstoff-Anteile), in anderen Anwendungsfällen ist hingegen eine sehr stabile Gasqualität erforderlich (z. B. Industrieproduktion).

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Die Markterschließung erneuerbarer Energien und klimaneutraler synthetischer Brennstoffe sollte beschleunigt werden. Hierfür ist ein entsprechend innovationsfreundliches Marktumfeld erforderlich. Folgende Handlungsfelder können zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Gebäudesektor beitragen:

Wirtschaftlich: Marktwirtschaftliche Allokation und Preisbildung, um Angebot und Nachfrage gleichermaßen anzureizen; Unterstützung des Aufbaus eines nationalen und eines internationalen Marktes, Beteiligung an internationalen Kooperationen sowie die Anreizung von Importen; Unterstützung der verlässlichen Transformation des Gasmarktes mit höheren Anteilen dekarbonisierter Gase (z. B. durch Quoten).

Technisch: Geräteaustausch, -umrüstung bzw. -modernisierung (insbesondere für die Nutzung von Wasserstoff); Infrastrukturanpassungen; effizientere Wärmenetze (z. B. durch niedrigere Temperaturen) und bessere Einbindung erneuerbarer Energien.

Regulatorisch: Berücksichtigung erneuerbar hergestellter Brennstoffe sowie bessere Anrechenbarkeit von selbst erzeugtem Strom in der Gebäudeenergiegesetzgebung.

²⁰ UBA, 2021, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick> (18.03.2021).

3.2.4 Nachfrage nach Wärme, Kälte und Strom

Der Endenergiebedarf des Gebäudesektors ist abhängig vom Nutzerverhalten und Flächenbedarf. Eine Beeinflussung dieser Faktoren auf Verbraucherseite kann einen zusätzlichen Beitrag zur Klimaneutralität leisten. Beratung, Information und Kommunikation spielen hier eine entscheidende Rolle.

Wichtige gesellschaftspolitische Fragen in diesem Zusammenhang sind: Wie kann klimaneutrales Wohnen aussehen (Suffizienz vs. Effizienz, Wohnfläche pro Kopf)? Wie lässt sich bezahlbares Wohnen sicherstellen? Wie können Rebound-Effekte vermieden werden?²¹

Ein weiteres wichtiges Instrument, das die Nachfrage beeinflussen kann, ist der seit 1. Januar 2021 geltende CO₂-Preis für Öl und Gas. Er soll u. a. Investitionsanreize für energetische Maßnahmen im Gebäudebereich schaffen. Damit der CO₂-Preis seine Wirkung entfalten kann, sollte diskutiert werden, wie Vermieter als Investitionsentscheidende an den CO₂-Kosten beteiligt werden können.

Im Rahmen der Förderung muss berücksichtigt werden, dass ein steigender CO₂-Preis zwar die Wirtschaftlichkeitslücke zwischen Gebäudesanierung und CO₂-freien Heizsystemen verringert, aber zunächst nicht aufhebt. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen müssen den steigenden CO₂-Preis berücksichtigen. Es ist daher essenziell, Förderprogramme an das Ziel Klimaneutralität anzupassen.

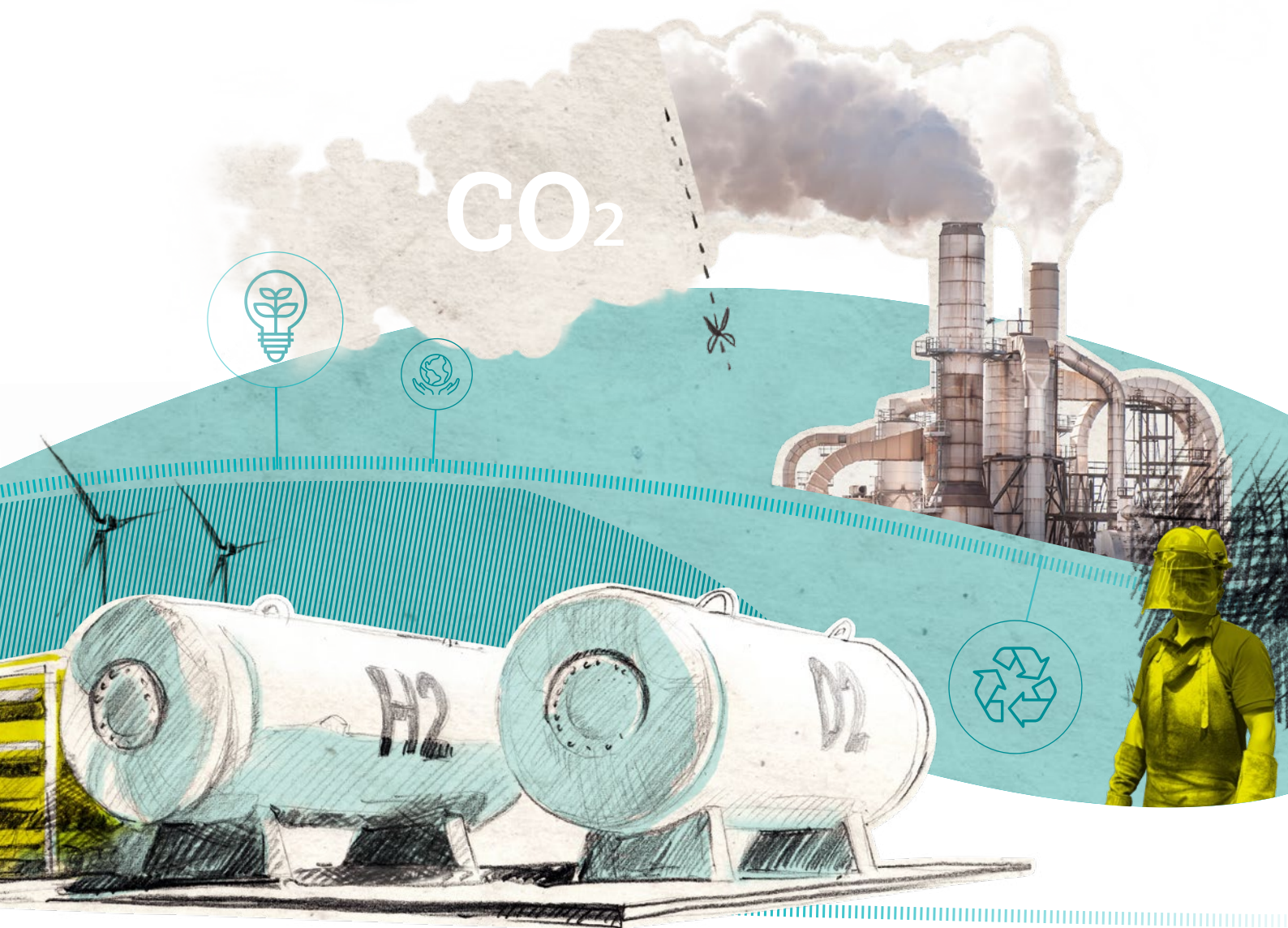
3.2.5 Offene Fragen

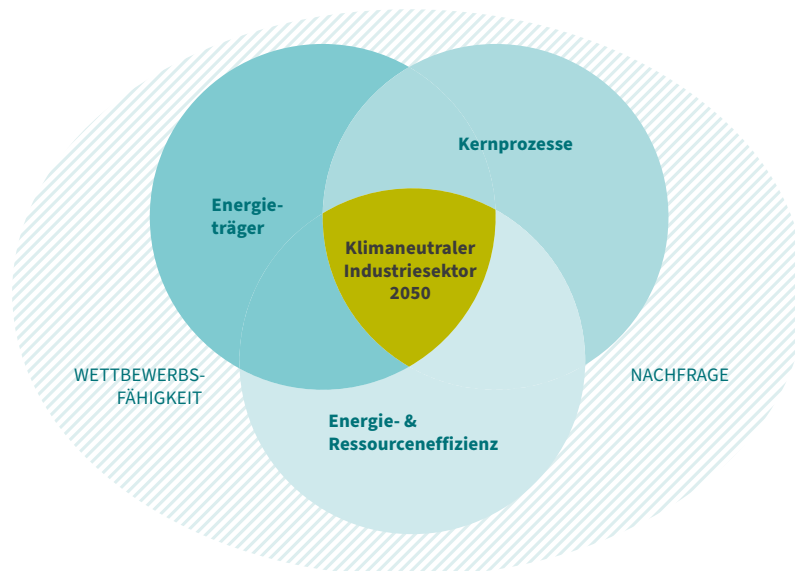
- Können die notwendigen Strommengen und -leistungen für Wärme auch während „kalter Dunkelflauten“ bereitgestellt werden?
 - Werden private Haushalte zu Prosumern? Wird Strom aus Photovoltaik künftig eher dezentral (gebäudenah z. B. durch Aufdachanlagen) oder zentral (z. B. Freiflächenanlagen) erzeugt?
 - Wie stark kann die Sanierungsrate gesteigert werden?
 - Wie abhängig sind Sanierungsaktivitäten von verschiedenen Gebäude- und Eigentümerstrukturen?
 - Wie hoch muss der Sanierungsstandard sein? Gibt es ein Zielniveau, das anvisiert werden sollte (z. B. Effizienzhaus 55)?
 - Die Zahl der Wärmepumpen muss von derzeit rund einer Million Anlagen (2020) sehr schnell gesteigert werden. Welches Wachstum ist in welcher Zeitspanne möglich?
 - Welche Anreizmechanismen sind nötig, um die erforderlichen Transformationen zu initiieren? Welchen Einfluss haben Lebenszyklusbetrachtungen auf die Art der energetischen Sanierung und auf die Treibhausgasreduzierung?
 - Inwiefern können alternative Baustoffe und Bauweisen den Ressourceneinsatz reduzieren und so sektorübergreifend zu Emissionsminderungen führen?
 - In welchen Bereichen sind Innovationen absehbar?
 - Welche Kapazitätsgrenzen bestehen bei Kapital, Zeithorizont und Personal?
 - Wie unterscheiden sich volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Betrachtungsweisen bei energetischen Maßnahmen? Gibt es besonders kosteneffiziente Lösungen?
 - Wie kann Resilienz bei der Erreichung der Klimaziele sichergestellt werden?
- Auch 2050 werden noch flüssige und gasförmige Brennstoffe benötigt. Diese müssen vollständig dekarbonisiert sein. Gelingt es, ausreichende Mengen klimaneutraler Brennstoffe verlässlich bereitzustellen? Wie lassen sich in diesem Zusammenhang Lock-in-Risiken in Bezug auf fossile Energieträger vermeiden?
 - Welche Rolle kann Wasserstoff im Gebäudebereich spielen?
 - Welche Anteile können feste, flüssige und gasförmige Biomasse im Wärmemarkt decken?
 - Welche Rolle spielt die leitungsgebundene Wärmeversorgung bis 2050? Mit welchen Technologien werden Nah- und Fernwärme erzeugt? Welche Rolle spielt Abwärme aus der Industrie?
 - Welchen Beitrag können Quartierslösungen mit Nah- und Fernwärme leisten? Wie sehen die Versorgungslösungen bei der Nahwärme aus (Abwärme, Großwärmepumpen etc.)?

²¹ Mit diesen Fragen beschäftigt sich das Querschnittsmodul Transformation ausführlicher (vgl. Kap. 4.2).

3.3

Der Industrie- sektor





Mit einem Endenergieverbrauch von knapp 800 TWh und direkten Emissionen von rund 190 Millionen t CO₂ im Jahr 2019 ist der Industriesektor ein entscheidender Faktor bei der Erreichung der deutschen Klimaschutzziele. Die CO₂-Emissionen der Industrie sind in den vergangenen Jahren nur langsam gesunken: ein Indikator für die besonderen Herausforderungen bei der Dekarbonisierung des Sektors, zu denen hohe CO₂-Vermeidungskosten und Energiebedarfe gehören. Insbesondere in der energieintensiven Grundstoffindustrie erfordert die Minderung der energie- und prozessbedingten CO₂-Emissionen große Mengen erneuerbarer Energien. Die Substitution fossiler Energieträger und Rohstoffe wird deshalb im Vergleich zu anderen Sektoren mit geringeren Energieeinsparungen einhergehen, der Anteil des Industriesektors am Endenergieverbrauch perspektivisch steigen.

Das Sektormodul Industrie der Leitstudie wird in den Fachdiskussionen sowie in der Modellierung durch den Hauptgutachter EWI begleitet. Im Fokus der Diskussion standen folgende Leitfragen:

- Welche Technologien sind für die Umstellung auf klimaneutrale Produktion nötig?
- Inwieweit und womit lassen sich Prozessemissionen reduzieren? Welche Rolle wird dabei CCS/CCU spielen? Und welche der Einsatz von Wasserstoff?
- Wie können klimaneutrale Produktionsverfahren marktgängig werden?
- Welche Politikinstrumente können Carbon Leakage vermeiden?

In Phase 2 sollen insbesondere diese weiteren Fragen vertieft betrachtet werden: Wie kann die (gesamtsystemische) Energieeffizienz durch eine bessere Integration des Industriesektors erhöht werden, etwa durch die sektorübergreifende Nutzung nicht vermeidbarer Abwärme in Nah- und Fernwärmenetzen? Welche Effekte auf den Energieverbrauch im Industrie- und Gebäudesektor hätte dies? Wo kann der Anteil erneuerbarer Energien erhöht werden? Wie lassen sich die für die Dekarbonisierung der Industrie notwendigen Mengen an Strom und anderen klimaneutralen Energieträgern zu konkurrenzfähigen Bedingungen aufbringen? Wie sieht die Zukunft von KWK-Anlagen aus? Wie kann die Kreislaufwirtschaft für Roh- und Grundstoffe durch mechanische und chemische Recyclingverfahren erhöht werden und welche Effekte auf Ressourcen und Endenergiebedarfe hätte dies? Kann eine Kreislaufwirtschaft für Kohlenstoff etabliert werden, indem CCU in bestehende Wertschöpfungsnetzwerke integriert wird? Welche Voraussetzungen (z. B. Infrastrukturen) sind dafür notwendig? Welche Rolle spielt Biomasse?

Handlungsfeldcluster für Klimaneutralität im Industriesektor

Die Maßnahmen für einen klimaneutralen Industriesektor bis 2050 lassen sich drei Handlungsfeldern zuordnen:

- Umstellung der **Kernprozesse** zur Vermeidung von Prozessemissionen („Low-Carbon Breakthrough Technologies“, LCBT)
- Fortlaufende Erhöhung der **Energieeffizienz** und Umbau zur Kreislaufwirtschaft
- Substitution fossiler durch erneuerbare **Energieträger** und Rohstoffe

Keines der Handlungsfelder kann allein die Zielerreichung im Industriesektor sicherstellen. Grundlegende Bedingung für die Transformation des Industriesektors zur Klimaneutralität ist die Erhaltung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Dies betrifft sowohl neue, klimaneutrale Prozesse als auch bestehende, mit konventionellen Technologien produzierende Anlagen. Eine weitere Grundvoraussetzung für die Erforschung, Entwicklung und Umsetzung neuer, klimaneutraler Prozesstechnologien ist deren Wirtschaftlichkeit. Neue, emissionsärmere Produktionsanlagen können in der Anlaufphase nicht immer mit älteren, bereits abgeschriebenen konkurrieren. Die Mehrkosten für alternative Verfahren können angesichts von Weltmarktpreisen für Grundstoffe derzeit kaum an den Kunden weitergegeben werden. Daher muss die Industrie bei Innovationen und Investitionen in CO₂-Reduktion unterstützt werden.

Zusätzlich ist bei den Überlegungen zur Klimaneutralität des Industriesektors auch die Entwicklung der Nachfrageseite zu betrachten. Energiebedarf und Emissionen des Industriesektors hängen direkt von der Produktionsleistung ab, die wiederum von der Höhe der Nachfrage nach Industrieprodukten aus nationalen und internationalen Abnehmermärkten abhängig ist. Gleichzeitig kann die Transformation der Industrie beschleunigt und wirtschaftlich stabilisiert werden, indem die Nachfrage nach klimaneutral erzeugten Gütern gesteigert wird bzw. klimaneutral erzeugte Güter für die Abnehmer direkte (wirtschaftliche) Vorteile gegenüber emissionsintensiv erzeugten Gütern haben (grüne Leitmärkte). Für die exportintensive Industrie ist entscheidend, dass sich ihre Produkte auf ausländischen Märkten behaupten können.

Die Handlungsfeldcluster des Zieldreiecks sowie die Nachfrageseite und die Notwendigkeit des Erhalts der internationalen Wettbewerbsfähigkeit werden in den nachfolgenden Abschnitten genauer betrachtet. Jedes Cluster wird dabei mit Blick auf bestehende Hemmnisse analysiert. Daraus werden Handlungsoptionen abgeleitet, um Hindernisse abzubauen und die Erreichung der Ziele zu gewährleisten.

CO₂-neutrale Industrieproduktion: Chancen der Transformation

Angesichts einer global zunehmend ambitionierten Klimapolitik kann eine klimafreundliche Produktion die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie festigen und neue Exportpotenziale erschließen. Dies kann dazu beitragen, Produktion und Wertschöpfung langfristig in Deutschland zu halten. Ein Investitionsprogramm für emissionsarme Technologien könnte zudem eine belebende Wirkung für Konjunktur und Arbeitsmarkt haben.

Eine verstärkte Forschung und die Pilotierung von emissionsarmen Produktionsprozessen könnten ein Aufbruchssignal sein: technologische Spin-offs könnten auch in anderen Sektoren großes Innovationspotenzial wecken. Dies würde die Transformation beschleunigen.

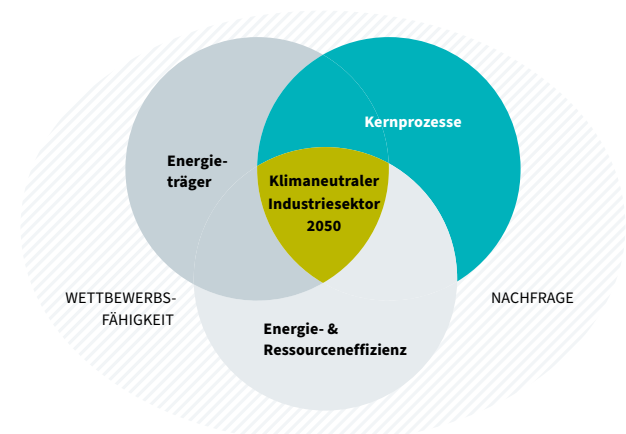
Die Entwicklung neuer Verfahren und politischer Instrumente kann auch positive Auswirkungen auf die Energiewende in anderen Ländern haben, wenn es gelingt, den Industriestandort Deutschland zu erhalten und ihn durch weniger Abhängigkeiten sogar robuster zu machen.

Gesellschaftliche Diskussion

Um Klimaneutralität im Industriesektor zu erreichen, müssen nicht vermeidbare Restemissionen bestimmter Industrieprozesse aus heutiger Perspektive auch langfristig durch technische Senken neutralisiert oder kompensiert werden. Bei CO₂-Punktquellen bietet sich die direkte CO₂-Abscheidung (CCS) an. Beim Einsatz von CCS gibt es jedoch derzeit sowohl technische als auch politische Hürden (Akzeptanz). Es sollte daher zeitnah eine gesellschaftliche Diskussion über den Umgang mit nicht-vermeidbaren Prozessemissionen und zu den Chancen von CCS und auch CCU stattfinden. Darüber hinaus bedarf es einer Strategie zur Entwicklung der notwendigen Technologien und Infrastrukturen sowie des regulatorischen Rahmens.

Die Entwicklung emissionsarmer Produktionstechnologien (LCBT) ist gesamtwirtschaftlich machbar, wenn die richtigen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Sie kann sogar industriepolitisch vorteilhaft sein, die Frage der Finanzierung muss jedoch geklärt werden. Eine Endverbraucherabgabe wäre eine verursachergerechte Option, die zudem eine lenkende Wirkung in Richtung Ressourcensparsamkeit entfalten könnte. Dies setzt die Akzeptanz solcher Maßnahmen bei den Bürgerinnen und Bürgern voraus, auch wenn dies höhere Produktpreise mit sich bringen kann.

3.3.1 Prozessemissionen/treibhausgasarme Kernprozesse



Über die Verbrennung von Energieträgern hinaus verursachen die eingesetzten Prozesse in einigen Industriebranchen erhebliche direkte Treibhausgasemissionen. Insgesamt entstanden 2018 rund 65 Millionen t Prozessemissionen, hauptsächlich CO₂. Zu den relevantesten Prozessen mit den höchsten Emissionen gehört die Herstellung von Eisen, Stahl, Zement, Kalk und Ammoniak.

Für einige dieser Prozesse gibt es bereits emissionsarme Alternativen, die zum Teil kurz vor der Marktgängigkeit stehen, beispielsweise die Eisendirektreduktion (Direct Reduced Iron, DRI) bei der Stahlherstellung. Um die Emissionen im Industriesektor deutlich zu senken, müssen konventionelle Prozesse bis spätestens 2050 quasi vollständig auf LCBT umgestellt werden. Dies erfordert von der Industrie erhebliche technische und ökonomische Anstrengungen.

