



# Impuls zur aktuellen klimapolitischen Debatte

Einschätzungen auf Basis der dena-Leitstudie  
Integrierte Energiewende



## **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  
www.dena.de

Energiewirtschaftliches Institut  
an der Universität zu Köln (EWI)  
Alte Wagenfabrik  
Vogelsanger Straße 321 a  
50827 Köln  
Tel.: +49 (0)221 277 29-100  
Fax: +49 (0)221 277 29-400  
info@ewi.uni-koeln.de

### **Autoren:**

dena:  
Manuel Battaglia  
Thomas Bründlinger  
Thomas Drinkuth  
Tibor Fischer  
Dietmar Gründig  
Steffen Joest  
Christoph Jugel  
Oliver Krieger  
Christian Massow  
Stefan Mischinger  
Dr. Philipp Prein  
Hannes Seidl  
Stefan Siegemund  
Christian Stolte  
Norman Wendt  
Jakob Willke  
Roman Zurhold

### **EWI:**

Dr. Johannes Wagner  
Max Gierkink  
Philipp Theile

### **Konzeption & Gestaltung:**

Heimrich & Hannot GmbH

### **Bildnachweis:**

Titelbilder – shutterstock, Getty Images/Thinkstock,  
Getty Images, iStockphoto/dan\_prat, dena,  
Einleitung – dena/Christian Schlüter

### **Stand:**

09/2019

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

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>1. Rahmenbedingungen</b>	<b>8</b>
<b>2. Energieeffizienz</b>	<b>10</b>
<b>3. Energiewirtschaft</b>	<b>12</b>
3.1 Erneuerbare Energien	13
3.2 Powerfuels	15
3.3 Versorgungssicherheit	17
3.4 Infrastruktur	19
<b>4. Verkehr</b>	<b>21</b>
<b>5. Gebäude</b>	<b>24</b>
<b>6. Industrie</b>	<b>27</b>
<b>7. Internationales</b>	<b>30</b>
<b>8. Ausblick auf Klimaneutralität 2050</b>	<b>32</b>
<b>9. Integrierte Energiewende</b>	<b>34</b>
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	<b>36</b>

# Zusammenfassung

Die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende kann der aktuellen Debatte über Energiewende und Klimaschutz wichtige Impulse geben. Die darin enthaltenen Szenarien zeigen, wie die Klimaschutzziele 2030 und 2050 erreicht werden können. Allerdings basieren sie auf Daten für das Jahr 2015. Mittlerweile liegen Zahlen bis 2017 oder auch 2018 vor. Auch die politische Debatte hat sich seit Erscheinen der dena-Leitstudie im Sommer 2018 deutlich weiterentwickelt. Deshalb haben die Deutsche Energie-Agentur (dena) und das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) untersucht, was die jüngsten Entwicklungen für die Szenarien der dena-Leitstudie bedeuten und welche Handlungsempfehlungen sich daraus für die anstehenden politischen Entscheidungen in Energie- und Klimapolitik ableiten lassen.

## Kennzahlen aus den Szenarien der dena-Leitstudie

In allen Sektoren ist noch viel zu tun. Im Verkehr, in Gebäuden und der Industrie ist der Endenergieverbrauch weiter gestiegen, anstatt zu sinken. In der Energiewirtschaft hat zwar der Anteil der Kohleverstromung abgenommen, aber beim Ausbau der erneuerbaren Energien zeichnet sich ein Einbruch ab. Für die Szenarien der dena-Leitstudie bedeutet das, dass die dort modellierten Entwicklungen später einsetzen und dafür noch schneller vorankommen müssen, um das Klimaziel 2030 zu erreichen. Ein paar ausgewählte Kennzahlen verdeutlichen das:

- Der Ausbau der **erneuerbaren Energien** würde unter den aktuellen Rahmenbedingungen voraussichtlich auf 1,7 Gigawatt netto pro Jahr zurückgehen. Notwendig wäre bis 2030 ein Nettozubau von mindestens 6 Gigawatt pro Jahr.
- Nach 20 Jahren Laufzeit fallen immer mehr Anlagen aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und müssen möglicherweise stillgelegt werden. Allein zwischen 2021 und 2030 werden Anlagen mit einer Leistung von über 51 Gigawatt davon betroffen sein. Der Bruttozubau müsste also bis zu 11 Gigawatt pro Jahr betragen (5 Gigawatt pro Jahr um den Status quo zu erhalten, 6 Gigawatt pro Jahr um zusätzliche Kapazitäten aufzubauen und einen Anteil von 65 Prozent erneuerbarer Energien am Stromverbrauch bis 2030 zu erreichen).
- Obwohl sich die Marktlage für **Gaskraftwerke** verbessert hat und der Ausstieg aus Atomkraft und Kohle absehbar ist, wurden von 2015 bis 2018 keine neuen Anlagen in Betrieb genommen. Je nach Studienannahmen und Szenario wäre bis 2030 ein jährlicher Zubau von 2,2 Gigawatt pro Jahr erforderlich, wenn europäische Ausgleichseffekte nicht voll genutzt werden.
- Der Bestand an **batterieelektrischen Fahrzeugen** hat zwischen 2015 und 2018 um 30.000 zugenommen; der Bestand an **Erdgasfahrzeugen** ist in der gleichen Zeit um 6.000 zurückgegangen. Notwendig wäre bis 2030 ein Zuwachs von durchschnittlich 460.000 beziehungsweise 330.000 Fahrzeugen pro Jahr. Der Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs ist zwischen 2015 und 2017 um 22 Terawattstunden gestiegen. Bis 2030 wäre jedoch eine Reduktion von mindestens 152 Terawattstunden notwendig.
- Die **Gebäudesanierungsrate** liegt seit Jahren bei rund 1 Prozent pro Jahr. 2018 betrug sie sogar nur 0,8 Prozent. Nach der dena-Leitstudie hätte sie ab 2015 auf 1,4 Prozent steigen müssen. Dieses Tempo reicht nicht mehr. Notwendig wäre ab jetzt bis 2030 eine Gebäudesanierungsrate von 1,5 Prozent pro Jahr.
- Der Absatz von **Wärmepumpen** nimmt zwar zu. 2018 lag er bei 84.000 Stück. Mit Blick auf das Klimaziel 2030 müsste die Installationsrate aber auf über 200.000 pro Jahr steigen.
- Der Endenergieverbrauch in der **Industrie** ist von 2015 bis 2017 um 9 Terawattstunden gestiegen. Notwendig wäre bis 2030 ein Rückgang um 32 Terawattstunden, bei gleichzeitig steigendem Bruttoinlandsprodukt.



## Leitplanken für die Debatte

Umso wichtiger ist es, dass die Politik jetzt die Weichen für das Erreichen der Klimaziele stellt. Bis 2030 soll Deutschland 55 Prozent weniger Treibhausgasemissionen ausstoßen als im Jahr 1990 – „auf jeden Fall“, wie es im Koalitionsvertrag heißt. Wo es bis 2050 genau hingehen soll, ist noch zu klären. Bisher galt ein Korridor von 80 bis 95 Prozent weniger Treibhausgasemissionen. Mittlerweile steht auch das Ziel der Klimaneutralität im Raum. Orientierungspunkt ist bei allem das Pariser Klimaabkommen, mit dem die Erderwärmung bis 