Für andere Industrieprozesse gibt es nach heutigem Stand keine emissionsarmen Alternativen, beispielsweise zur Entsäuerung des Kalksteins in der Zementherstellung. Die Abscheidung und Nutzung (CCU) oder langfristige Speicherung (CCS) von CO₂ ist vor diesem Hintergrund aus heutiger Sicht in diesen Bereichen eine notwendige Voraussetzung für die Erreichung von Klimaneutralität.

Identifizierte Hemmnisse bei treibhausgas-armen Kernprozessen

Hoher Handlungsdruck aufgrund steigender CO₂-Preise und hohen Reinvestitionsbedarfs: Inkrementelle Maßnahmen, etwa durch Energieeffizienz oder Brennstoffwechsel, könnten kurzfristig zur Erreichung der Klimaziele beitragen, bergen aber ein großes Risiko von „stranded assets“, wenn gleichzeitig noch in konventionelle Technologie mit langer Betriebsdauer (z. B. Hochöfen) investiert wird. Neue Investitionen sollten daher aufgrund der langen Betriebsdauer möglichst in langfristig CO₂-neutrale Verfahren erfolgen.

Carbon Leakage/Investment Leakage: Standortschließungen wären mit hoher Wahrscheinlichkeit irreversibel, da der Neubau von Schwerindustrieanlagen (Green Field) in Deutschland als quasi unmöglich gilt.

Mangelnde Planungssicherheit: Aktuell fehlen passende Rahmenbedingungen, um die notwendigen Investitionen und Maßnahmen umzusetzen, was Investitionszurückhaltung zur Folge hat. Der regulatorische Rahmen ist komplex und teilweise widersprüchlich (z. B. Beihilferegulungen, Förderung, Energiemarktdesign, Hürden für Eigenstromerzeugung). Komplizierte Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie ein Mangel an qualifizierten Arbeitskräften behindern die Umsetzung größerer Projekte.

Schwierige Wirtschaftlichkeit: Neue Technologien sind mit Blick auf die Betriebskosten oft noch nicht wettbewerbsfähig. Die CO₂-Bepreisung allein ist kein ausreichender Anreiz, um auf neue Technologien (LCBT) umzustellen (Vermeidungskosten oft deutlich über 100 Euro pro Tonne, hohe Barrieren). Dazu kommt das sehr hohe Investitionsvolumen für LCBT mit langen Amortisationszeiten. Gleichzeitig herrscht in den teils ohnehin kriselnden Branchen hoher Kostendruck.

Der Einsatz neuer Prozesstechnologien ist von der sicheren Verfügbarkeit großer Mengen CO₂-neutraler Energieträger zu wettbewerbsfähigen Preisen abhängig. Teilweise ist zudem Infrastrukturausbau notwendig, insbesondere für die Strom- und Wasserstoffversorgung, zum Teil auch für den CO₂-Transport.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Aus den identifizierten Hemmnissen ergeben sich folgende Handlungsfelder und Maßnahmen, die im Gutachter- und Partnerkreis diskutiert wurden:

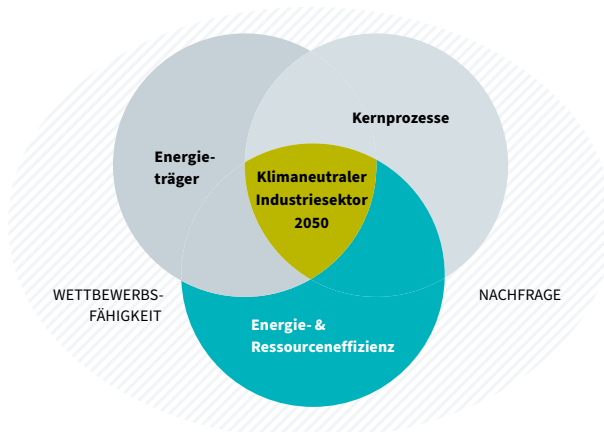
Mechanismen zur Marktgängigkeit für CO₂-arme Technologien sind nötig, damit Unternehmen Investitionssicherheit haben. Diese Mechanismen müssen auf Angebots- und Nachfrageseite wirken. Dabei muss eine geeignete konkrete Umsetzung je Branche bzw. Produktkategorie entwickelt werden. Neben steigenden CO₂-Preisen werden Differenzverträge (CCfD) als wichtigstes Mittel auf der Angebotsseite gesehen, um die Mehrkosten neuer, emissionsarmer Technologien (LCBT) gegenüber bestehenden Technologien für die Investoren auszugleichen. Auf der Nachfrageseite ist die Schaffung von Leitmärkten über öffentliche Beschaffung, Quoten für CO₂-arme Materialien und andere Maßnahmen nötig. Es braucht eine höhere Anschubförderung für Pilotprojekte und eine Hochskalierung von LCBT sowie weitergehende Unterstützung der Industrie bei Kapitalkosten. Dazu müssen Beihilferegulieren und gegebenenfalls die Monitoringverordnung des EU-ETS überarbeitet werden, um Investitionszuschüsse möglich zu machen.

Sowohl die Grundlagenforschung als auch die angewandte Entwicklung weiterer Verfahren und LCBT müssen vorangetrieben werden, insbesondere auch für Produktionsverfahren mit einem längeren Umsetzungshorizont wie beispielsweise Eisenelektrolyse oder Methanpyrolyse.

Es braucht einen möglichst schnellen Kohleausstieg in der Stahlindustrie durch die Umstellung auf gasbasierte Direktreduktion (DRI). Bis zur ausreichenden Verfügbarkeit von „grünem“ Wasserstoff können DRI-Anlagen, die H₂-Ready ausgelegt werden, ohne Lock-in-Effekt auch mit Erdgas betrieben werden, wobei schon bis zu zwei Drittel der Emissionen im Vergleich zu kohlekoksbeheizten Hochöfen eingespart werden können.

Wo erforderlich, müssen infrastrukturelle Weiterentwicklungen als Voraussetzung zur Umstellung auf andere Energieträger adressiert werden. Zudem müssen Genehmigungs- und Planungsprozesse für Infrastrukturen und Investitionen seitens der Industrie deutlich beschleunigt werden.

3.3.2 Energie- und Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft



Eine Erhöhung der Prozesseffizienz verringert den Energie- und Ressourcenbedarf und reduziert die variablen Kosten und den CO₂-Ausstoß nachhaltig. Dazu ist die Erhöhung der Energieeffizienz eine Grundbedingung für die erfolgreiche Transformation zur Klimaneutralität bei Beibehaltung oder Steigerung der Produktionsleistung, da auch erneuerbare Energieträger nicht unbegrenzt verfügbar sind.

Auch eine verstärkte betriebsübergreifende Nutzung nicht vermeidbarer oder betriebsintern nutzbarer Abwärme, insbesondere in Wärmenetzen, kann einen Beitrag zur Senkung des (sektorübergreifenden) Endenergiebedarfes und damit zu einer Verbesserung der (gesamtsystemischen) Energieeffizienz leisten.

Die Verbesserung der Ressourceneffizienz hat mehrere Dimensionen:

Verstärktes werkstoffliches und rohstoffliches Recycling (z. B. chemisches Recycling) kann energieintensive Primärproduktionsprozesse vermeiden und den Bedarf an Primärrohstoffen senken. Dies verringert ebenso die Abfallmengen, die ansonsten der Verbrennung, Endlagerung oder Exportentsorgung zugeführt werden müssten. Außerdem sinkt die Abhängigkeit von importierten (Primär-)Rohstoffen: Emissionen und Umweltschäden durch deren Abbau können vermieden werden.

Geringerer Materialeinsatz (z. B. durch Leichtbau) und die Substitution durch weniger CO₂- oder energieintensive Stoffe führen zu einer verringerten Produktion von Primärmaterialien.

Eine Verstärkung der Nachfrage nach langlebigeren Produkten kann ebenso zu einem Rückgang der Produktionsleistung

und damit zu einem reduzierten Energie- und Ressourcenbedarf führen.

Identifizierte Hemmnisse bei Energie- und Ressourceneffizienz

Sowohl die Energie- als auch die Ressourceneffizienz der Industrie in Deutschland sind in den vergangenen Jahren gestiegen. Die Endenergieproduktivität im Industriesektor verbesserte sich zwischen 1991 und 2017 um durchschnittlich 1,1 Prozent pro Jahr. Der Gesamtenergieverbrauch blieb damit trotz gesteigerter Produktionsleistung in etwa konstant. Dennoch wurden die Zielsetzungen des Energiekonzepts der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 deutlich verfehlt: Um eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent bis 2020 bzw. um 50 Prozent bis 2050 gegenüber dem Jahr 2008 zu erreichen, wäre eine Steigerung der Energieproduktivität um durchschnittlich 2,1 Prozent pro Jahr notwendig gewesen.²²

Auch die Rohstoffproduktivität entwickelte sich sehr positiv und stieg zwischen 1994 und 2015 um mehr als 56 Prozent an. Hier wird jedoch ebenso das mit dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm verbundene Ziel, die Rohstoffproduktivität bis 2020 im Vergleich zu 1994 zu verdoppeln, noch deutlich verfehlt.²³

Verbreitete Hemmnisse für Energieeffizienzprojekte sind die oft langen Amortisationszeiten, ein Mangel an belastbaren Daten, fehlendes Know-how, ein vergleichsweise hoher Transaktionsaufwand und Unsicherheiten bezüglich der Rahmenbedingungen. Darüber hinaus lassen sich Energieeffizienzpotenziale oft nur systemisch erschließen, was geeignete Investitionszyklen voraussetzt und eine höhere Komplexität bei der Umsetzung mit sich bringt. Hier gibt es zum Teil auch Konkurrenzsituationen zwischen internen Ressourcen der Unternehmen, weshalb die Maßnahmen oft erst nach und nach erschlossen werden.

In kleinen Betrieben und in wenig energieintensiven Branchen machen die Energiekosten zudem häufig nur einen geringen Teil der Gesamtkosten aus. Dies führt zu einer niedrigen Priorisierung eines professionellen Energiemanagements und der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in den Betrieben. In einigen Industriezweigen wurden zudem viele Energie- und Ressourceneffizienzpotenziale mit kürzeren Amortisationszeiten bereits ausgeschöpft. Neue emissionsarme Technologien oder Umwelt- bzw. Klimaschutzvorgaben (z. B. für Filteranlagen) oder auch der stärkere Einsatz von Flexibilisierung (DSM) können auch zu erhöhten Energieverbräuchen führen. Für einen sparsamen Umgang mit Ressourcen gibt es im Markt derzeit wenig Anreize, zudem besteht keine Transparenz über den CO₂-Fußabdruck der einzelnen Produkte.

²² BMWi, 2010, „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.html> (18.03.2021).

²³ BMU, 2018, „Höhere Recyclingquoten für EU“, <https://www.bmu.de/pressemitteilung/hoehere-recyclingquoten-fuer-eu/> (18.03.2021).

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Die genannten Hemmnisse für Energie- und Ressourceneffizienzmaßnahmen zeigen, dass in verschiedenen Bereichen Handlungsbedarf besteht. Es bedarf einer Mischung aus Marktbereitigung, Förderung, Information und im Falle eines Marktversagens auch regulatorischer, verpflichtender Maßnahmen, um die Energie- und Ressourceneffizienz in Deutschland schnell voranzutreiben. Folgende Handlungsfelder gibt es:

Unterstützung der Maßnahmen entlang der Handlungsketten in den Unternehmen (Erstinformation, Motivation und Beratung): Hierzu zählen Informationsmaterialien, Motivations- und Sensibilisierungskampagnen, eine Professionalisierung der Beratungsangebote, der Ausbau von Energiemanagementsystemen sowie die Schaffung einer belastbaren Datengrundlage. Die Weiterentwicklung und der Ausbau der Energieeffizienznetzwerke können ebenso einen wichtigen Beitrag leisten.

Weiterführung und Verbesserung der Instrumente zur Erhöhung der Energieeffizienz in Kernprozessen und Querschnittstechnologien: Nötig sind stärkere Anreize für Unternehmen, auch in Energieeffizienzmaßnahmen mit längerer Amortisationszeit zu investieren. Ansatzpunkte sind der Ausbau zinsfreier Darlehen, bessere steuerliche Absetzbarkeit, Fortführung und Verbesserung bestehender Förderprogramme und die Gleichbehandlung der Investitionen von Contractoren und Produktionsunternehmen, z. B. bei Förderinstrumenten und Privilegien.

Zu empfehlen ist die Kombination eines marktorientierten Ansatzes mit einem obligatorischen Phase-out emissionsintensiver, ineffizienter Anlagen, um den Weiterbetrieb überholter Altanlagen zu minimieren.

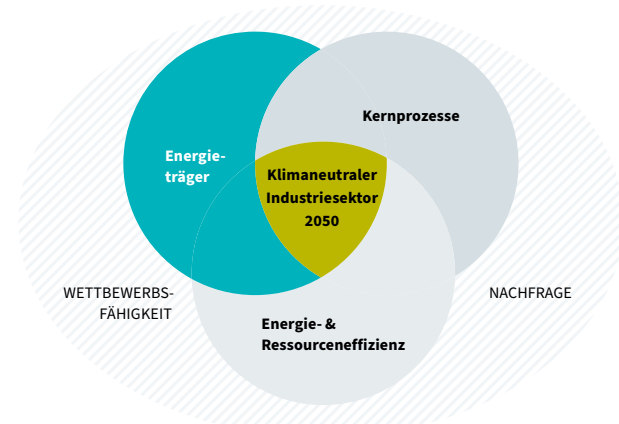
Die **Einspeisung industrieller Abwärme in Wärmenetze** sollte erleichtert werden, wo die Vermeidung oder interne Nutzung in den Unternehmen nicht möglich ist. Dies verbessert die Gesamtsystemeffizienz. Hierfür sind der Auf- und Ausbau kommunaler Fernwärmenetze sowie – wenn möglich – die Umstellung auf Niedrigtemperaturwärmenetze erforderlich. Dies kann auch über eine Anpassung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) erfolgen, das die Förderung des Fernwärmeausbaus regelt. Um bessere Anreize zur Wärmeauskopplung zu setzen, sollten die entsprechenden Förderprogramme und Einspeiservergütungen zudem angepasst werden. Ein Wärmealas, der die Potenziale flächendeckend darstellt, wäre ein hilfreiches Instrument. Bei situativem Marktversagen könnten größere Abwärmeemissionen über das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) reguliert werden.

Innovationen für einen effizienteren Materialeinsatz sollten technologieoffen gefördert werden, in Kombination mit verbindlichen Vorgaben (z. B. Ökodesign-Richtlinien von Endprodukten). Dazu ist die Stärkung von Ansätzen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sinnvoll (z. B. höhere Recyclingquoten, Qualitätsstandards für recycelbare Endprodukte, Anpassung von Normen, Beseitigung von Hemmnissen für chemisches Recycling, verpflichtende Wiederverwendung gewisser Rohstoffe).

Verpflichtende Kennzahlen zur Ausweisung des CO₂-Fußabdrucks von Zwischen- und Endprodukten über die gesamte Wertschöpfungskette sollten eingeführt werden. Ziel ist, den Verbrauchenden externe Kosten transparent zu machen und diese möglichst verursachergerecht zuzuordnen. Dies könnte mit dem Zugang zu Fördermitteln verknüpft werden.

Über Forschungsprojekte hinaus wäre eine Förderung innovativer Pilotprojekte mit hohem CO₂-Einsparpotenzial sinnvoll, die eine schnellere und risikoärmere Marktdurchdringung ermöglichen.

3.3.3 Erneuerbare und klimaneutrale Energieträger und Rohstoffe



Die Emissionsintensität der Energieträger hat unmittelbaren Einfluss auf die Menge der ausgestoßenen Treibhausgase. Eine vollständige Substitution fossiler Energieträger und Rohstoffe durch erneuerbare Energien sowie alternative, erneuerbar bzw. klimaneutral erzeugte Rohstoffe ist daher notwendige Voraussetzung für Klimaneutralität im Industriesektor.

Erneuerbare Energieträger sind aktuell noch nicht in ausreichender Menge verfügbar. Die Geschwindigkeit des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung in Deutschland ist zu niedrig. „Grüner“ Wasserstoff ist ebenfalls nur in geringen Mengen verfügbar. Im Zuge der Dekarbonisierung werden die Strom- und Wasserstoffbedarfe weiter steigen, sodass die Lücke größer wird. Die Industrie ist auf zuverlässige und sichere Infrastrukturen und Versorgungsketten im In- und Ausland angewiesen.

Identifizierte Hemmnisse für klimaneutrale Energieträger

Für Unternehmen bestehen erhebliche regulatorische und preisliche Hürden bei der Eigenstromproduktion durch Photovoltaik, Windkraft oder Abwärmeverstromung, u. a. durch die EEG-Umlage.

Die Technologien zur Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff sowie für die Elektrifizierung von Prozessen sind vorhanden. Sie müssen aber zur Marktreife im industriellen Maßstab gebracht werden. Erneuerbare Energieträger wie Wasserstoff oder „grüner“ Strom sowie die damit verbundenen Abgaben, Umlagen und Entgelte sind aktuell deutlich teurer als fossile Brennstoffe wie Kohle und Gas, auch unter Berücksichtigung des CO₂-Preises und im internationalen Vergleich.

Bei der begrenzt verfügbaren Biomasse sowie bei Wasserstoff gibt es (zumindest in der Hochlaufphase) eine Nutzungskonkurrenz mit anderen Sektoren. In der Chemieindustrie hat der stoffliche Einsatz von Biomasse großes Potenzial als effiziente Kohlenstoffquelle, die CO₂ je nach Produkt bzw. Verwendung langfristig binden kann. Der energetische Einsatz in Verbindung mit CCS, beispielsweise in der Zementindustrie, bietet gar die Chance von Negativemissionen. Der Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff hat besonders hohes Minderungspotenzial, in einigen Bereichen der Industrie ist er sogar alternativlos: Die Substitution von Methan durch „grünen“ Wasserstoff als Brennstoff senkt die Treibhausgasemissionen um ca. 240 g CO₂e/kWh H₂. Die Substitution von „grauem“ durch „grünen“ Wasserstoff kann in der Chemieindustrie zu Emissionsminderungen von über 300 g/kWh führen und der Ersatz von Koks- und Braunkohle in der Stahlindustrie sogar zu Einsparungen bis zu 800 g/kWh.

Ein wichtiger Hebel bei der Dekarbonisierung ist die Elektrifizierung. In den meisten Prozessen kann Strom fossile Energieträger ersetzen, um Prozesswärme bereitzustellen. Bei Temperaturen bis etwa 200 Grad Celsius können Hochtemperaturwärmepumpen mit einer kWh Strom mehr als eine kWh Brennstoffe ersetzen. Auch bei vielen Hochtemperaturprozessen gibt es marktreife oder in Entwicklung befindliche Optionen zur Elektrifizierung.

Bei einigen Anwendungen, insbesondere im Hochtemperaturbereich oder bei der stofflichen Nutzung, werden aus heutiger Perspektive auch weiterhin gasförmige Brennstoffe benötigt. Dort, wo neue Prozesse flexibel mit Erdgas oder Wasserstoff betrieben werden können, ist der Umstieg unabhängig von der derzeitigen Verfügbarkeit von Wasserstoff möglich (z. B. DRI in der Stahlindustrie), womit schon ein Teil der CO₂-Einsparungen erreicht werden kann. Für andere Prozesse ist ein bestimmter Energieträger erforderlich (z. B. Strom, Wasserstoff, Methan).

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger und Rohstoffe in der Industrie gibt es folgende Handlungsoptionen:

Stromeinsatz: Für die Nutzung von (erneuerbarem) Strom sollte es bessere Anreize geben, insbesondere wenn hocheffiziente Technologien wie Wärmepumpen zum Einsatz kommen. Hierfür kommen Förderprogramme für die entsprechenden Technologien, aber auch eine Verschiebung der Abgabenlast von Strom hin zu Brennstoffen infrage. Durch ein geeignetes Marktdesign sollten dabei Anreize für den Einsatz von Lastflexibilisierung (Demand Side Management, DSM) gesetzt werden. In der Übergangszeit könnten Hybridanlagen wie innovative KWK-Systeme mit Power to Heat (P2H) zu Emissionsenkungen beitragen.

Die Hindernisse bei der Eigenstromerzeugung müssen beseitigt werden (z. B. EEG-Befreiung), außerdem sollte es zusätzliche Anreize geben (z. B. Solarpflicht bei Neubauten).

Wasserstoff: Forschung und Entwicklung zu wasserstoffbasierten Technologien sollten verstärkt gefördert werden, auch im Rahmen von Pilotanlagen. Wo der Einsatz von Wasserstoff sinnvoll und wirtschaftlich ist, sollten Förderinstrumente und branchenspezifische Lösungen wie Carbon Contracts for Difference (CCfD) geschaffen werden. Angesichts des zu erwartenden, steigenden Bedarfs sollte der Aufbau der notwendigen Infrastrukturen zügig starten, damit die benötigten Energieträger verlässlich zur Verfügung stehen und Engpässe vermieden werden können.

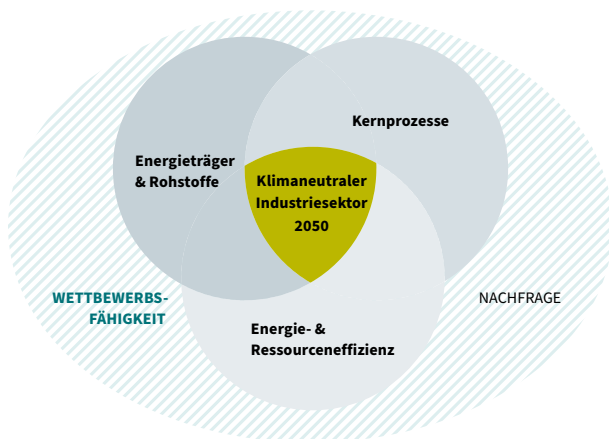
Neu errichtete Produktionsanlagen sollten auf die künftige Nutzung CO₂-armer oder freier Energieträger ausgerichtet sein, um Lock-in-Effekte zu vermeiden; so sollten neue Brennkessel immer H₂-Ready sein.

Es bedarf klarer politischer Rahmenbedingungen, um mögliche Konkurrenzen bei der Nutzung „grünen“ Wasserstoffs aufzulösen (im Spannungsfeld Klimawirkung, Zahlungsbereitschaft, sofortige Einsatzfähigkeit, Alternativlosigkeit). Ein „Level Playing Field“ mit fairen Kriterien und Bedingungen für alle Sektoren wäre eine gute Lösung, damit die Industrie genügend Wasserstoff beziehen kann, um ihre Klimaziele zu erreichen.

Biogene und sonstige Energieträger und Rohstoffe: Ein verstärkter (insbesondere stofflicher) Einsatz von Biomasse in der Industrie sollte ermöglicht werden. Auch hier gilt es, etwaige Nutzungskonkurrenzen zu beachten und aufzulösen. Limitierende Faktoren sind die Gesamtverfügbarkeit und die Nachhaltigkeit. Der direkte Einsatz erneuerbarer Energien in Produktionsprozessen sollte stärker gefördert werden, beispielsweise solare Prozesswärme oder Geothermie, um Skalierungseffekte zu ermöglichen.

Die Industrie ist hinsichtlich Klimaneutralität auch abhängig von den Vorketten. Unter anderem müssen die Erzeugungseinheiten und Infrastrukturen in ausreichender Form bereitstehen und klimaneutrale Energieträger und Rohstoffe mit hoher Versorgungssicherheit anbieten.

3.3.4 Wettbewerbsfähigkeit



Im Gegensatz zu den Sektoren Gebäude und Verkehr zeichnet sich der Industriesektor durch eine starke Einbindung in den Welthandel aus. Durch geringe Transaktionskosten insbesondere infolge der Digitalisierung und niedriger Transport- und Logistikkosten werden die meisten Güter global gehandelt. Die Unternehmen stehen daher in vielen Branchen im internationalen Wettbewerb, teilweise mit Unternehmen in Ländern ohne Treibhausgasbesteuerung, etwa bei Grundstoffen, komplexen technischen Maschinen und Anlagen, bei Konsum- und Investitionsgütern. Nationale und europäische Klimaschutzvorgaben haben Einfluss auf die Kostenstrukturen dieser Unternehmen und damit unmittelbare Auswirkungen auf deren internationale Wettbewerbsfähigkeit.

Unter der Prämisse, dass der Industriestandort Deutschland mit seiner großen volkswirtschaftlichen Bedeutung erhalten bleiben soll, muss die Transformation des Industriesektors daher so gestaltet werden, dass die internationale Wettbewerbsfähigkeit erhalten bleibt. Um eine (auch schleichende) Deindustrialisierung Deutschlands durch eine Verlagerung von Produktionsstandorten und Emissionen ins Ausland (Carbon Leakage) zu vermeiden, bedarf es geeigneter Rahmenbedingungen und Anreize, um den Umstieg auf neue Technologien attraktiver zu machen. Zumindest in einer Übergangszeit muss aber auch die Wettbewerbsfähigkeit konventioneller Technologien (z. B. Stahl aus Hochöfen) gesichert bleiben. CO₂-arme oder -freie Produktionsverfahren müssen trotz der Mehrkosten marktgängig gemacht werden.

Andere Staaten und Weltregionen haben sich bereits ambitioniertere Klimaziele gesetzt oder werden dies tun, sodass die klimafreundliche Transformation der Industrie auch international langfristig zum Wettbewerbsfaktor werden wird. Ob und wann diese Klimaziele aber tatsächlich legislativ umgesetzt werden und inwieweit sie mit einer CO₂-Bepreisung oder anderen Maßnahmen einhergehen werden, ist jedoch noch offen.

Identifizierte Hemmnisse für Wettbewerbsfähigkeit

Steigende CO₂- und Energiepreise könnten insbesondere bei Grundstoffen zu einer sinkenden Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu Weltregionen mit niedrigeren Energiekosten oder weniger strengen Klimaschutzvorgaben führen, zumal die deutsche Wirtschaft mit ihrer hohen Exportquote sehr stark in den Welthandel eingebunden ist. Die Umsetzung eines wirksamen Schutzes vor Carbon Leakage ist herausfordernd und muss auf EU-Ebene koordiniert und beschlossen werden. Bei Einführung eines Grenzmechanismus (CBAM) könnten zudem Widerstände bei Handelspartnern oder der WTO auftreten.

Eine CO₂-neutrale Produktion scheint in vielen Industriebranchen technisch möglich und volkswirtschaftlich sinnvoll zu sein. Sie kann sogar neue Chancen für deutsche Unternehmen auf den Weltmärkten eröffnen. Allerdings sind die Rahmenbedingungen nicht hinreichend verlässlich, damit Unternehmen die verbundenen sehr hohen Investitionen tätigen – insbesondere mit Blick auf die erforderliche langfristige Planungssicherheit, da Investitionen mit Amortisationszeiträumen von mehreren Dekaden notwendig sind. Die Geltungsdauer des regulatorischen Rahmens und die Entwicklung der Nachfrage nach klimaneutral erzeugten Produkten sind ebenso Unsicherheitsfaktoren.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Steigende Klimaschutzambitionen müssen mit einem robusten Schutz vor Carbon Leakage verbunden werden. CO₂-Grenzausgleichsmechanismen (Carbon Border Adjustment Mechanisms) werden dafür in Teilen der Industrie als geeignete Option gesehen, die konkrete Umsetzung dürfte sich aber in vielen Branchen als komplex erweisen. Zudem dürfen sie nicht zur Abschottung von Weltmärkten führen. Weitere Optionen wie Verbrauchsabgaben sollten ebenfalls geprüft werden. Die EU-Klimadiplomatie sollte auf abgestimmte CO₂-Preise mit anderen Ländern oder Weltregionen hinarbeiten.

Eine Ausweitung des EU-ETS auf andere Sektoren (Verkehr, Gebäude) wird in der Industrie teilweise kritisch gesehen oder abgelehnt, solange kein funktionierender Carbon-Leakage-Schutz existiert. Es besteht die Sorge, dass die hohe Zahlungsbereitschaft in anderen Sektoren den CO₂-Preis für die Industrie erhöhen und damit die Wettbewerbsfähigkeit gefährden könnte. Zudem würden dadurch keine oder nicht ausreichende Klimaschutzmaßnahmen in den Nichtindustriesektoren ergriffen. Das EU-ETS-Cap würde zwar weiter sinken, aber die CO₂-Reduktion würde primär der Industrie angelastet. Eine politische Deckelung des CO₂-Preises zum Schutz der Industrie könnte dagegen wiederum die Lenkungswirkung für andere Sektoren zu stark einschränken.

In der Übergangsphase bis zur Etablierung eines anderen Carbon-Leakage-Schutzes werden kostenlose Zuteilungen im Rahmen des EU-ETS als weiterhin erforderlich erachtet. Gleichwohl sollten Subventionen für fossile Energieträger minimiert und über steigende CO₂-Preise Anreize für eine möglichst schnelle Transformation gesetzt werden.

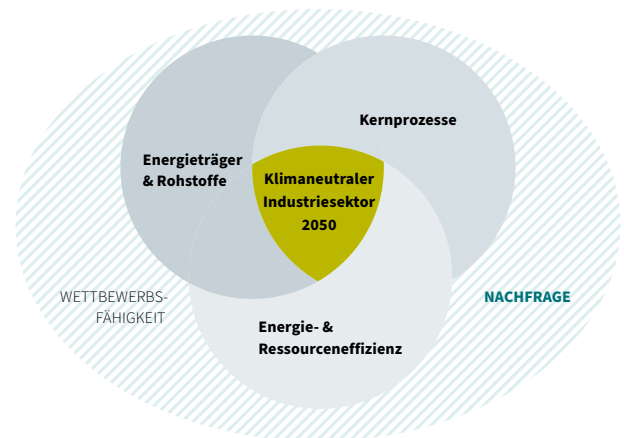
Die politischen Rahmenbedingungen müssen hinreichend stabil sein, um Investoren Vertrauen und Vorhersehbarkeit für Entscheidungen zu geben sowie um „stranded assets“ zu vermeiden.

Eine stärkere Harmonisierung der Rahmenbedingungen innerhalb der EU (und auch auf globaler Ebene) wäre wünschenswert, um die Dekarbonisierung der Industrie in einem „Level Playing Field“ zu ermöglichen und einen fairen Wettbewerb zu sichern.

Gesellschaftliche Diskussion

Der zunehmende Import erneuerbarer Energieträger mit vergleichsweise hohen Transportkosten erzeugt ein Spannungsfeld zwischen dem Erhalt lokaler Wertschöpfung in Deutschland und der zum Teil kostengünstigeren Produktion in anderen Ländern. Dies kann zu einer Verlagerung nachfolgender Wertschöpfungsstufen in die exportierenden Länder führen. Deshalb ist eine gesellschaftliche Diskussion über Wertschöpfung im Inland erforderlich: Was ist es uns wert, komplette Wertschöpfungsketten in Deutschland zu halten? Wann ist dies volkswirtschaftlich sinnvoll? Und welche Bedeutung haben einzelne Branchen oder Produktkategorien?

3.3.5 Nachfrageentwicklung



Der Energiebedarf und die Emissionen der Industrie hängen direkt von der Produktionsleistung ab. Aber auch gesellschaftliche Trends wie die demografische Entwicklung, ein zunehmendes Umweltbewusstsein und Suffizienzdenken sowie die digitale Entwicklung zur „Shared Economy“ haben Einfluss auf die Nachfrage.

Die Nachfrage nach Industrieprodukten verändert sich auch durch steigende Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsanforderungen in anderen Sektoren. So kann ein verstärkter Fokus auf nachhaltiges Bauen durch Leichtbau, Baustoffrecycling oder die Nutzung nachhaltiger biogener Ersatzstoffe zu einem geringeren Bedarf an CO₂-intensiven Materialien führen. Der Umstieg vom privaten PKW auf den öffentlichen Nahverkehr oder das Fahrrad spart nicht nur Antriebsenergie, sondern bedeutet auch weniger Stahlverbrauch in der Fahrzeugherstellung und weniger Zementverbrauch für den Bau von Parkplätzen und anderer Infrastruktur.

Die Veränderung des Konsumverhaltens und bessere Standards für nachhaltige Produkte in Deutschland und der EU können durch direkte und indirekte Effekte auch zu Emissionsreduktionen in Exportländern außerhalb der EU führen.

Da klimaneutral hergestellte Produkte zumindest anfangs teurer als konventionell erzeugte Produkte sind, kann ein Marktversagen entstehen (Kaufbereitschaft ist grundsätzlich vorhanden, Zahlungsbereitschaft nicht). Um die gesamtgesellschaftlich positiven Effekte zu erreichen, bedarf es daher wirksamer Anreize, um die Mitwirkungs- und Veränderungsbereitschaft der Konsumenten zu erhöhen.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Obwohl die Kosten der Umstellung auf emissionsarme Herstellungsverfahren im Vergleich zum Weiterbetrieb bestehender Anlagen und Prozesse relativ hoch sind, würden die Mehrkosten bei den meisten Produkten nur eine geringe Erhöhung des Endverbraucherpreises nach sich ziehen. Eine Endverbraucherumlage könnte ein sinnvoller Weg sein, um die Kosten der Transformation (z. B. über CCfD) verursachergerecht zu finanzieren. Zudem müssen klimaneutrale Produkte entsprechend beworben und gekennzeichnet werden, um sie attraktiver zu machen.

Beispiel Stahl: Die Umstellung der Stahlerzeugung auf emissionsarme H₂-Direktreduktion verursacht, je nach den getroffenen Annahmen, Mehrkosten je Tonne Rohstahl zwischen 100 und 200 Euro gegenüber dem heutigen kohlekoks-basierten Prozess.²⁴ Die Mehrkosten des so erzeugten emissionsarmen Stahls im Automobilbau, der etwa ein Viertel des deutschen Stahlbedarfs ausmacht, betragen weniger als ein Prozent des durchschnittlichen Neuwagenpreises 2019 in Deutschland und weniger als der übliche Aufpreis etwa für einen Metallic-Lack.²⁵

Die Marktgängigkeit CO₂-armer Produkte muss durch entsprechende Anreize erhöht werden. Entsprechende Leitmärkte mit hohen Volumina könnten hierzu einen Beitrag leisten. Als geeignete Instrumente sind verpflichtende Quoten oder die Bevorzugung bei der öffentlichen Beschaffung denkbar.

Beispiel Bauwirtschaft (rund 35 Prozent des deutschen Stahlbedarfs²⁶): Durch die bevorzugte Beschaffung klimafreundlichen Stahls im Rahmen öffentlicher Bauprojekte könnte aufgrund der großen Bedeutung dieses Segments ein wichtiger Leitmarkt entstehen. Die Vorbildfunktion des öffentlichen Sektors spielt zusätzlich eine wichtige Rolle.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Marktintegration CO₂-armer Produkte ist die Erhöhung der Sichtbarkeit und Transparenz des CO₂-Fußabdrucks über die Wertschöpfungskette (Labelling). Ein stärkerer Fokus sollte auf der Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus liegen (Berücksichtigung der Lebensdauer, also der Emissionen bei der Herstellung, Nutzung bis zur Desinvestition). Eine Stärkung der Nachfrage nach Gütern mit längerer Lebensdauer ist wünschenswert; bei der wirtschaftlichen Entwicklung sollte der Fokus weniger auf der Quantität als auf der ökologischen Qualität liegen (gleiche Leistung mit weniger Umweltschäden).

3.3.6 Offene Fragen

- In Phase 1 der dena-Leitstudie wurden noch nicht alle Anwendungen auf ihr Potenzial für eine Kreislaufwirtschaft untersucht. Vor allem das Kunststoffrecycling (mechanisch und/oder chemisch) könnte in der chemischen Industrie Potenzial für Energieeinsparungen und die Nutzung von CO₂ haben.
- Der Erhalt des Industriestandorts Deutschland war zunächst als generelle Grundvoraussetzung gesetzt. In den Diskussionen trat jedoch eine differenziertere Sichtweise zutage, nach der die Verlagerung der Produktion bestimmter Energieträger durchaus Vorteile haben könnte. Weiterhin ist offen, wie sich ein Rückgang des Baubooms sowie die Verwendung alternativer Baustoffe auf die Zementnachfrage auswirken werden und ob es hier einen stärkeren Rückgang geben könnte. Unvermeidbare Restemissionen aus industriellen Prozessen erfordern den Einsatz technischer CO₂-Senken in einem klimaneutralen Szenario. In welchem Umfang und an welchen Punkten CCS und CCU effizient eingesetzt werden können und müssen, soll geprüft werden. Eine zentrale Rolle spielt dabei auch die notwendige Infrastruktur für die Abscheidung, den Transport und die Speicherung bzw. Nutzung von CO₂.
- In vielen Niedrig- und Hochtemperaturprozessen lassen sich fossile Brennstoffe durch Strom oder klimaneutrale Gase ersetzen. Im Rahmen der weiteren Modellierungen soll diese Option stärker mit Blick auf die Prozesseffizienz und die Wirtschaftlichkeit in den jeweiligen Szenarien untersucht werden.
- In der industriellen Produktion wie im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) spielen Querschnittstechnologien wie Wärmeerzeuger, Kompressoren oder Ventilatoren eine wichtige Rolle. Die Energieeffizienzpotenziale dieser Technologien sollen intensiv geprüft werden.
- In der Phase 2 sollen die Investitionskostenaspekte der Industrie genauer spezifiziert werden. Relevante Fragen sind: Wie hoch sind die notwendigen Investitionen? Welche Mehrkosten entstehen durch die neuen Herstellungsverfahren? Könnte es Innovationen geben, die als „Game Changer“ einen besonderen, disruptiven Einfluss auf Energieverbräuche oder -bereitstellung in der Industrie haben könnten?

²⁴ Agora Energiewende, 2019, „Klimaneutrale Industrie“.

²⁵ Durchschnittlicher Neuwagenpreis: - 37.200 Euro. DAT-Report, 2020, „Durchschnittliche Preise für Neuwagen nach ausgewählten Käufergruppen in Deutschland im Jahr 2019“, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1109615/umfrage/durchschnittliche-neuwagenpreise-nach-kaeufertypen-in-deutschland/> (16.01.2021).

²⁶ Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2020, „Anteil am Stahlbedarf in Deutschland“, https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2020/04/Anteil_am_Stahlbedarf_April2020.png (16.01.2021).

3.4

Der Verkehrs- sektor



Das vierte Sektormodul verbindet Automobilhersteller, Mineralölwirtschaft und Bioenergiebranche, Vertreter der Luftfahrt, Mobilitätsanbieter sowie die Energiewirtschaft. Das EWI hat die inhaltliche Arbeit begleitet und die Modellierung der Transformationspfade sowie der energiesystemischen Wirkungen übernommen.

In Phase 1 lag der Fokus auf technischen, ökonomischen und politischen Entwicklungen, die für die Transformationspfade entscheidend sind. Auch die Herausforderungen bei der Etablierung emissionsarmer Kraftstoffe und Antriebsoptionen in allen Bereichen des Verkehrs wurden in den Blick genommen. Darüber hinaus wurden die Folgen oder potenzielle Folgewirkungen der Covid-19-Pandemie im Verkehrssektor diskutiert.

Folgende Leitfragen standen im Mittelpunkt:

- Welche technischen und ökonomischen Entwicklungen beeinflussen die zukünftige Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit von Technologien und Dienstleistungen im Verkehrssektor?
- Welche Tendenzen bezüglich der Verkehrsentwicklung und Verkehrsträgerwahl können in den kommenden Jahren die Entwicklung bzw. den Markthochlauf emissionsärmerer Alternativen treiben?
- Welche Rahmenbedingungen auf nationaler und europäischer Ebene beeinflussen die Produkt-/Portfolioentscheidungen der Marktakteure wie beispielsweise der Fahrzeughersteller?
- Welche Vor- und Nachteile haben verschiedene erneuerbare (insbesondere strombasierte) Kraftstoffe und welche Bedeutung könnte dies für deren Markteintritt und -hochlauf haben?
- Welche kurz- und mittelfristigen Auswirkungen hat die Covid-19-Pandemie auf die Verkehrsträgerwahl?

Die projektbeteiligten Unternehmen und Institutionen erwarten unter den aktuellen Rahmenbedingungen keine signifikanten Veränderungen des Mobilitätsverhaltens oder der Verkehrsträgerwahl. Bei weiterhin niedrigen anteiligen Transportkosten bleibt die Internationalisierung des Güterverkehrs hoch. Die Verkehrsleistung in diesem Segment steigt also weiter an. Die aktuelle Marktentwicklung elektrifizierter Antriebe ist weitgehend auf technologiespezifische Subventionen in Kombination mit regulatorischen Vorgaben zurückzuführen.

Von der Covid-Pandemie ist insbesondere der öffentliche Verkehr stark betroffen. Eine geringere Nachfrage in Verbindung mit steigenden Kosten für Personal und Fahrzeuge erzeugt wirtschaftlichen Druck. Auch der Luftverkehr ist im Jahr 2020 deutlich zurückgegangen. In der langfristigen Entwicklung wird erwartet, dass der nationale Luftverkehr gegenüber dem Vorkrisenniveau sinken, der internationale Verkehr jedoch weiter ansteigen wird.

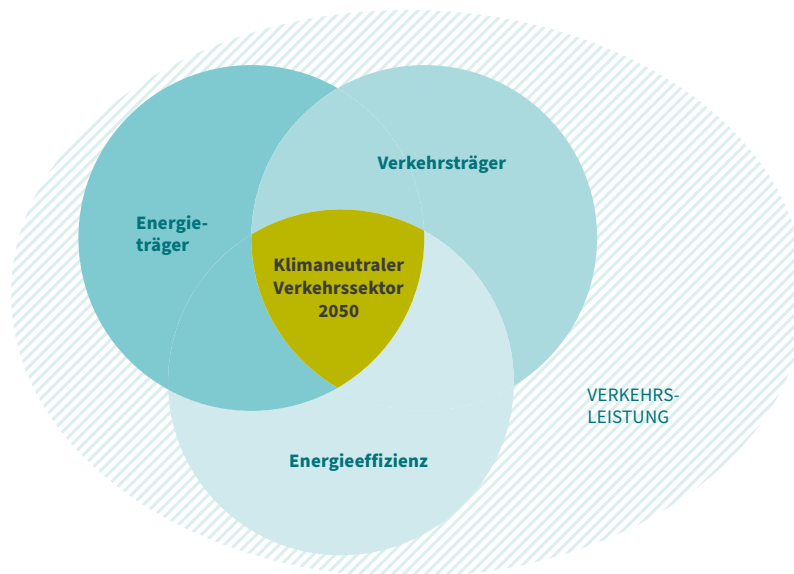
Handlungsfeldcluster für Klimaneutralität im Verkehrssektor

Mögliche Maßnahmen zur Transformation des Verkehrssektors hin zur Klimaneutralität lassen sich in drei sektorspezifische Handlungsfeldcluster unterteilen:

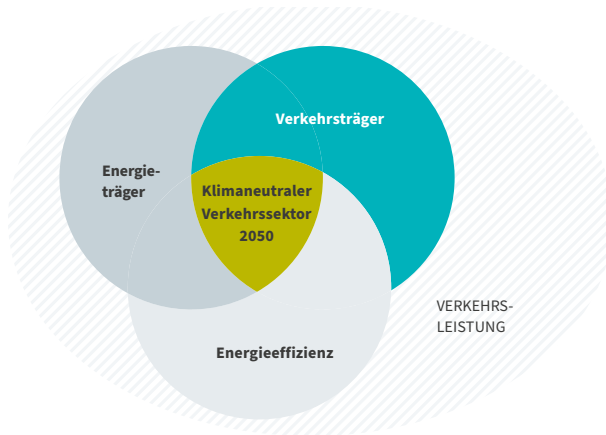
- Die Wahl der **Verkehrsträger** für Güter- und Personenverkehr.
- Die Steigerung der **Energieeffizienz** aller Antriebsarten aller Verkehrsmittel in Kombination mit der Durchdringung innovativer Antriebsarten.
- Die Nutzung **erneuerbarer Energien** für alle eingesetzten Kraftstoffe als Voraussetzung für eine THG-Minderung des Bestands und eine tiefgreifende Treibhausgasreduzierung ab 2030.

Kein Handlungsfeld kann alleine die Klimaneutralität des Verkehrssektors sicherstellen.

Die nachgefragte **Verkehrsleistung** ist direkt mit dem Energiebedarf des Verkehrssektors verknüpft und hat daher großen Einfluss auf dessen Emissionen. Maßgebliche Treiber der Nachfrage sind die demografische Entwicklung, das Konsumverhalten sowie die weitere Entwicklung globaler Wertschöpfungsketten.



3.4.1 Verkehrsträger



Die nationale Treibhausgasemissionsbilanz im Verkehrssektor hängt entscheidend vom Straßenverkehr ab. Im Jahr 2018 waren im Verkehrssektor rund 62 Prozent der Treibhausgasemissionen auf Straßenpersonen- und weitere 34 Prozent auf Straßengüterverkehr zurückzuführen.²⁷ Die derzeitige Bedeutung des Straßenverkehrs spiegelt sich auch in der Verkehrsträgerwahl wider. Sowohl im Personen-, als auch im Güterverkehr dominiert der straßengebundene Verkehr: 74 Prozent des Personenverkehrs finden als motorisierter Individualverkehr (MIV) auf der Straße statt, beim Güterverkehr erbringen straßengebundene Nutzfahrzeuge rund 71 Prozent der Verkehrsleistung.²⁸

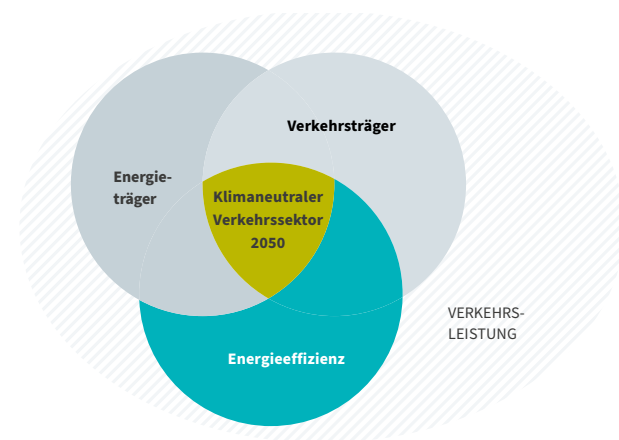
Eine Verlagerung des Verkehrs auf Schienen oder Wasserstraßen kann einen Beitrag zur Emissionsreduktion wie zur Entlastung der Straßen leisten. In den vergangenen Jahrzehnten ist das trotz intensiver Bemühungen nur in geringem Maße gelungen. Nur weitreichende infrastrukturelle, finanzpolitische und regulatorische Änderungen können zu einer Verschiebung der Anteile zwischen den Verkehrsträgern führen.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Eine stärkere Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf öffentlichen Verkehr (ÖV) auf der Schiene und mit Bussen kann die Emissionen schnell, wirksam und kosteneffizient senken. Besonders in dicht besiedelten Gebieten kämen zusätzliche positive externe Effekte hinzu: geringere Luftverschmutzung, weniger Lärmemissionen, höhere Verkehrssicherheit und geringerer Platzbedarf.

Nach Einschätzung der Expertinnen und Experten hat die Verlagerung der Verkehrsnachfrage auf den öffentlichen Verkehr großes Potenzial. Dieses Potenzial ist jedoch regional sehr unterschiedlich. Bei einer hohen Verkehrsnachfrage ist das Verlagerungspotenzial begrenzt. Ob der öffentliche Verkehr in den kommenden Jahren tatsächlich Marktanteile gewinnen kann, wird stark von seiner Wettbewerbsfähigkeit und der Geschwindigkeit von Optimierungs- und Ausbaumaßnahmen abhängen. In den letzten Jahren hat der ÖV aufgrund deutlich steigender Personalkosten an finanzieller Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem motorisierten Individualverkehr verloren. Die Personalkosten werden in den nächsten Jahren voraussichtlich weiter steigen. Die sehr ambitionierten Anforderungen an die Beschaffung emissionsfreier Fahrzeuge im ÖV erhöhen den wirtschaftlichen Druck auf die Kommunen und Länder. Höhere Beförderungspreise oder eine Ausdünnung des Angebots können die Verkehrsverlagerung vom MIV zum ÖV zusätzlich erschweren. Die Wettbewerbsfähigkeit des ÖV gegenüber dem MIV kann nur durch Pull- und Push-Maßnahmen gesteigert werden – also durch kombinierte Einschränkung des MIV und eine Förderung des ÖV.

3.4.2 Energieeffizienz und Antriebsarten



In allen Bereichen des Verkehrssektors ist die spezifische Effizienz, also der Energiebedarf je zurückgelegtem Personen- oder Tonnenkilometer, in den vergangenen Jahrzehnten gestiegen. Dies liegt an der verbesserten Energieeffizienz der Verkehrsmittel selbst wie an optimierten Planungs- und Logistikprozessen. Diese Effizienzsteigerung konnte die Gesamtemissionen aber nicht absolut reduzieren, sondern nur deren Anstieg abschwächen.

²⁷ UBA, 2019, „Treibhausgas-Emissionen in Deutschland“, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland> (18.03.2021).

²⁸ BMVI, 2020, „Verkehr in Zahlen 2020/2021“, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehr-in-zahlen.html> (18.03.2021).

Der Energieeffizienz von Antrieben wird in den kommenden Dekaden zunehmend wichtiger. Bei einem steigenden Anteil an erneuerbaren Energieträgern wird Energieeffizienz für die Nutzer auch zunehmend wichtig, um höhere Kosten für die eingesetzten Energieträger zu kompensieren. Auch werden hocheffiziente Antriebe wichtig sein, um die schnell wachsende Nachfrage nach erneuerbaren Energien decken zu können.

Die Entwicklung der Anteile verschiedener Antriebstechnologien geht nach Einschätzung der Projektbeteiligten weniger auf technologieoffene Rahmenbedingungen zurück, sondern mehr auf regulatorische Vorgaben, Subventionen und Steuererleichterungen. Während zum 1. Januar 2020 erst rund 136.000 reine batterieelektrische Personenkraftwagen insgesamt zugelassen waren (0,3 Prozent des Bestands), wurden allein im Jahr 2020 mehr als 194.000 Elektroautos neu zugelassen (Anteil: 6,7 Prozent aller Neuzulassungen). Insgesamt machten Pkw mit alternativen Antrieben (batterieelektrische und Hybrid- bzw. Plug-in-Hybridfahrzeuge sowie Erdgas- und Flüssiggasfahrzeuge) in 2020 mit 25,2 Prozent bereits mehr als ein Viertel aller neu zugelassenen Personenkraftwagen aus (Benzin: 46,7 bzw. Diesel :28,1 Prozent). Der Anteil elektrischer Fahrzeuge macht zum 1. Januar 2021 trotzdem erst 0,7 Prozent des Gesamtbestands aus (Benzin: 64,8 bzw. Diesel: 31,5 Prozent).²⁹

Im Straßenverkehr sind die EU-Flottenzielwerte maßgeblich für die Tendenzen für Entwicklungs- und Marktinvestitionen. Bei Bussen des ÖV greift die Clean Vehicle Directive (CVD) und in der Schifffahrt sind es die Vorgaben der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO). Die Investitionstreiber im Luftverkehr sind der hohe Wettbewerbsdruck zwischen den Unternehmen sowie der relativ hohe Anteil des Kerosins an den Gesamtkosten.

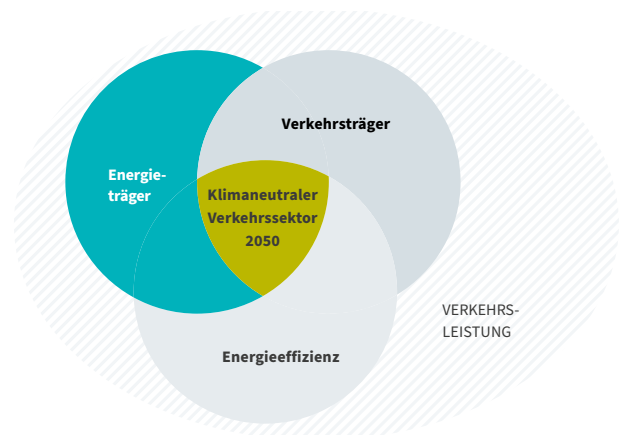
Die derzeit bestehenden EU-Flottenzielwerte für Pkw und Nutzfahrzeuge werden in den kommenden Jahren voraussichtlich zu einem deutlich größeren Marktanteil von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV/PHEV) und auch von Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) führen. Die Nachfrage der Verbraucher nach diesen Technologien wird maßgeblich durch die Subventionen in Kauf und Haltung der Fahrzeuge sowie den subventionierten Aufbau von Lade- und H₂-Tankstelleninfrastruktur gelenkt. Ohne diese Subventionen würde der Absatz elektrifizierter Fahrzeuge deutlich geringer ausfallen. Die Erreichung der Flottenzielwerte wäre für die Fahrzeughersteller folglich schwieriger.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Die Senkung des Energieverbrauchs durch Steigerung der Energieeffizienz aller Antriebe ist wichtig, um die direkten Treibhausgasemissionen zu reduzieren und ausreichend erneuerbare Energieträger bereitstellen zu können. Neben Strom sind hier auch erneuerbare Energieträger wie klimaneutral erzeugte Gase und Flüssigkraftstoffe gemeint.

Entscheidend für die Erhöhung der Energieeffizienz und die Emissionsminderung ist die weitere Elektrifizierung der Antriebe im Straßenverkehr. Dies dient unmittelbar der Erreichung der Klimaziele im Verkehrssektor. Elektrische Antriebe allein werden jedoch nicht ausreichen, um Klimaneutralität in der Mobilität insgesamt zu erreichen. Für den Gütertransport oder für große Distanzen werden weitere Technologien benötigt.

3.4.3 Erneuerbare Energieträger



Die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger ist Voraussetzung für eine Emissionsminderung der Bestandsflotte aller Verkehrsbereiche. Das gilt über elektrifizierte Antriebe (Batterie und Brennstoffzelle) hinaus für alle neuen Antriebe. Der derzeitige Anteil von erneuerbaren Kraftstoffen liegt bei etwa 5,5 Prozent und soll gemäß RED II im Jahr 2030 bei mindestens 14 Prozent liegen.³⁰ Mit Blick auf den Green Deal wird der Anteil erneuerbarer Energieträger bis und insbesondere nach 2030 sogar deutlich höher liegen müssen als bisher in RED II und in der nationalen Umsetzung vorgesehen.

²⁹ Kraftfahrtbundesamt (KBA), 2021, „Neuzulassungsbarometer 2020“, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/fz_n_MonatlicheNeuzulassungen_archiv/2020/202001_Glmonatlich/202001_nzbarometer/202001_n_barometer_gentab.html (18.03.2021); KBA, 2021, „Bestandsbarometer“, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/fz_b_jahresbilanz_archiv/2020/2020_b_barometer.html (18.03.2021); sowie eigene Berechnungen.

³⁰ BMWi, 2021, „Aktuelle Informationen: Erneuerbare Energien im Jahr 2020“, https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Aktuelle-Informationen/aktuelle-informationen.html (18.03.2021).

Der wachsende Anteil elektrischer Antriebe sorgt auch für wachsenden Strombedarf im Verkehrssektor. Für einen Beitrag zur Minderung der nationalen Treibhausgasemissionen muss der benötigte Fahrstrom aus erneuerbaren Quellen stammen. Der Verkehrssektor wird zukünftig also – wie andere Verbrauchssektoren auch – signifikante Mengen an erneuerbarem Strom nachfragen. Für die Bereitstellung des Ladestroms von Pkw und Nutzfahrzeugen werden Netze und weitere Infrastrukturen gebraucht; diese werden in Phase 2 der dena-Leitstudie untersucht. Hier werden Kosten über den bloßen Strom hinaus entstehen. Intelligente Ladelösungen bieten jedoch schon heute die Möglichkeit eines systemdienlichen Ladens. Diese Lösungen werden in Zukunft verstärkt zum Einsatz kommen müssen.

Die projektbeteiligten Expertinnen und Experten sind sich einig, dass durch Elektrifizierung allein keine ausreichende Treibhausgasreduzierung des Verkehrssektors erreicht werden kann. Auch zukünftig wird Bedarf für gasförmige und flüssige Kraftstoffe bestehen. Das muss auch bei der Bestandsflotte aller Verkehrsträger berücksichtigt werden. Hier bedarf es eines massiven Ausbaus der Nutzung erneuerbarer flüssiger und gasförmiger Kraftstoffe. Im Sinne eines „Level Playing Fields“ sollten Treibhausgasreduzierungsquoten so ausgelegt werden, dass eine langfristige Planungssicherheit und ein attraktives Marktumfeld für erneuerbare Kraftstoffe entstehen.

Welche der verschiedenen strombasierten Kraftstoffe sich in den kommenden Jahren am schnellsten im Markt durchsetzen, sollte der Markt entscheiden. „Grüner“ Wasserstoff (H₂), „grünes“ Methan (CH₄) und auch kohlenstoffbasierte flüssige Energieträger haben jeweils Vor- und Nachteile.

Wasserstoff bedarf keiner Kohlenstoffquelle, ist jedoch durch den hohen benötigten Druck und die starke Temperaturabsenkung bei Transport, Lagerung und Distribution zum Endverbraucher kostenintensiver als heute verwendete Kraftstoffe. Durch den zukünftigen Einsatz von Pipelines könnten die Transportkosten deutlich gesenkt werden. Zunächst wird Wasserstoff jedoch nur über geringe bis mittlere Distanzen transportiert werden. Methan hat günstigere Transport- und Speichereigenschaften. Zudem können synthetisches Methan und Biomethan ohne Beimischungsgrenzen dem fossilen Methan beigemischt werden. Das bietet insbesondere Chancen für den Einsatz im Straßengüterverkehr. Auch Gas-Pkw ließen sich mit Biomethan

und synthetischem Methan schnell mit klimaneutral erzeugten Kraftstoffen betreiben. Flüssige synthetische Kraftstoffe haben die günstigsten Transporteigenschaften und können zudem die bestehenden Lager-, Transport- und Tankinfrastrukturen für Benzin, Diesel und Kerosin mitnutzen. Sie könnten auch aus weit entfernten Erzeugungsmärkten kostengünstig importiert werden. Dafür bedarf es einer raschen Definition von Standards für die Nutzung von Kohlenstoffquellen, für die Nutzung von Erneuerbarem-Strom aus Netzbezug und für die Benennung von Standardemissionswerten in den entsprechenden Richtlinien.

Handlungsfelder zur Zielerreichung

Der Anteil erneuerbarer Energieträger muss bei Verbrennungsmotoren und (teil-)elektrifizierten Antrieben stark ausgebaut werden, um ausreichend zur Emissionsminderung beizutragen. Dafür bedarf es regulatorischer wie auch finanzpolitischer Anpassungen auf EU- und nationaler Ebene.

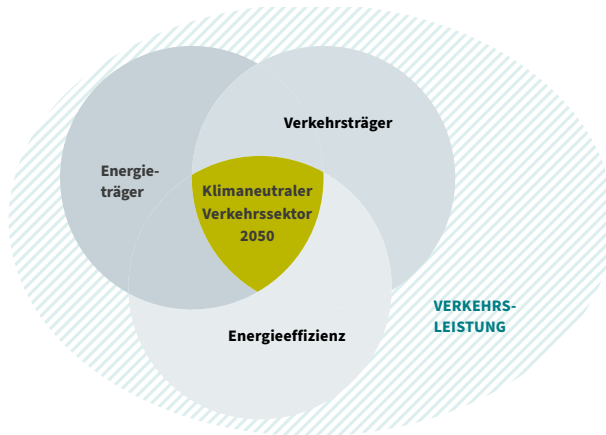
Im Straßenverkehr besteht die höchste Zahlungsbereitschaft für Energie. Hier könnte ein schneller Wachstumsmarkt für Bioenergieträger der zweiten Generation sowie Powerfuels entstehen. Die Marktentwicklung für erneuerbare Energieträger könnte hier verursachergerecht und subventionsfrei erfolgen. Von den Kostendegressionen würden auch andere Sektoren profitieren.

Um die Bereitstellung von strombasierten Energieträgern zu fördern, werden verlässliche Rahmenbedingungen gebraucht – insbesondere hinsichtlich Stromherkunft und Kohlenstoffquellen.

Powerfuels bieten ein großes Potenzial zur Dekarbonisierung. Sie werden jedoch voraussichtlich bis 2030 noch nicht in ausreichenden Mengen zum Einsatz kommen, um allein die 2030-Klimaziele im Verkehrssektor zu erfüllen.

Die unterschiedlichen Verkehrsträger unterscheiden sich in ihrem Potenzial zur Effizienzsteigerung durch einen Antriebswechsel. Gleichwohl werden in Zukunft alle Verkehrsträger Powerfuels einsetzen und somit als Nachfrager konkurrieren.

3.4.4 Verkehrsleistung



Menschen und Güter werden zunehmend mobil. Die Verkehrsleistung ist in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen und ein wesentlicher Treiber des Emissionsanstiegs im Verkehrssektor. Die größten Wachstumsraten verzeichneten im Personenverkehr in den 1990er- und 2000er-Jahren Einkaufs-, Freizeit- und Urlaubsverkehr. In den vergangenen 15 Jahren sind dagegen anteilig die Arbeits- und Dienstwege gewachsen. Sie machen derzeit 37 Prozent der Personenverkehrsleistung aus. Der Güterverkehr ist durch eine starke internationale Arbeitsteilung mit steigenden Transportdistanzen geprägt. Die regionalen und nationalen Kurier-Express-Paket-Dienstleistungen gehören ebenfalls zum Güterverkehr und weisen zweistellige Wachstumsraten auf.³¹

Die Projektpartner erwarten in den kommenden Jahren bei bestehenden politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen keine signifikanten Änderungen der nachgefragten Verkehrsleistung. Das gilt sowohl für das Mobilitätsverhalten als auch für die Wahl der Verkehrsträger. Die Internationalisierung des Güterverkehrs wird hoch bleiben und nach Einschätzung der Projektbeteiligten weiter steigen. Trotz potenziell steigender absoluter Transportkosten werden diese anteilig an den Gesamtkosten der Produkte weiterhin sehr gering bleiben. Ein kostenbedingter Nachfragerückgang der Transportleistungen und Transportdistanzen ist also nicht zu erwarten.

Der Luftverkehr ist ebenso wie der ÖV im Jahr 2020 aufgrund von Covid-19 stark zurückgegangen. Die Branche erwartet ein Erreichen des Vorkrisenniveaus nicht vor 2024. Langfristig geht man davon aus, dass die rein nationalen Luftverkehre zugunsten der Bahn zurückgehen, jedoch die internationalen Luftverkehre weiterhin deutlich steigen.

3.4.5 Weitere Handlungsfelder zur klimafreundlichen Gestaltung des Verkehrssektors

Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen sind elektrische Mobilitätsoptionen (Batterie, Plug-in-Hybrid, Brennstoffzelle) im Individualverkehr für Verbraucherinnen und Verbraucher kaum wirtschaftlich. Dies gilt sowohl für den Personenverkehr als auch für den Güterverkehr und insbesondere für Fahrzeuge, die auf die öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen sind. Zudem ist unter den derzeitigen Rahmenbedingungen noch kein wirtschaftlich selbsttragendes Geschäftsmodell zum Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur möglich. Die derzeitigen Förderungen zum kurzfristigen Markthochlauf alternativer Antriebe müssen angepasst werden, um die Wirtschaftlichkeit von emissionsarmen Mobilitätsoptionen zu erhöhen.

Bei der Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens müssen zudem derzeit fehlende Standards für die zu nutzenden Powerfuels im Rahmen der RED II und bei der nationalen Umsetzung geschaffen werden. Das Anforderungsniveau der RED II müsste in der nationalen Umsetzung höher sein, um stärker zur Erreichung der Klimaschutzziele des Verkehrssektors bis 2030 beizutragen. Insbesondere bedarf es mehr Entschlossenheit zu erneuerbaren Kraftstoffen sowie klarer Standards für die Nutzung strombasierter Kraftstoffe.

Die Ausgestaltung der EU-Flottenzielwerte von Fahrzeugen wird sich auf die Investitionen der Fahrzeughersteller auswirken. Allerdings muss parallel auch die Entwicklung von Lade- und Betankungsinfrastruktur mitgedacht werden. Eine bessere Differenzierung der Energieträgerpreise nach dem jeweiligen CO₂-Ausstoß der Energieträger könnte ebenfalls den Marktzugang erneuerbarer Energieträger und den effizienten Einsatz von Energieträgern begünstigen.

Insgesamt fehlen derzeit konsistente finanzielle und regulatorische Rahmenbedingungen zur Forcierung der Energiewende im Verkehr. Industrie und Verbraucher brauchen langfristige Planungs- und Investitionsperspektiven.

³¹ BMVI, 2020, „Verkehr in Zahlen 2020/2021“, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehr-in-zahlen.html> (18.03.2021).

Weitere Impulse

Verlässliche Rahmenbedingungen sind Voraussetzung für die notwendigen Investitionen in neue Technologien, Kraftstoffe und Geschäftsmodelle. Die am Projekt beteiligten Unternehmen weisen darauf hin, dass kurzfristige Maßnahmen durch die Überprüfungsmechanismen im Klimaschutzgesetz die langfristige Planungssicherheit reduzieren und Investitionsrisiken erzeugen können. Politik und Wirtschaft sollten daher zur Verbesserung der Planungssicherheit gemeinsam darauf hinwirken, neue Maßnahmenprogramme von Anfang so ambitioniert zu gestalten, dass Nachsteuerungen vermieden werden. Für die Unternehmen ist es wichtig, dass frühzeitig transparent gemacht wird, in welchen Sektoren voraussichtlich zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen erforderlich werden.

Wichtig ist auch eine klare Kommunikation der Politik: Sie muss Unternehmen wie Bevölkerung frühzeitig aufklären, dass emissionsintensive Mobilität zukünftig deutlich teuer werden wird. Parallel ist zu vermitteln, wie weit neue Mobilitätsangebote und effizientere Verkehrsmittel den Kostenanstieg kompensieren können.

Klimaschutz, erneuerbare Energieträger und Effizienztechnologien beeinflussen die Kosten für Mobilität und die Einnahmen der öffentlichen Hand. So wird das Aufkommen aus Energie- und Kraftfahrzeugsteuer in den kommenden Jahren erheblich sinken, wenn nicht eine grundlegende Anpassung erfolgt. Auch sind die steuerlichen Anreize und Begünstigungen von Kraftstoffen, Antrieben, Infrastruktur und Verkehrsverhalten teils widersprüchlich. Einzelne Förderungen wie Kaufprämien für Fahrzeuge oder Steuerbefreiungen sind keine langfristig wirksame Strategie. Es bedarf Rahmenbedingungen, die es wirtschaftlich machen, in Effizienztechnologien, erneuerbare Energieträger und innovative Verkehrsangebote zu investieren.

3.4.6 Offene Fragen

- In den in Phase 1 ermittelten Transformationspfaden enthalten die Fahrzeugparks große Anteile an Hybrid- bzw. Plug-in-Hybridfahrzeugen. Die Frage, ob dies sachgerecht ist, kann nicht abschließend beantwortet werden. Bei stärkerer Kostendegression in der Batterieherstellung könnten rein elektrisch betriebene Fahrzeuge eine zunehmend größere Rolle gegenüber Hybridfahrzeugen einnehmen.
- Basierend auf den Flottenentscheidungen deutscher Fahrzeughersteller wird Wasserstoff im Pkw-Bereich eine geringe Bedeutung beigemessen. Gleichwohl gibt es Wasserstoffkooperationen europäischer und asiatischer Autobauer. Die tatsächliche Bedeutung von Wasserstoff muss näher untersucht werden.
- Gegenüber vorherigen Studien wurden die Kraftstoffeffizienzannahmen bereits nach unten korrigiert. In Phase 2 werden diese Zahlen noch einmal auf dem Prüfstand stehen.
- Es gibt nationale und europäische Ziele zum Einsatz von Sustainable Aviation Fuel (SAF) im Luftverkehr. Ob diese unterschiedlichen Ziele für die nationalen Luftverkehrsunternehmen umsetzbar sind und ob es eine Konkurrenz um SAF mit dem Straßenverkehr geben wird, ist noch unklar.
- Bisher sind in den Quantifizierungen nicht die potenziellen erneuerbaren Kraftstoffanteile ab 2025 abgebildet. Welche Anteile gesetzt werden sollten und wie sich diese am Markt auswirken, ist zu klären.
- Welche Maßnahmen kommen zur Erreichung der Sektorziele für 2030 infrage, falls diese nicht mit Effizienz und Erneuerbaren erreicht werden können?
- Bereits heute sind in Metropolen Ansätze für eine verstärkte Nutzung von Mikromobilität im Personen- und Güterverkehr zu beobachten. In Phase 2 soll das Potenzial der Mikromobilität als Teil der Verkehrswende diskutiert werden.

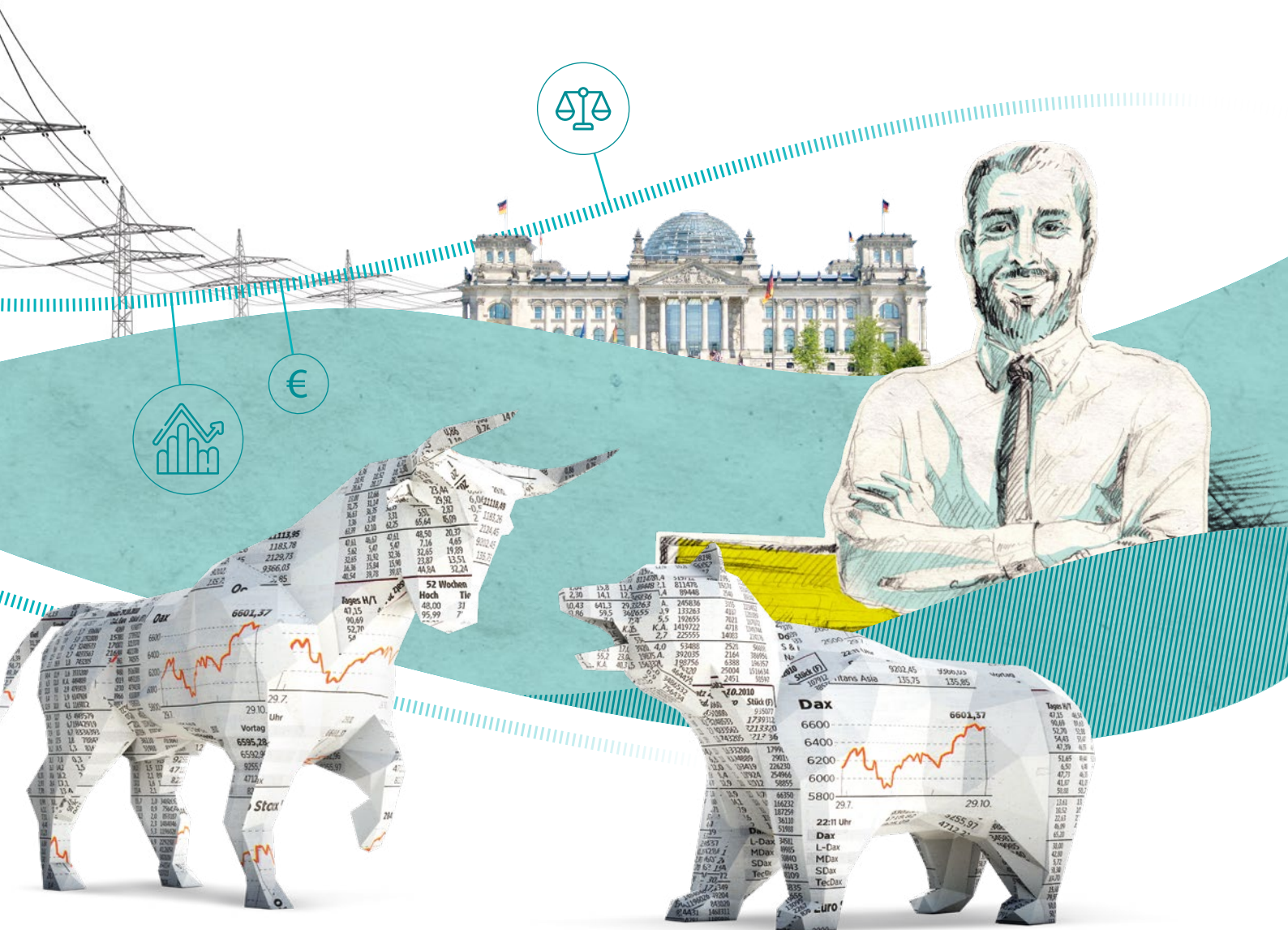
4

Querschnittlicher Blick

- 4.1 Querschnittsmodul**
Energiamarktdesign
- 4.2 Querschnittsmodul**
Transformation
- 4.3 Querschnittsmodul**
Wirtschaft und Europa

4.1

Querschnitts- modul Energie- marktdesign



Ziele des Querschnittsmoduls Energiemarktdesign

In diesem Abschnitt werden die allgemeinen Ziele des Querschnittsmoduls Energiemarktdesign beschrieben. Der Begriff „Energiemarktdesign“ ist hier weit gefasst und geht über die Definition von Marktregeln für die wettbewerblich organisierten Bereiche der Energieversorgung hinaus. Er umfasst die generellen Rahmenbedingungen der betrachteten Sektoren, einschließlich möglicher Planungs- und Regulierungsvorgaben für leitungsgebundene Infrastruktur. Diese breitere Perspektive ist essenziell für die Gestaltung der Transformation des Energiesystems hin zur Klimaneutralität.

Im Fokus steht die Frage, welche Anreize sich aus den Elementen des Marktdesigns für Investitionen in klimaneutrale Technologien bzw. notwendige Infrastrukturen ergeben. Auch soll geklärt werden, wie das Marktdesign die Koordination und die Effizienz der notwendigen Investitionen im wettbewerblichen Umfeld sicherstellen kann. Hier stehen sich stark regulierte Bereiche wie die leitungsgebundene Infrastruktur und weniger stark regulierte Bereiche wie die Erzeugung gegenüber.

Im Rahmen des Projekts werden zu diesen beiden zentralen Handlungsfeldern Vorschläge erarbeitet. Diese Rahmenbedingungen müssen effektiv und kosteneffizient sein. Marktbasierende Ansätze haben Vorrang. Darüber hinaus ist die Konsistenz mit den in den Szenarien entwickelten Entwicklungspfaden sicherzustellen.

Im Projekt sollen die zentralen Handlungsfelder zur Weiterentwicklung des aktuellen Marktdesigns und Handlungsoptionen aufgezeigt werden, um die Transformation zur Klimaneutralität effizient zu gestalten. Im Einzelnen werden die folgenden Themen behandelt:

- Lenkungswirkung des CO₂-Preises (unter Berücksichtigung des Carbon-Leakage-Problems)
- Flankierende Lenkungsinstrumente
- Instrumente zur Gesamtoptimierung
- Ausbau der Infrastruktur

Zunächst werden Hürden identifiziert und anschließend mögliche Anpassungen zur Korrektur von Marktversagen aufgezeigt. Die Ableitung von Empfehlungen erfolgt in Phase 2.

Ziele und Vorgehen im Querschnittsmodul Energiemarktdesign in Phase 1

Zu Beginn des Arbeitsprozesses wurde ein mehrstufiges Vorgehen zur Herleitung der Schwerpunktthemen (siehe 4.1.1) festgelegt. Zunächst wurden die Anforderungen an das zukünftige Energiemarktdesign gemeinsam mit den Studienpartnern definiert. Erarbeitete Thesen beschrieben den Soll-Zustand des Energiemarktdesigns der Zukunft.

Darauffolgend wurden die Hürden identifiziert, die einer Erfüllung der durch die Partner definierten Anforderungen und dem Soll-Zustand im Weg stehen. Zugrunde liegt das Verständnis, dass die Rolle des Staates im Grundsatz begrenzt ist und er zunächst nur den Rahmen für das wirtschaftliche Handeln definieren soll. Innerhalb des definierten Rahmens sind die Wirtschaftsakteure gefragt, unternehmerische Aktivitäten umzusetzen. Für diese Aktivitäten muss das Marktdesign Hürden beseitigen und richtige Anreize setzen.

Der beschriebene Prozess mündete in die Festlegung der Themenbereiche, die in Phase 2 schwerpunktmäßig behandelt werden.

4.1.1 Themenbereiche im Querschnittsmodul Energiemarktdesign

Zwischen den Projektbeteiligten besteht folgendes gemeinsames Verständnis bezüglich der Anforderungen an das Marktdesign:

- Grundsätzlich sind durch das Marktdesign ausreichende Anreize für Investitionen in Erzeugung, Transportinfrastruktur, Nachfrageflexibilität und Speicher sicherzustellen, um das angestrebte Ziel der Klimaneutralität zu erreichen.
- Wettbewerbliche Rahmenbedingungen sollen beim Ausbau der Versorgungsinfrastruktur (z. B. beim Hochlauf von PtX) wo immer möglich angestrebt werden, ergänzt um eine Regulierung von leitungsgebundener Transportinfrastruktur.
- Die Koordination der Akteure soll durch Marktprinzipien erfolgen. Dazu zählen die Diskriminierungsfreiheit, Technologieneutralität und der Einsatz von Knappheitspreisen (wo möglich).
- Grundsätzlich sollen negative externe Effekte (vor allem Umwelt-/Klimaexternalitäten) durch gleichmäßige Bepreisung (z. B. CO₂-Preis) internalisiert werden. Dabei kann es sektorspezifische Abweichungen geben, sofern soziale Aspekte (Verteilungswirkung) oder administrativer Aufwand einer Umsetzung des Grundprinzips entgegenstehen.

Im Rahmen einer Online-Umfrage unter den Projektbeteiligten wurden die folgenden Themen identifiziert:

Steuerungsinstrumente in Ergänzung zum CO₂-Preis: Dieses Schwerpunktthema umfasst die Analyse des Änderungsbedarfs bei Steuerungs- und Finanzierungsinstrumenten im Energiesektor mit dem Ziel der Sicherstellung einer effektiven CO₂-Bepreisung aller Emissionen.

Zusätzliche Marktmechanismen für effiziente und adäquate Investitionsanreize: Innerhalb dieses Schwerpunktthemas werden Investitionsanreize im bestehenden Marktrahmen für die Erzeugung und die Nachfrage (insbesondere mit Blick auf deren Flexibilisierung) in den verschiedenen Sektoren untersucht. Es wird geprüft, ob zur Zielerreichung zusätzliche Anreize (etwa für Investitionen in innovative Technologien) notwendig sind.

Regulierungsrahmen für Infrastruktur: Hier sollen bestehende Hürden im Regelrahmen für eine effiziente und koordinierte Weiterentwicklung der Infrastrukturen (insbesondere Gas, Strom und Wasserstoff) identifiziert und notwendige Anpassungen vorgeschlagen werden.

4.1.2 Diskussion der zentralen Herausforderungen

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die zentralen Herausforderungen, die im Querschnittsmodul behandelt werden. Eine Ausarbeitung und Diskussion der Handlungsoptionen ist für die Phase 2 vorgesehen.

Lenkungswirkung CO₂-Preis

Die Lenkung von Investitionen in klimaneutrale Technologien basiert maßgeblich auf dem CO₂-Preis, der über den EU-ETS³² und den nationalen Emissionshandel (BEHG³³) für die verschiedenen Sektoren festgelegt wird. Grundsätzlich sind diese Instrumente geeignet, um die notwendigen Investitionen in den Sektoren anzureizen. Das inhärente Problem der Carbon Leakage in Sektoren, die im internationalen Wettbewerb stehen, muss gesondert adressiert werden.³⁴ Allerdings ist die Ausgestaltung beider Instrumente über die aktuellen Handelsperioden (EU-ETS 2030, BEHG 2026) hinaus aktuell nicht festgelegt. Das führt zu erheblicher regulatorischer Unsicherheit, mögliche Veränderungen in der Ausgestaltung der Instrumente beeinflussen die zukünftige Entwicklung des CO₂-Preises.³⁵

Insbesondere bei langlebigen Investitionen in Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen mit Lebensdauern jenseits der aktuellen Handelsperiode (>2030) deckt sich der Investitionszeitraum nicht mit dem bestehenden Regelrahmen für den EU-ETS bzw. des BEHG. Das bedeutet, dass der CO₂-Preis als zentrales Lenkungsinstrument für diese Investitionen keine ausreichende Lenkungswirkung erzielen kann. Aus heutiger Sicht ist offen, wie umfassend die Zertifikatobergrenze (Cap) in Abhängigkeit von den Klimaschutzvorgaben für den Zeitraum nach 2030 reduziert werden wird, welche Sektoren in den EU-ETS nach 2030 einbezogen werden und ob Mechanismen wie Mindestpreise in der nächsten Handelsperiode zum Einsatz kommen. Darüber hinaus kann die Volatilität der Preise in den Zertifikatmärkten eine Herausforderung für die Marktteilnehmer sein.

Um diese Hürden zu überwinden, werden mehrere Handlungsoptionen im Rahmen dieser Studie evaluiert. Dies sind die Einführung von langfristigen Mindestpreispfaden, der Einsatz von staatlichen Absicherungsinstrumenten (Hedging) und die staatliche Investitionsförderung. Diese Auswahl sagt zunächst nichts darüber aus, inwiefern die betrachteten Instrumente geeignet sind, um die identifizierten Hürden zu adressieren.

Flankierende Lenkungsinstrumente

Die CO₂-Bepreisung soll zentrales Lenkungsinstrument zur Erreichung der Klimaneutralität sein. Zugleich besteht Einigkeit, dass es eines flankierenden Instrumentariums bedarf. Das gilt vor allem für die Sektoren, die keinem Emissionshandel unterliegen³⁶. Andererseits entstehen heute Verzerrungen zwischen den Sektoren durch unterschiedliche staatlich induzierte Preisbestandteile (SIP³⁷), die beim Strom einen erheblichen Umfang angenommen haben. Diese SIP dienen teilweise der Internalisierung von externen Kosten (wie etwa Umweltschäden) oder fließen direkt dem Bundeshaushalt zu, um staatliche Ausgaben zu finanzieren. Allerdings werden diese SIP teilweise in unterschiedlicher Höhe in den Sektoren erhoben, was zu Verzerrungen zwischen den Sektoren führen kann. In der Konsequenz werden die Energiepreise verzerrt und ein fairer Wettbewerb innerhalb und zwischen den Sektoren gehemmt.³⁸ In der aktuellen Debatte zeigt sich diese Problematik insbesondere im Strombereich, Verzerrungen entstehen aber auch über den Strompreis hinaus. Insgesamt muss sichergestellt bleiben, dass jeder Sektor einen Dekarbonisierungspfad einschlägt.

³² Europäische Kommission, 2015, „EU ETS Handbook“.

³³ dena, 2021, „dena-Positionspapier: Begrenzte Umlage der BEHG Kosten – Investitionen stärken“, [https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-positionspapier-begrenzte-umlage-der-behg-kosten-investitionsanreize-staerken/\(11.1.2021\)](https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-positionspapier-begrenzte-umlage-der-behg-kosten-investitionsanreize-staerken/(11.1.2021)).

³⁴ Im Rahmen dieses Projekts wird dieses Thema im Querschnittsmodul 3 aufgegriffen.

³⁵ Helm, D. und Hepburn, C., 2005, „Carbon contracts and energy policy: an outline proposal“, Working Paper, University of Oxford.

³⁶ Darüber hinaus kann die Entwicklung neuer, klimaschonender Technologien unter Umständen eine direkte Förderung rechtfertigen.

³⁷ Vgl. Stiftung Umweltenergie recht, 2019, „SIP-Übersicht“, www.strompreisbestandteile.de (18.03.2021).

³⁸ Acatech, 2020, „CO₂ bepreisen, Energieträgerpreise reformieren: Wege zu einem sektorenübergreifenden Marktdesign“, <https://www.acatech.de/publikation/co2-bepreisen-energietraegerpreise-reformieren/> (18.03.2021).

Der CO₂-Preis dient dazu, die Klimaschäden, die sich aus dem Energiekonsum ergeben, zu internalisieren, wobei laut dem „Polluter Pays Principle“ die CO₂-Bepreisung für alle Emittenten gelten sollte. Neben dem CO₂-Preis sollten also nur noch solche SIP Bestand haben, die entweder zur Finanzierung der Infrastrukturen dienen oder die andere Externalitäten internalisieren. So soll vermieden werden, dass diese SIP die Lenkungswirkung des CO₂-Preises schwächen. Daher gilt es sicherzustellen, dass Verzerrungen zwischen dem CO₂-Preis und den SIP als auch die Verzerrungen zwischen den Sektoren abgebaut werden, um einen fairen Wettbewerb zwischen den Energieträgern und Sektoren zu ermöglichen. Bei der Ausgestaltung gibt es eine Reihe von Fragen, die in der zweiten Projektphase untersucht werden.

Weiterentwicklung der Instrumente zur Gesamtoptimierung

Die Projektbeteiligten sind sich weitgehend einig darüber, dass die Synergien und Flexibilitätspotenziale, die sich aus der Sektorkopplung³⁹ ergeben, in Zukunft verstärkt genutzt werden sollten. Der bestehende Regelrahmen für die Einzelinfrastrukturen setzt keine ausreichenden systemoptimierenden Anreize. Beispiele hierfür sind die gegenwärtige Anreizregulierung und die Netzentgeltsystematik. Der Grund ist, dass die Regeln in den einzelnen Sektoren jeweils eigenständig gewachsen sind, ohne eine gemeinsame Optimierung der Infrastrukturen anzustreben.

Mit der zunehmenden Kopplung der Sektoren ergibt sich nun die Notwendigkeit, die Anreize aus verschiedenen Regeln in den Sektoren im Sinne einer Gesamtoptimierung aufeinander abzustimmen. Sonst droht ein ineffizienter Ausbau der verschiedenen Infrastrukturen mit entsprechend höheren Kosten. Konkrete Auswirkungen würde das insbesondere für die Regulierungsregime der Strom- und Gaswirtschaft haben sowie für mögliche Regeln und die Regulierung für neue Energieträger (Powerfuels). Auch Nachfrage und Erzeugung der verschiedenen Sektoren sind in die Überlegungen miteinzubeziehen.

Diese Überlegungen sollen in Phase 2 ausgearbeitet werden. Die Vorschläge zur Gesamtsystemoptimierung werden allerdings nur Erweiterungen/Anpassungen der bestehenden Regulierungssystematiken beinhalten.⁴⁰ Sie sind nicht als Abkehr von den bestehenden Regelungen zu verstehen. Idee ist vielmehr, die bestehenden Regelungen um Anzeilelemente zu ergänzen, die die Gesamtoptimierung im Fokus haben.

Infrastrukturplanung

Die Infrastruktur spielt eine zentrale Rolle im Transformationsprozess hin zur Klimaneutralität. Die zunehmende Kopplung der Sektoren erhöht den Abstimmungsbedarf zwischen den Infrastrukturen. Hier besteht das Risiko, dass ohne entsprechende Koordination des Ausbaus einzelne Infrastrukturen ineffizient dimensioniert oder zu spät geplant werden. Aus heutiger Sicht ist nicht sicher, ob Preissignale aus den bestehenden Märkten und die sektorspezifischen Planungsprozesse diese Koordination leisten können. Im aktuellen Marktdesign sind die sektoralen Regelungen und Marktregeln auf die Optimierung innerhalb einzelner Sektoren ausgerichtet. Eine sektorübergreifende Planung des Infrastrukturbedarfs wird so nicht gewährleistet. Dies zeigt sich etwa bei den sektorspezifischen Netzentwicklungsplänen.

Ziel sollte es zukünftig sein, beim Aufbau neuer Infrastrukturen Investitionen aus verschiedenen Sektoren aufeinander abzustimmen, um vorhandene Synergien zwischen den Sektoren zu nutzen und eine Optimierung der Infrastruktur aus Systemsicht zu erreichen. Lösungsansätze zu einem solchen sektorübergreifenden Abstimmungsprozess der Infrastrukturinvestitionen werden derzeit erst entwickelt. Hier sind sowohl marktbasierende Ansätze als auch zentrale Planungsprozesse denkbar, wie sie z. B. im Rahmen der dena-Netzstudie III entwickelt werden.

Eine besondere und neue Herausforderung für die zu entwickelnden Ansätze besteht darin, die Infrastrukturbedarfe im regulierten Bereich der Netzinfrastrukturen mit der Infrastruktur im wettbewerblichen Bereich (leitungs- und nicht leitungsgebunden) koordinieren zu müssen.

Verschiedene Handlungsoptionen für die Infrastrukturentwicklung werden in der zweiten Projektphase ausgearbeitet und bewertet. Dabei ist die Technologieoffenheit zu beachten, insbesondere zwischen leitungs- und nicht leitungsgebundenen Infrastrukturen.

³⁹ BMWi, 2016, „Ergebnispapier des BMWi Workshops Sektorkopplung“, <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/sektorkopplung-chance-fuer-die-industrie.html> (18.03.2021).

⁴⁰ Brunekreef, G., Kuszniir, J. und Meyer R., 2021, „Der nächste Schritt in der Netzregulierung: out-put-orientierte Regulierung“, wird veröffentlicht in *Energiawirtschaftliche Tagesfragen*.

4.2

Querschnittsmodul Transformation



Herangehensweise

Das Querschnittsmodul Transformation beschäftigt sich mit transformatorischen Herausforderungen im gesellschaftlichen Kontext. In Ergänzung zur technologieorientierten Entwicklung der sektorspezifischen Transformationspfade und der quantitativen Modellierung sollen Ansätze für gesellschaftliche Beiträge zur Klimaneutralität erarbeitet werden.

Dieses Querschnittsmodul bearbeitet daher Themen an der Schnittstelle zwischen Technik und Gesellschaft, für die keine eindeutigen und einvernehmlichen Lösungen existieren. Dabei lassen sich diese Fragestellungen in der Regel nicht durch inkrementelle Veränderungen lösen, sondern erfordern die Umsetzung einschneidender Innovationen. Diese Innovationen beziehen sich häufig auf Veränderungen von Verhaltens- und Konsummustern. Die Überwindung dieser transformatorischen Herausforderungen kann somit einen signifikanten Beitrag zur Klimaneutralität leisten.

In Diskussionen mit dem Partnerkreis entstand ein Themenspeicher mit fünf Themenkomplexen, welche die oben genannten Anforderungen erfüllen:

- Gesellschaftliche Perspektiven auf klimaneutrales Wohnen
- Ökonomische Partizipation zur Steigerung der Akzeptanz für die Energiewende
- Flächenverbrauch, Landnutzung und Landnutzungskonflikte
- Ein neues Mobilitätsverständnis
- Gesellschaftliche Akzeptanz für CO₂-intensive Industriestandorte

Die beiden erstgenannten Themen waren Arbeitsschwerpunkt in der Phase 1; in Phase 2 werden gegebenenfalls weitere Themen bearbeitet.

4.2.1 Vertiefungsthema „Gesellschaftliche Perspektiven auf klimaneutrales Wohnen“

Im Gebäudesektor entstehen rund 15 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen. Betrachtet man den Endenergieverbrauch, weist der Gebäudebereich sogar einen Anteil von rund 36 Prozent auf, wovon wiederum etwa zwei Drittel auf das Segment der Wohngebäude und ein Drittel auf die Nichtwohngebäude entfallen.^{41,42}

Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist eine große Herausforderung für das Ziel Klimaneutralität. Heute basieren rund 80 Prozent der Wärmeerzeugung auf fossilen Energieträgern, vor allem Erdgas. Die Erzeugungsstruktur im Wärmebereich hat sich in den vergangenen 20 Jahren nicht wesentlich verändert.⁴³

Eine vergleichbare Stagnation zeigt sich auch im Bereich der energetischen Gebäudesanierung (siehe Kapitel 3.2). Eine deutliche Erhöhung der Sanierungsrate ist Bestandteil der meisten auf Klimaneutralität ausgerichteten Studien und schon lange eine politische Zielsetzung. Strategien zur Erreichung der Klimaneutralität im Gebäudesektor müssen an den technischen und regulatorischen Entwicklungen ansetzen. Die quantitative Modellierung zeigt hierfür stark technologieorientierte Pfade auf. Das Querschnittsmodul Transformation soll in Ergänzung dazu Ansatzpunkte herausarbeiten, wie auf gesellschaftlicher Ebene Beiträge für eine klimaneutrale Entwicklung geleistet werden können. Neben der Überwindung gesellschaftlicher Hürden für die energetische Gebäudesanierung spielt beispielsweise auch der Trend steigender Pro-Kopf-Wohnfläche eine wichtige Rolle. Diese hat sich seit den 1960er-Jahren mehr als verdoppelt und liegt aktuell bei rund 47 m².⁴⁴

Wie wollen wir wohnen?

Die Betrachtung von Strategien zum klimaneutralen Wohnen muss bei der gegenwärtigen Situation und den aktuellen Wohnvorstellungen beginnen. Die Erhaltung kleinteiliger, Nutzungsgemischter Stadt- und Ortsteilzentren ist ein wichtiger Beitrag zur wirtschaftlichen und sozialen Stabilität der Städte und Gemeinden. Auch in den ländlichen Gebieten müssen durch Investitionen in Infrastruktur und gleichwertige Lebensverhältnisse die Perspektiven für Einwohner und Unternehmer gesichert werden. So kann Abwanderung reduziert oder umgekehrt werden. Strategien im Bereich Wohnen müssen stets regional-spezifisch differenziert werden.

⁴¹ BMU, 2019, „Treibhausgasemissionen gingen 2019 um 6,3 Prozent zurück“, <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-gingen-2019-um-63-prozent-zurueck/> (22.02.2021).

⁴² dena, 2019, „dena-Gebäudereport Kompakt 2019. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand“, <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailsicht/pub-broschuere-dena-gebauedereport-kompakt-2019/> (22.02.2021).

⁴³ BDEW, 2020, „Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland 2019“.

⁴⁴ UBA, 2020, „Wohnfläche“, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#wohnflaeche-pro-kopf-gestiegen> 22.02.2021).

Menschen wollen das Einfamilienhaus nicht nur wegen der Wohnfunktionen, sondern auch aufgrund einer größeren Privatsphäre und höherer Individualität. Eine nachhaltige Strategie muss diese Grundbedürfnisse berücksichtigen.

Eine Chance für die Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche besteht in der Entwicklung einer neuen Ästhetik des Zusammenwohnens, in der Gemeinschaft und Privatheit keinen Zielkonflikt bilden. Individuelle Wohnwünsche und Nachhaltigkeit sollen so besser miteinander vereinbar sein. Bestimmte Bevölkerungsgruppen wünschen sich effizientes und suffizientes Wohnen, können dies aufgrund fehlender Angebote aber nicht umsetzen. Große Hemmnisse bestehen etwa beim Wohnungswechsel, was die Überwindung des Remanenzeffekts erschwert. Hinzu kommt, dass energetisch sanierte, kleine Wohnungen teurer sind als schlecht gedämmte, große und ältere Wohnungen mit langer Bestandsmiete. Selbst wenn der Bedarf nach Wohnraum also gesunken ist oder nach effizientem Wohnen gestrebt wird, stehen dem finanzielle Hemmnisse im Weg.

Bei vielen Menschen besteht der Wunsch nach einer größeren Wohnfläche, obwohl der persönliche Bedarf geringer wäre. Wohnwunsch und bedarfsgerechte Wohnungen müssen näher zusammengebracht werden. Ein allgemeiner Trend zu immer größeren Wohnungen ist aber gegenwärtig nicht festzustellen, vielmehr sind regionale und demografische Entwicklungsdynamiken ausschlaggebend.

Der Weg zur Klimaneutralität sollte nicht die Beschränkung auf Suffizienz, Effizienz oder Konsistenz betonen. Alle drei Strategien müssen zusammengedacht werden. Stetiges Wachstum von Wohnfläche und Energieverbräuchen wäre mit der Klimaneutralität im Gebäudesektor nicht vereinbar. Dabei muss es jedoch weder um Verzicht noch um harte Vorgaben gehen. Eine Entwicklung, die sich nicht in immer steigender Pro-Kopf-Wohnfläche ausdrückt, kann nur mit der Überzeugung der Bevölkerung funktionieren und muss als klares politisches Ziel formuliert werden. Etwaige soziale Härten müssen abgefedert werden, um die Akzeptanz der Energiewende im Gebäudebereich nicht zu gefährden und eine sozial gerechte Transformation zu ermöglichen.

Umsetzung

Eine große Herausforderung wird es sein, die bestehenden Verharrungskräfte zu überwinden. Um die Gesellschaft zunehmend zum klimaneutralen Wohnen zu bewegen, müssen entsprechende Angebote geschaffen werden. Eine bessere Kommunikation, Wissensvermittlung und Sichtbarmachung von Positivbeispielen gelten als entscheidend, um die Bevölkerung mitzunehmen.

Auch die Vorteile der energetischen Sanierung müssen offen kommuniziert werden. Diese Vorteile gehen über die reine Kosteneinsparung hinaus (Komfortgewinn). Durch eine positive Besetzung des Themas Sanierung kann Akzeptanz geschaffen werden. Die Menschen sollten in sanierten und nachhaltigen Gebäuden leben wollen und nicht müssen.

Ordnungsrechtliche Vorgaben und planungsrechtliche Instrumente sind also sparsam zu verwenden. Zudem sollten sie klar auf eine klimaneutrale Entwicklung ausgerichtet werden. Ein Beispiel im Kleinen: Denkbar wäre es, bei Neubauten keine Mindestanzahl von Fahrzeugstellplätzen, sondern eine Höchstanzahl vorzugeben.

Der Umgang mit Leerstand und Flächenmanagement sind wichtige Komponenten auf dem Weg zur Klimaneutralität. Teilweise sind Leerstände auf Immobilienspekulation zurückzuführen. In den ländlichen Regionen ist zunehmend strukturell bedingter Leerstand zu beobachten. Kommunale Akteure sollten daher im Leerstandsmanagement unterstützt werden; dazu müsste eine entsprechende Datenbasis geschaffen werden.

Ein wichtiger Aspekt auf dem Weg zu klimaneutralem Wohnen ist die Weiterqualifizierung im Handwerk. Auch hierfür müssen Anreize geschaffen werden, um das Handwerk zum Multiplikator der Wärmewende zu entwickeln. Großes Potenzial liegt in der Aktivierung von Synergien zwischen den ansässigen Unternehmen des Handwerks, des Handels, der Kreativwirtschaft und dem Dienstleistungsbereich.

Zur Vereinfachung von Sanierungsstrategien und zur Vorbeugung von Fachkräftemangel kann die Vereinheitlichung der Länder-Bauordnungen ein Ansatz sein, auch die Unterstützung für innovative Konzepte wie serielles Sanieren (Energiesprung) kann zu einer erhöhten Sanierungsaktivität führen. Zur Überwindung von Hemmnissen sind außerdem Lösungen für das Vermieter-Mieter-Dilemma zu finden. Eine warmmietenneutrale Sanierung ist derzeit ohne erhebliche Förderung in der Regel nicht möglich.

Die Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands ist also nicht nur eine technische, sondern auch eine gesellschaftliche Herausforderung. Um Sanierungshemmnisse überwinden zu können, müssen stets die Perspektiven vieler Akteure berücksichtigt werden. Zur Erhöhung der Akzeptanz für notwendige Maßnahmen müssen die Bürgerinnen und Bürger zu aktiven Beteiligten der Gebäude-Energiewende gemacht werden. Hierzu ist ein Bündel von Maßnahmen notwendig: Kommunikations- und Informationskampagnen, das Schaffen von (finanziellen) Anreizen, stärkere Ausbildung des kommunalen Personals (z. B. in der Entwicklung von Quartierskonzepten und Sanierungsprogrammen) sowie eine besser koordinierte Planung.

4.2.2 Vertiefungsthema „Ökonomische Partizipation an der Energiewende“

Für die Erreichung von Klimaneutralität wird ein deutlich beschleunigter Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland benötigt. Dabei braucht es einen breiten Mix an Technologien und Energieträgern. Die übergeordnete Leitfrage lautet: Kann eine stärkere ökonomische Partizipation dazu beitragen, die gesellschaftliche Akzeptanz für die Energiewende aufrechtzuerhalten oder gar zu steigern?

Ausgangsthese ist, dass eine stärkere ökonomische Partizipation dazu beitragen kann, die Umsetzung der Energiewende als positive gesamtgesellschaftliche Gemeinschaftsaufgabe zu sehen. Die Diskussion von Akzeptanzfragen und Lösungsstrategien soll sich jedoch nicht zu stark auf die ökonomische Partizipation verengen. Es herrscht große Einigkeit, dass die ökonomische Teilhabe ein wichtiger, aber nicht der alleinige Ansatzpunkt ist.

Die ökonomische Teilhabe beschreibt ein breites Set an Möglichkeiten, wie der oder die Einzelne oder eine Gemeinschaft durch die Energiewende oder auch einzelne Infrastrukturprojekte profitieren kann. Dies reicht von direkten Kompensationszahlungen (etwa für Anwohner bei Windenergieanlagen) über eine Vergünstigung von Stromtarifen und die Förderung regionaler Wertschöpfung bis hin zur aktiven Beteiligung an einer Bürgerenergiegesellschaft. Eine ökonomische Partizipation an der Energiewende als eine die Akzeptanz fördernde Maßnahme muss niederschwellig, gleichberechtigt und transparent gestaltet sein.

Akzeptanzfragen mit Berührungspunkten zu Annahmen der Modellierung

Zur Umsetzung der Ausbaupfade der erneuerbaren Energien ist es wichtig, die derzeit breite Unterstützung für die Energiewende durch transparente Kommunikation und partizipative Maßnahmen aufrechtzuerhalten und zu erhöhen. Die Transformation des Energiesystems wird nur gelingen, wenn die Bürgerinnen und Bürger von dem Unterfangen überzeugt sind und mitgenommen werden. Eine finanzielle Teilhabe bietet hier ein Potenzial, welches bei Weitem noch nicht ausgeschöpft ist. Gleichzeitig muss dies eingebettet sein in eine Gesamtstrategie, welche Bürgerinnen und Bürger zu einem Teil der Energiewende macht.

Bedeutung erfährt die Akzeptanzfrage auch vor dem Hintergrund regionalspezifischer Betrachtungen. Beispielsweise müssen ländliche Regionen, die stärker vom Ausbau erneuerbarer Energien betroffen sind, auch ökonomisch von der Energiewende partizipieren. Ein Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung kann lokal auch in weiteren Spannungsverhältnissen stehen und etwa von Flächennutzungskonkurrenzen gezeichnet sein. Eine erfolgreiche Transformation muss daher übergreifend gedacht sein und den Ausbau erneuerbarer Energien, Landwirtschaft, natürliche Senken, weiteren Infrastrukturausbau und andere Flächennutzungsansprüche zusammenbringen.

Ein wichtiger Aspekt der Akzeptanzfrage sind steigende Energiekosten bzw. die Zahlungsbereitschaft. Eine zentrale Frage ist dabei, wie durch ökonomische Partizipation Kostensteigerungen abgefedert werden können.

Welche weiteren Fragestellungen weisen einen Bezug zu Akzeptanzfragen auf?

Der Gebäudesektor zeichnet sich durch eine hohe persönliche Betroffenheit der Bürgerinnen und Bürger aus. Während Mieterstrommodelle zu einem gewissen Grad zur Akzeptanzerhöhung beitragen können, findet bei der Gebäudesanierung und Umstellung auf erneuerbare Heizsysteme ein Eingriff in den privaten Lebensraum der Bewohnerinnen und Bewohner statt, mit dem in der Regel kurz- bis mittelfristig Kostensteigerungen verbunden sind. Hier müssen Mechanismen zur Kompensation geschaffen werden.

Im Gebäudebereich und darüber hinaus kann auch mangelnde Investitionssicherheit zu Akzeptanzproblemen führen. Unklare oder instabile regulatorische Rahmenbedingungen für emissionsmindernde Maßnahmen untergraben das nötige Vertrauen für Investitionen. Eine heute getroffene Investitionsentscheidung darf nicht durch eine künftige politische Entscheidung ad absurdum geführt werden.

Auch beim Thema Wasserstoff tun sich an einigen Stellen Akzeptanzfragen auf, beispielsweise wenn auf dem Weg zu einer „grünen“ Wasserstoffwirtschaft auch „blauer“ und „türkiser“ Wasserstoff als Übergangstechnologien genutzt werden sollen. Auch die Installation einer Infrastruktur für den Transport von CO₂ (zur industriellen Verwendung oder geologischen Speicherung) kann auf Widerstand in der Bevölkerung stoßen.

Das gilt auch für den Ausbau von Netzinfrastrukturen. Der Stromnetzausbau ist wiederholt auf ähnliche Akzeptanzprobleme gestoßen wie der Ausbau der Windenergie an Land. Mit fortschreitendem Erneuerbaren-Ausbau und erhöhtem Strombedarf durch Sektorenkopplung wird eine Steigerung der Akzeptanz immer wichtiger. Es ist außerdem zu prüfen, ob gegebenenfalls Anreize zur Konsumminderung und Suffizienz die Notwendigkeit des massiven Ausbaus der erneuerbaren Erzeugungskapazitäten und der Energieinfrastrukturen reduzieren können. Hierbei ist möglicherweise eine Abwägung zwischen Maßnahmen zur Steigerung von Suffizienz oder Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz von erneuerbaren Energien und Netzausbau notwendig.

Wie kann Akzeptanz und Begeisterung für Energiewende und Klimaschutz geschaffen werden?

Diese zunehmende Vielseitigkeit von Akzeptanzfragen macht deutlich, dass ökonomische Teilhabe ein wichtiges, aber keineswegs ein hinreichendes Mittel sein kann. Um die gewünschte akzeptanzsteigernde Wirkung zu erzielen, gilt es, geeignete Formen ökonomischer Partizipation zu identifizieren und in ein größeres Bündel an Maßnahmen einzubetten. Die Rahmenbedingungen müssen richtig gesetzt sein, damit finanzielle Beteiligung nicht als eine Art „Bestechung“ aufgefasst wird. Ökonomische Partizipation könnte sich daher bevorzugt in lokaler Wertschöpfung und der Unterstützung lokaler identitätsstiftender Projekte ausdrücken.

Zur allgemeinen Akzeptanzsteigerung von Energiewende- und Klimaschutzmaßnahmen und um die Möglichkeit finanzieller Teilhabe richtig zu rahmen, ist eine adäquate Information der betroffenen Bürgerinnen und Bürger unabdinglich. Sie sollte die Sinnhaftigkeit emissionsmindernder Maßnahmen verdeutlichen, beispielsweise indem die Folgekosten des Nichthandelns transparent kommuniziert werden. Die Informationen sollten aber nicht einseitig auf die zu vermeidenden Negativfolgen begrenzt sein und auch Erfolge einschließen: Der Fortschritt der Energiewende sollte anhand konkreter Positivbeispiele deutlich werden.

Durch das Aktivieren der „schweigenden Mehrheit“ kann im öffentlichen Diskurs das tatsächliche Verhältnis zwischen Gegnern und Befürwortern bestimmter Klimaschutzmaßnahmen abgebildet werden. Damit Bürgerinnen und Bürger von der Energiewende überzeugt sind und einzelne lokale Belastungen und Veränderungen des gewohnten Lebensraums akzeptieren, ist eine vertrauensbasierte Kommunikation ein entscheidender Schlüssel. Genauso wichtig ist eine gesamtheitliche Kommunikation, in der sich jeder und jede Einzelne als Teil der Energiewende versteht und sehen kann, welcher Beitrag persönlich geleistet werden kann, um zu einem positiven gemeinsamen Zielbild beizutragen.

Auch die Konsistenz der politischen Zielsetzungen, der Kommunikation und der Maßnahmen ist wichtig, um das Vertrauen in die Energiewende und somit die Akzeptanz zu steigern. Dazu zählt das Setzen klarer Ziele und Rahmenbedingungen, um Zielkonflikte zu entschärfen und Investitionssicherheit zu steigern.

Insgesamt sollte durch klare Rahmenbedingungen, eine vertrauensbasierte Kommunikation, eine sinnstiftende Information und eine angemessene ökonomische Partizipation nicht lediglich auf erhöhte Akzeptanz, sondern auf aktive Unterstützung und im besten Fall auf Begeisterung für die Energiewende abgezielt werden.

4.3

Querschnitts- modul Wirtschaft und Europa



Die europäische Ebene hat große Bedeutung für die Erreichung der Klimaneutralität im deutschen Wirtschafts- und Energiesystem. Diese Bedeutung wird verstärkt durch den EU-Green-Deal und die damit verbundene Zielsetzung, die EU bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen.

Die EU setzt maßgebliche übergeordnete rechtliche Rahmenbedingungen für die notwendige Transformation des Wirtschafts- und Energiesystems. Sie kann so eine Vereinheitlichung der Wettbewerbsbedingungen in einem klimaneutralen System bewirken. Das wiederum kann zu einem gemeinsamen, europäischen Ambitionsniveau beim Klimaschutz der Mitgliedstaaten führen. Auf internationaler Ebene kann die EU als starker Wirtschaftsraum vorangehen und auf ein vergleichbares Ambitions- und Regelungsniveau bei ihren Handelspartnern hinwirken.

Für die Energiewende und die Wirtschaft in Deutschland ist es ein positives Signal, dass das gesetzlich formulierte Langfristziel, im Jahr 2050 die Treibhausgasneutralität zu erreichen, auch durch EU-weite Maßnahmen und Ziele gedeckt wird. Kurz- bis mittelfristig bedeutet dies aber auch, dass zur Erfüllung der EU-seitigen Ziele noch umfangreiche Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland umzusetzen sind.

Die Verzahnung des deutschen Wirtschafts- und Energiesystems mit dem europäischen Binnenmarkt hat dabei in den letzten Jahren weiter zugenommen:

- Deutschland ist die stärkste Wirtschaftskraft in der EU: Im Jahr 2017 erzielte Deutschland rund 21,3 Prozent des europäischen Bruttoinlandsprodukts. Rund 20 Prozent des europäischen Gesamtenergieverbrauchs entfallen auf Deutschland und fast 23 Prozent der Gesamtemissionen der EU 27 (2018).⁴⁵
- Ein großer Teil der deutschen Gesetzgebung im Energiebereich hat ihren Ursprung im europäischen gesetzlichen Rahmen, d. h., die Ausgestaltung europäischer Rahmenbedingungen und Instrumente hat erheblichen Einfluss auf die deutsche Gesetzgebung.

- Die Integration Deutschlands und anderer europäischer Nationalstaaten in die Europäische Union ist in den letzten Jahrzehnten stark fortgeschritten. Es besteht eine enge Verzahnung der Systeme: grenzübergreifender Infrastrukturausbau, europäische Projekte, offene Märkte – trotz aller bestehenden Divergenzen in den Mitgliedstaaten.

Die Energiewende und die Erreichung der Klimaneutralität in Deutschland sind nur in Koordination mit dem europäischen Rahmen zu meistern.

Der europäische Energiebinnenmarkt entwickelt sich stetig weiter. Der Aufbau und das marktliche Zusammenwachsen sowie die physische Vernetzung von europäischen Märkten für Energieversorgung und -träger nehmen weiter zu. Beispiele sind gemeinsame Erdgas- und Wasserstoffmärkte, gekoppelte Strommärkte sowie transeuropäische Energieinfrastrukturen. Auch die Resilienzsteigerung als wichtiger Aspekt bei der Bekämpfung und Anpassung an den Klimawandel wie vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Die Bedeutung des europäischen Wirtschaftsraums in der globalisierten Welt nimmt ebenfalls zu: Nach Angaben der United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) hatte die EU als größter gemeinsamer Wirtschaftsraum der Welt mit knapp 448 Millionen Konsumenten in 27 Ländern im Jahr 2017 einen Anteil von 21,5 Prozent am weltweiten Bruttoinlandsprodukt, ein Fünftel der Weltwirtschaftsleistung findet also in Europa statt. Der Anteil der Europäischen Union am weltweiten Energieverbrauch lag 2016 bei 11,6 Prozent.⁴⁶

Zudem tritt Europa in internationalen Verhandlungen aktiv als Akteurin für mehr Klimaschutz ein, z. B. beim Übereinkommen von Paris oder bei den G7- bzw. G20-Gesprächen. Klimaschutz ist zentraler Bestandteil der europäischen Außenpolitik, auch bei Handelsabkommen oder der Einführung von Standards.

⁴⁵ UBA, 2020, „Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union“, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union> (18.03.2021).

⁴⁶ Bundeszentrale für politische Bildung (bpb), 2020, „Zahlen und Fakten: Europa – Energie“, <https://www.bpb.de/mediathek/309990/zahlen-und-fakten-europa-energie> (18.03.2021).

Der Green Deal: Booster für ein klimaneutrales Europa in 2050

Im Dezember 2019 stellte die neue Präsidentin der EU-Kommission, Ursula von der Leyen, den European Green Deal als das Flaggschiffprojekt der EU-Kommission für die nächste Legislaturperiode vor. Neben der Digitalisierung sieht die EU-Kommission den Klimaschutz als wichtigste Herausforderung der nächsten Jahre.

Die Vision des European Green Deal ist es, „die EU zu einer fairen und wohlhabenden Gesellschaft mit einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft zu machen, in der im Jahr 2050 keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr freigesetzt werden und das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung abgekoppelt ist. Außerdem sollen das Naturkapital der EU geschützt, bewahrt und verbessert und die Gesundheit und das Wohlergehen der Menschen vor umweltbedingten Risiken und Auswirkungen geschützt werden. Gleichzeitig muss dieser Übergang gerecht und inklusiv sein.“⁴⁷

In dem europäischen Programm sollen Ökologie, Ökonomie und soziale Gerechtigkeit miteinander in Einklang gebracht werden. Die Transformation der Wirtschaft, der Industrie und der Gesellschaft, der Schutz von Natur, Arten und Ressourcen werden als großes europäisches Projekt gesehen. Der Green Deal ist ein Innovationsmotor und eine Chance auf nachhaltiges und integratives Wachstum. Die Herausforderungen dieser Transformation werden dabei klar erkannt.

In der Mitteilung der Europäischen Kommission über den europäischen Green Deal wird angekündigt, das Treibhausgasreduktionsziel für 2030 von derzeit 40 Prozent auf mindestens 50 bis 55 Prozent anzuheben. Der Rat der EU will das Ambitionsniveau auf 55 Prozent festsetzen. Das endgültige Zielniveau wird im laufenden EU-Gesetzgebungsverfahren zum sogenannten EU-Klimagesetz verhandelt, das im Rahmen einer EU-Verordnung erlassen werden soll.

Dies bedeutet konkret das Erreichen der Treibhausgasneutralität in der Europäischen Union bis zum Jahr 2050. Dieses Ziel steht im Einklang mit den bestehenden Zielen und gefährdet deren Erreichung nicht, sondern trägt im Gegenteil dazu bei. Eine Umsetzung des Green Deals leistet somit auch einen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit und Resilienz des europäischen Wirtschaftssystems. Die damit einhergehenden Herausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft werden berücksichtigt.

4.3.1 Leitlinien für die Weiterentwicklung des europäischen Wirtschaftssystems

Bisher spielten Nachhaltigkeit, Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz im grundlegenden Verständnis des Wirtschaftssystems keine übergeordnete Rolle. Mit dem Green Deal und dem Ziel der Klimaneutralität rücken diese Aspekte in den Vordergrund. Da Klimaneutralität im Wirtschaftssystem bisher nicht inhärent verankert war, wurde in den vergangenen Jahren mit einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen operiert. Diese immer neuen und punktuell eingesetzten Maßnahmen und Instrumente stehen sich teilweise in ihrer Wirkungsweise entgegen. Zudem bestehen teilweise große Unterschiede bei ihrer Anwendung zwischen den verschiedenen EU-Mitgliedstaaten. Es bedarf daher einer grundlegenden Ausrichtung, die Klimaneutralität als wesentlichen Baustein des europäischen Wirtschaftssystems versteht und klimaneutrales Agieren der Wirtschaftsakteure fördert.

Leitlinien

Die nachfolgenden Leitlinien für die Weiterentwicklung des europäischen Wirtschaftssystems zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 beruhen auf den Prinzipien der sozialen Marktwirtschaft und den im European Green Deal formulierten Zielen. Es handelt sich um Anforderungen an Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft hinsichtlich der Gestaltung eines zukünftig klimaneutralen Wirtschaftssystems. Die vorgeschlagenen Leitlinien basieren dabei auf drei Prinzipien:

⁴⁷ EU Kommission, 2019, „Mitteilung der Kommission: Der europäische grüne Deal“, EU COM(2019)640 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>.

- Das europäische Wirtschaftssystem verbindet Wettbewerbsfähigkeit und ausgewogenes Wachstum mit sozialer Teilhabe und Stabilität.
- Das europäische Wirtschaftssystem ist treibhausgasneutral und ressourceneffizient.
- Das europäische Wirtschaftssystem entwickelt internationale Strahlkraft für die globale Klimaneutralität.

Diese Leitlinien sollen Orientierung bei der Entwicklung politischer Maßnahmen bieten und die Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Kriterien sicherstellen. Im Abgleich mit dem heutigen Status quo zeigen die Leitlinien auf, wo besonderer Handlungsbedarf besteht. Politische Entscheidungsträger müssen entsprechend die Rahmenbedingungen anpassen, damit alle Wirtschaftsakteure aus eigenem Antrieb und Interesse klimafreundlich agieren.

Das europäische Wirtschaftssystem verbindet Wettbewerbsfähigkeit und ausgewogenes Wachstum mit sozialer Teilhabe und Stabilität

Im Artikel 3 Absatz 3 des Vertrages zur Europäischen Union wird das Ziel der Errichtung eines europäischen Binnenmarktes festgehalten.⁴⁸ Dieser bildet das Gerüst für:

- Nachhaltige Entwicklung auf Grundlage eines ausgewogenen Wirtschaftswachstums
- Wettbewerbsfähige, soziale Marktwirtschaft, die auf Vollbeschäftigung und sozialen Fortschritt hinwirkt
- Umweltschutz und Verbesserung der Umweltqualität
- Soziale Gerechtigkeit

Diese Prinzipien sind Garant für den Wohlstand und die soziale Stabilität in Europa und werden auch in der Weiterentwicklung zu einem klimaneutralen System beibehalten. Sie sind daher essenzieller Bestandteil der Zielvision und sollen weiter gestärkt werden.

Das europäische Wirtschaftssystem ist treibhausgasneutral und ressourceneffizient

Im europäischen Wirtschaftssystem der Zukunft haben wirtschaftliche Aktivitäten und Wirtschaftswachstum keinen Einfluss auf das Klima. Das heißt, dass entweder keine Emissionen in die Atmosphäre gelangen oder noch entstehende Emissionen vollständig kompensiert werden. Jeder Einsatz natürlicher Ressourcen wird gezielt optimiert. Unter diesen Bedingungen werden eine gänzliche Entkopplung der wirtschaftlichen Aktivitäten vom Schadstoffausstoß und eine teilweise Entkopplung vom Ressourcenverbrauch erreicht. Die Emissionsintensität des Bruttoinlandsprodukts beträgt null, die Ressourcenintensität wird minimiert.

Der Leitsatz für diese im Wirtschaftssystem zu verankernde Säule lautet: In einem vollendeten EU-Binnenmarkt müssen alle politischen und wirtschaftlichen Instrumente auf die Erreichung und Erhaltung der Klimaneutralität ausgerichtet sein.

Alle politischen und wirtschaftlichen Instrumente in der Europäischen Union (supranational, national, regional, lokal) haben die Erreichung der Klimaneutralität als intrinsische Voraussetzung. Instrumente, die diesem Ziel entgegenstehen, werden sukzessive abgeschafft. Beispiele für solche abzuschaffenden Instrumente sind Subventionen für fossile Energieträger oder Hemmnisse für klimaneutrale Technologien beim Marktzugang. Weiterhin sind alle Instrumente so ausgestaltet, dass sie auch in der Zeit nach Erreichen der Klimaneutralität innerhalb Europas noch wirksam sind. So sollte z. B. ein europäischer Emissionshandel auch den Handel mit negativen Emissionen vorsehen.

⁴⁸ EU, 2012, „Vertrag über die Europäische Union (Konsolidierte Fassung)“, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2bf140bf-a3f8-4ab2-b506-fd71826e6da6.0020.02/DOC_1&format=PDF.

Es besteht eine Infrastruktur für den Austausch klimaneutraler Energieträger, die nach gesamtsystemischen Optimierungsprinzipien betrieben wird. Es gibt einen Markt für grüne Produkte, deren Herstellung und Vertrieb wirtschaftlich sind. Dieser beruht nicht auf Verzicht oder Verboten. Stattdessen besteht ein „Level Playing Field“ für emissionsfreie Produkte und Dienstleistungen. Alle Preise beinhalten die realen sozialen Kosten aller externen Effekte, berücksichtigen also die Auswirkungen auf Güter. Diese externen Effekte werden den Verbrauchern transparent gemacht. Dies bedeutet, dass alle in der Europäischen Union produzierten, gehandelten und konsumierten Produkte und Dienstleistungen die externen Kosten beinhalten. Per Ausweisung des Treibhausgasfußabdrucks von Produkten über die gesamte Wertschöpfungskette werden den Endverbrauchenden externe Kosten transparent offengelegt. Dabei gibt es weiterhin ein Angebot, welches es Konsumenten ermöglicht, eine informierte, individuelle Entscheidung zu treffen. Voraussetzung für eine Einpreisung ist, dass die externen Kosten für Produkte und Dienstleistungen transparent berechnet und aufgezeigt werden können. Hierfür stehen EU-weit einheitliche und eindeutige Regeln und Instrumente zur Verfügung. Dieses System wird unterstützt durch einen wahrheitsgemäßen, effektiven und kohärenten CO₂-Preis, der für alle Sektoren Anwendung findet.

Eventuell steigende finanzielle Belastungen in der Transformation für sozial schwache Haushalte werden durch flankierende Mechanismen ausgeglichen. Die Erreichung der Klimaneutralität führt nicht zu einem Auseinanderdriften der Gesellschaft, sondern erhöht die Chancengleichheit und den sozialen Frieden durch eine allgemeine Verbesserung und Angleichung der Lebensqualität (gesundheitlich, ökonomisch, politisch, sozial). Gruppen, die von einem Strukturwandel in besonderer Weise betroffen sind (z. B. Branchen, Regionen, soziale Gruppen), werden durch politische Instrumente unterstützt (finanzielle Entschädigung, Qualifizierungs- und Infrastrukturmaßnahmen).

Die Transformation zu einem klimaneutralen Wirtschaftssystem wird nicht die zukünftigen Generationen belasten. Investitionen werden so getätigt, dass entstehende Schulden für folgende Generationen vertretbar sind.

Das europäische Wirtschaftssystem hat eine internationale Strahlkraft für die globale Klimaneutralität

Die EU nutzt ihre diplomatischen Soft-Power-Instrumente in Handels- und Wirtschaftspolitik oder diplomatischen Beziehungen für eine globale Erreichung der Klimaneutralität und setzt sich für die Einführung eines globalen CO₂-Preises ein, mindestens aber auf G20-Ebene. Im Bereich des Außenhandels wird immer auch die Klimawirkung von Handelsabkommen in Betracht gezogen. In allen Handelsverhandlungen wird der Klimaschutz mitgedacht und es wird vornehmlich mit jenen Nationen Handel getrieben, die das Pariser Klimaabkommen ratifiziert haben. In der globalen Klimadiplomatie stärkt die EU die Rolle von internationalen Organisationen wie der UNFCCC und trägt zur Arbeit des IPCC bei. Durch die Setzung rechtlicher klimaneutraler Standards auf dem EU-Binnenmarkt wirkt die EU als größter gemeinsamer Wirtschaftsraum der Welt als regulatorisches Vorbild zur Erreichung der globalen Klimaneutralität.

Die eventuelle Veränderung oder Verlagerung von Wertschöpfungsketten aufgrund strenger Klimaschutzbestimmungen innerhalb der EU führt nicht zu negativen globalen Auswirkungen auf das Erreichen der Klimaneutralität. Die EU erkennt die Endlichkeit von einer Vielzahl von Ressourcen an und setzt sich im internationalen Dialog für eine faire Verteilung und Nutzung ein. Ebenso macht sich Europa für eine faire Lastenverteilung auf dem Weg zur globalen Klimaneutralität stark und unterstützt Entwicklungsländer durch entwicklungspolitische Maßnahmen in der Erreichung ihrer Minderungsbeiträge.

4.3.2 Impulse zur weiteren Ausgestaltung europäischer Instrumente

In Phase 2 liegt der Fokus auf der Erarbeitung konkreter Handlungsempfehlungen. Dies ist insbesondere wichtig, weil in der ersten Jahreshälfte 2021 wesentliche Maßnahmen des EU-Green-Deals weiter im EU-Gesetzgebungsverfahren diskutiert und eventuell beschlossen werden (EU-Klimagesetz). Auch werden Regelungsvorschläge der EU-Kommission erstmals näher konkretisiert (u. a. Emissionshandels-RL, Lastenteilungs-VO, Energiesteuer-RL, CO₂-Grenzausgleichsmechanismus, Anpassungen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie und Energieeffizienz-RL).

Das Herunterbrechen des EU-Green-Deals auf konkrete rechtliche Maßnahmen im Rahmen des Arbeitsprogramms der EU-Kommission für 2021 macht deutlich, dass zunächst Anpassungen bestehender EU-Instrumente notwendig sind:

- CO₂-Bepreisung/Weiterentwicklung des EU-ETS: Ausweitung des bestehenden Systems auf Verkehr (Luftfahrt ist bereits Teil des ETS) und Gebäudesektoren oder Einführung eines parallelen Systems.
- Beihilferecht: Fokus auf die Erreichung der Klimaneutralität durch Marktinstrumente, Anpassung des Beihilferechts an die Zielstellungen des Green Deals (z. B. Reform der Umwelt- und Energiebeihilfeleitlinien), inklusive Prüfung von möglichem Subventionsabbau.
- EU-Taxonomie für Green Finance: Privilegierung von grünen Investitionen, gegebenenfalls Anpassung der Kriterien, um breite Investitionen zu ermöglichen.

Neben der Anpassung bestehender Instrumente stellt sich die Frage, welche neuen Instrumente für eine erfolgreiche Transformation notwendig sind.

- Carbon Leakage bei steigendem Ambitionsniveau der EU: CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM), Ausgestaltung und Verzahnung mit ETS. Bestreben nach einem globalen CO₂-Preis.
- Carbon Contracts for Difference: Rolle und Verankerung als mögliches neues Förderinstrument zur Transformation der Wirtschaft bzw. bestimmter Sektoren (EU oder national). CCfDs könnten beispielsweise über eine Klimaabgabe bei Endprodukten gegenfinanziert werden. Die genauen Möglichkeiten im EU-Rechtsrahmen wären aber noch zu prüfen.
- Harmonisierung des Abgaben- und Steuersystems: Inwiefern kann die EU-Energiesteuer-RL auf eine stärkere Harmonisierung und Berücksichtigung der CO₂-Intensität ausgerichtet werden? In steuerrechtlichen Fragen herrscht im EU-Gesetzgebungsverfahren das Prinzip der Einstimmigkeit zwischen den Mitgliedstaaten.
- Klimaneutralität in der Außenpolitik: Z. B. strikte Verknüpfung aller handelspolitischen Aktivitäten mit der Ratifizierung und Einhaltung des Paris Abkommens.

5 Anhang

5.1 Projektbeteiligte Unternehmen und Institutionen

50Hertz Transmission GmbH
Amprion GmbH
Arge Mauerziegel e. V. (BDZ)
Aurubis AG
Automobil-Club Verkehr e. V. ACV
bayernets GmbH
BayWa r.e. renewable energy GmbH
BMW (VDA)
BPW Bergische Achsen Kommanditgesellschaft (VDA)
Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. BBS
Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft BDL
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V. BDZ
Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilien-
unternehmen e. V. GdW
Bundesverband energieeffiziente Gebäudehülle e. V. BuVEG
Bundesverband Wärmepumpe e. V. BWP
Bundesvereinigung Bauwirtschaft BVB
Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V.
figawa
consulting4drive (VDA)
Daimler AG (VDA)
Deutsche Wohnen Technology GmbH
Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. DVGW
e-bility GmbH
EDF
EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Encavis AG
Energienetze Bayern GmbH & Co. KG
EnergieServicePlus GmbH/LEG
Energieversorgung Mittelrhein AG
EnviTec Biogas AG
E.ON SE
Erdgas Schwaben GmbH
Evonik Industries AG
EWE Netz GmbH
EWS Elektrizitätswerke Schönau eG
GASAG AG
Gasunie Deutschland Transport Services GmbH
GETEC WÄRME & EFFIZIENZ GmbH
Goldbeck Solar GmbH
GRTgaz Deutschland GmbH
Hansewerk AG (E.ON Konzerticket)
HeidelbergCement AG (BSS)
Hydrogenious Technologies GmbH
IAV GmbH (VDA)
IG GmbH/Bundesverband der Deutschen
Heizungsindustrie e. V. BDH
inetz GmbH
Institut für Wärme und Mobilität e. V. IWO
Kraftblock
MAHLE International GmbH (VDA)
MicroEnergy GmbH (Viessmann Werke)
Mineralölwirtschaftsverband e. V. MWV
Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e. V. MEW
MVV Energie AG
ONTRAS Gastransport GmbH
Open Grid Europe GmbH OGE
Repräsentanz Transparente Gebäudehülle GbR RTG
RWE AG
Salzgitter Flachstahl GmbH
Schleswig-Holstein Netz (E.ON Konzerticket)
Siemens AG
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
Swobbee GmbH
TEAG Thüringer Energie AG
TenneT TSO GmbH
terranets bw GmbH
Thyssengas GmbH
ThyssenKrupp Steel Europe AG
TransnetBW GmbH
UNITI Bundesverband mittelständischer
Mineralölunternehmen e. V.
UPM GmbH
VELUX Deutschland GmbH
Verband der Automobilindustrie e. V. VDA
Verein Deutscher Zementwerke e. V. VDZ (BBS)
Viessmann Werke GmbH & Co. KG
VNG AG
Vonovia SE
WELTEC BIOPOWER GmbH
Wermuth Asset Management GmbH
Wintershall Dea GmbH
Zentraler Immobilien Ausschuss e. V. ZIA
Zentralverband der Deutschen Elektro- und
Informationstechnischen Handwerke ZVEH
Zentralverband Deutsches Baugewerbes ZDB (BVB)
Zentralverband des Deutschen Handwerks ZDH
Zentralverband Sanitär Heizung Klima ZVSHK (BVB)
Zukunft Gas GmbH

5.2 Gutachter im Projektkonsortium

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI)

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln
www.ewi.uni-koeln.de/de/
Berit Hanna Czock
Hanna Decker
Max Gierkink
Arne Lilienkamp
Lena Pickert
Tobias Sprenger
Dr. Johannes Wagner
Jonas Zinke

Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW) München

Lochhamer Schlag 4
82166 Gräfelfing
www.fiw-muenchen.de/
Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm

Institut für technische Gebäudeausrüstung (ITG) Dresden Forschung und Anwendung GmbH

Tiergartenstraße 54
01219 Dresden
www.itg-dresden.de
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz
Dr. Bernadetta Winiewska

Jacobs University Bremen

Campus Ring 1
28759 Bremen
www.jacobs-university.de
Christine Brandstätt
Prof. Dr. Gert Brunekreeft
Dr. Marius Buchmann
Martin Palovic

Stiftung Umweltenergierecht

Friedrich-Ebert-Ring 9
97072 Würzburg
www.stiftung-umweltenergierecht.de
Dr. Markus Kahles
Dr. Hartmut Kahl

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Döppersberg 19
42103 Wuppertal
www.wupperinst.org
Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick
Dr. Johannes Venjakob
Annika Tönjes

5.3 Mitglieder des Beirats der dena-Leitstudie

Wissenschaft

Prof. Dr. Christian Flachsland

Professor of Sustainability an der Hertie School of Governance, Research Fellow am Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC)

Dr. Oliver Geden

Senior Fellow der SWP, Leitautor für Arbeitsgruppe III & Mitglied des Kernautorenteam für Synthesebericht Intergovernmental Panel on Climate Change

Dr. Katrin Goldammer

Geschäftsführerin des Reiner Lemoine Instituts, Expertin für Energiewirtschaft und Energietechnik

Prof. Dr. Veronika Grimm

Inhaberin des Lehrstuhls für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Wirtschaftstheorie, an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Wirtschaftsweise

Prof. Dr. Georg Hirte

Professur für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Verkehrspolitik und Raumwirtschaft, TU Dresden

Dr. Brigitte Knopf

Generalsekretärin des Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC). Mitglied im Expertenrat für Klimafragen

Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer

Vorstand für Energie und Verkehr, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Mitglied des Wasserstoffrates

Dr. Felix Matthes

Forschungskordinator im Bereich Energie- und Klimaschutz, Öko-Institut e.V.

Prof. Dr. Julia Pongratz

Inhaberin des Lehrstuhls für Physische Geographie und Landnutzungssysteme, Ludwig-Maximilians-Universität München, Joint Group am MPI für Meteorologie

Prof. Dr. Dr. Ortwin Renn

Geschäftsführender wissenschaftlicher Direktor, Institute for Advanced Sustainability Studies e.V., Inhaber des Lehrstuhls „Technik- und Umweltsoziologie“ an der Universität Stuttgart

Prof. Dr. Dr. h.c. Christoph M. Schmidt

Professor an der Ruhr-Universität Bonn, Präsident RWI – Leibniz Institut für Wirtschaftsforschung, Mitglied des Präsidiums acatech, Co-Vorsitzender des Deutsch-Französischen Rates der Wirtschaftsexperten

Dr. Astrid Schulz

Senior Scientist Klima und Energie, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

Prof. Dr.-Ing. Semih Severengiz

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Hochschule Bochum, Labor für Nachhaltigkeit in der Technik, Experte für nachhaltige Mobilität, thematischer Schwerpunkt Sharing und Micro Mobility

Simon Schäfer-Stradowsky

Geschäftsführer, Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität, Energierecht mit Schwerpunkt Stromspeicherung

Politik

Bundestagsfraktionen

Ralph Lenkert, MdB

Die Linke

Klaus Mindrup, MdB

SPD

Carsten Müller, MdB

CDU

Prof. Dr. Martin Neumann, MdB

FDP, Prof. Technische Gebäudeausrüstung, HS Magdeburg-Stendal

Dr. Julia Verlinden, MdB

Bündnis 90/Die Grünen

Bundesministerien

Stephanie von Ahlefeldt

Leiterin der Abteilung III Energiepolitik Strom & Netze, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Klaus Bonhoff

Leiter der Abteilung für Grundsatzangelegenheiten, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Berthold Goeke

Leiter der Unterabteilung Klimaschutzpolitik
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
nukleare Sicherheit

Prof. Dr.-Ing. René Haak

Referatsleiter, Globaler Wandel und Klimaforschung,
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Christine Hammann

Bauwesen, Bauwirtschaft und Bundesbauten,
Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat

Thorsten Herdan

Leiter der Abteilung II – Energiepolitik – Wärme und Effizienz,
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Dr. Eva Ursula Müller

Wald, Nachhaltigkeit, Nachwachsende Rohstoffe
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Jakob Freiherr von Weizsäcker

Chefökonom und Leiter der Grundsatzabteilung,
Bundesministerium der Finanzen

Frank Wetzel

Leiter „Innovation, Industrie, Energie und Verkehr“,
Bundeskanzleramt

Ministerien der Länder**Dr. Martin Gude**

Abteilungsleiter Energie und Klima,
Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Thüringen

Gundela Nostiz

Abteilungsleiterin Energie und Klimaschutz,
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen
und Klimaschutz

Anselm Srandel

Abteilungsleiter Energie und Klima, Behörde für Umwelt, Klima,
Energie und Agrarwirtschaft, Freie und Hansestadt Hamburg

Michael Theben

Abteilungsleiter Klimaschutz, Ministerium für Wirtschaft,
Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-
Westfalen

Europäische Kommission**Artur Runge-Metzger**

Direktor der Generaldirektion Climate Action,
Europäische Kommission

Zivilgesellschaft**Umweltverbände****Christoph Bals**

Politischer Geschäftsführer, Germanwatch e.V.

Tina Löffelsend

Programme Manager, European Climate Foundation,
Direktion Deutschland

Sabine Nallinger

Vorständin, Stiftung 2 Grad

Prof. Dr. Kai Niebert

Präsident, Deutscher Naturschutzring

Viviane Raddatz

Bereichsleitung des Fachbereichs Klimaschutz & Energiepolitik,
WWF Deutschland

Carolin Schenuit

Geschäftsführerin, Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft

Gewerkschaften**Stefan Körzell**

Mitglied der Geschäftsführung, Deutscher Gewerkschaftsbund

Verbraucher**Dr. Thomas Engelke**

Teamleitung Energie und Bauen, Geschäftsbereich Verbraucher-
politik des Bundesverbands Verbraucherzentrale

Kommunen/Städte**Deliana Bungard**

Referatsleiterin, Allgemeines Umweltrecht, Abfallwirtschaft,
Immissionsschutz, Urheberrecht, Deutscher Städte- und
Gemeindebund

Helmut Dedy

Hauptgeschäftsführer, Deutscher Städtetag (repräsentiert
durch Detlef Raphael)

Prof. Dr. Hans-Günter Henneke

Geschäftsführendes Präsidialmitglied,
Deutscher Landkreistag, Berlin

Wirtschaft**Holger Lösch**

Stellvertretender Hauptgeschäftsführer,
Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.

5.4 Glossar und Begriffsdefinitionen

AfA: Absetzung für Abnutzung

Albedo: Rückstrahlvermögen von nicht selbst leuchtenden Oberflächen, so beispielsweise der Erdoberfläche. Je höher die Albedo ist, desto mehr Strahlung wird reflektiert, je niedriger die Albedo ist, desto mehr Strahlung wird absorbiert.

All Electric Society: Zukunftsszenario, in dem erneuerbarer Strom die zentrale Energiequelle ist und Energieverbrauch weitestgehend elektrifiziert ist

Amortisationszeit: die Zeit, bis alle Bau-, Betriebs- und Entsorgungskosten einer Investition vollständig gedeckt sind. Beispiel: die Zeit, nach welcher die Energiekosteneinsparung durch eine Sanierung die Investitionskosten übertrifft.

BAFA: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

BEHG: Brennstoffemissionshandelsgesetz

BEV: Battery Electric Vehicle: Elektroauto mit batterie-elektrischem Antrieb

BImSchG: Bundes-Immissionsschutzgesetz

Blauer Wasserstoff: Wird durch die Spaltung von Erdgas in Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff mithilfe von Dampfreformierung gewonnen. Anfallendes Kohlenstoffdioxid wird abgeschieden und anschließend gespeichert (CCS) oder weiterverwendet (CCU).

BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung

BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Carbon Border Adjustment Mechanism: Mechanismus, mit dem auf außereuropäische Produkte ein CO₂-Preis erhoben wird. Der CBAM dient zum Schutz der Wettbewerbsfähigkeit bei einseitigen Klimaschutzauflagen.

Carbon Leakage: Verlagerung von CO₂-Emissionen durch Standortwechsel, beispielsweise EU-ETS: EU-Unternehmen verlagern Produktion ins Nicht-EU-Ausland mit weniger strengen Klimaschutzauflagen und konterkarieren damit Effekte des EU-ETS.

CCfD: Carbon Contracts for Difference: Differenzverträge, die zur Absicherung gegen Preisschwankungen durch festgelegte Preise dienen. Dies sorgt insbesondere bei kostenintensiven Investitionen, beispielsweise in der Industrie, für langfristige Planungssicherheit.

CCS – Carbon Capture and Storage: Bezeichnet verschiedene Verfahren, in denen CO₂ an Kraftwerken abgeschieden und anschließend eingelagert wird. Durch Verbrennung von nachhaltiger Biomasse und anschließendes CCS kann dabei der Atmosphäre netto CO₂ entzogen werden.

CCU – Carbon Capture and Utilization: Abscheidung von Kohlenstoff in Kraftwerken unter anschließender Weiterverwendung des Kohlenstoffdioxids oder Kohlenstoffs, beispielsweise für E-Fuels

CDR – Carbon Dioxide Removal: umfasst verschiedene Techniken zur technischen Entnahme von atmosphärischem Kohlenstoffdioxid (→ NET). Dies wird beispielsweise durch Direct-Air-Capture-Verfahren (DAC) erreicht.

CVD: Clean Vehicle Directive

Dekarbonisierung: Reduzierung des Einsatzes von kohlenstoffbasierten Energieträgern auf null, das wäre beispielsweise im Bereich Wärmeversorgung eine komplette Umstellung auf CO₂-freie Alternativen.

DRI – Direct Reduced Iron: Eisenschwamm, der durch eine direkte Reduktion von Roheisen zu Stahl gewonnen wird. Dieser Vorgang wird beispielsweise mit Wasserstoff durchgeführt.

DSM – Demand Side Management: Konzept zur Laststeuerung, um die Stromnachfrage zu flexibilisieren und Kosten zu senken

EE: erneuerbare Energien

EEG 2021: Erneuerbare-Energien-Gesetz 2021

EH55: Effizienzhaus 55

E-KFZ: Elektro-Kraftfahrzeug

EnEff-Netzwerke: Energieeffizienz-Netzwerk

Energiesprong: innovatives Sanierungsprinzip, das auf einen digitalisierten Bauprozess, standardisierte Lösungen und eine kurze Sanierungszeit durch vorgefertigte Modulbauweise setzt.

Energy-Only-Markt: In einem Energy-Only-Markt richtet sich die Vergütung nur nach tatsächlich erzeugter Strommenge.

ERAA: European Resource Adequacy Assessment

Erneuerbaren-Strom: Strom aus erneuerbaren Energien

ETS: Emission-Trading-System

FCEV: Fuel Cell Electric Vehicles

GHD: Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Green Field: Etablierung eines Projekts/Vorhabens/Systems ohne Einschränkung durch vorab existierende Bedingungen. Gewissermaßen die Idealvorstellung im Gegensatz zur Realität, in der Pfadabhängigkeiten bestehen („Brown Field“).

Grüner Wasserstoff: wird durch die Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff mithilfe von Elektrolyse mit erneuerbarem Strom gewonnen.

H₂: Wasserstoff

H₂-ready: Gasinfrastruktur und -technologien, die auch für den teilweisen bis gänzlichen Ersatz durch Wasserstoff geeignet sind

IKT: Informations- und Kommunikationstechnologien

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

Investment Leakage: Verlagerung von Investitionen aufgrund von besseren Rahmenbedingungen.

KEP-Dienstleistungen: Kurier-Express-Paket-Dienst

KfW: Kreditanstalt für Wiederaufbau

KSG: Klimaschutzgesetz

KVBG: Kohleverstromungsbeendigungsgesetz

kWh: Kilowatt pro Stunde

KWK: Kraft-Wärme-Kopplung

KWKG: Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

LCBT – Low-Carbon Breakthrough Technologies: neue, CO₂-arme Produktionsverfahren. Verwendung des Begriffs insbesondere für neue Industrieprozesse.

Level-Playing-Field: Auf einem Level-Playing-Field sind Markt- und Wettbewerbsbedingungen für alle Akteure, Prozesse, Energieträger etc. gleich.

Lock-in-Risiko: Risiko, dass Infrastruktur an einen bestimmten Energieträger gebunden ist und ein Wechsel spät oder gar nicht stattfinden kann.

LOHC – Liquid Organic Hydrogen Carriers: flüssige organische Wasserstoffträger

MENA-Region – Middle East and South Africa: Naher Osten und Südafrika

Mitigation: Minderung von Emissionen

MIV: motorisierter Individualverkehr

Modal Split: Verteilung des Transportaufkommens auf verschiedene Verkehrsträger oder -mittel

Mt: Megatonne

NEP: Netzentwicklungsplan

NET – Negative Emission Technologies: Technologien, die negative Emissionen schaffen (z. B. DAC). Diese werden für Klimaneutralität nötig sein, um unvermeidbare Restemissionen auszugleichen.

NWS: Nationale Wasserstoffstrategie

ÖV: öffentlicher Verkehr

PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Powerfuels: gasförmige und flüssige Energieträger und Rohstoffe, die erneuerbar mithilfe von Power-to-X-Technologien aus erneuerbarem Strom erzeugt werden. Hierzu gehören Gase wie Wasserstoff oder Methan ebenso wie Flüssigenergieträger wie Diesel, Benzin oder Kerosin als auch Rohstoffe wie Ammoniak, Ethylen, Methylen oder Propylen.

PPA – Power Purchase Agreements: langfristige Stromlieferverträge

Prosumer: Verbraucher (Consumer), der gleichzeitig Produzent (Producer) ist

PtG – Power to Gas: Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse und synthetischem Methan durch anschließende Methanisierung des Wasserstoffs

PtX – Power to X: umfasst alle Technologien zur Herstellung synthetischer Brenn-, Kraft- und Grundstoffe aus elektrischer Energie

PV: Photovoltaik

P2H – Power to Heat: Umwandlung von Strom in Wärme

QSM: Querschnittsmodul

Quellprinzip: Prinzip, nach welchem Emissionen nach ihrem Entstehungsort bilanziell demjenigen Sektor oder Staat zugerechnet werden, in dem Treibhausgase physisch in die Atmosphäre entweichen.

RED II: Renewable Energy Directive II

Remanenz-Effekt: städtebauliches Phänomen, bei dem Familien trotz Reduktion des Wohnraumbedarfs (beispielsweise durch Auszug der Kinder) in derselben Wohnung mit gleicher Wohnfläche bleiben.

SAF – Sustainable Aviation Fuel: nachhaltiger Flugtreibstoff

SDGs – Sustainable Development Goals: nachhaltige Entwicklungsziele der Vereinten Nationen

SEM: Sektormodul

Shared Econom: Wirtschaft des Teilens – geteilter Nutzen von Ressourcen

Sensitivität: Untersuchung eines Einzelaspekts eines Szenarios, indem der hierfür relevante Parameter variiert wird, beispielsweise zur Erhöhung der Robustheit der Erkenntnisse der Hauptanalyse

SIP: staatlich induzierte Preisbestandteile

Szenario: eigenständige, in sich konsistente Zukunftsprojektion (Storyline, Narrativ), für die eine Vielzahl an Parametern definiert und abgestimmt werden, welche in Gesamtheit den Transformationspfad ergeben

THG – Treibhausgasemissionen: umfasst alle durch Treibhausgase (beispielsweise Methan und Kohlenstoffdioxid) verursachten Emissionen.

Türkiser Wasserstoff: wird durch die Spaltung von Methan (Erdgas) in festen Kohlenstoff und Wasserstoff durch Methanpyrolyse gewonnen.

TWh: Terrawattstunde

TWh/a: Terrawattstunde pro Jahr

TYNDP: Ten Year Network Development Plan

UNCTAD: United Nations Conference on Trade and Development

Verursacherprinzip: Prinzip, nach welchem ausgestoßene Emissionen beim letztverbrauchenden Akteur bilanziert werden.

WP: Wärmepumpe

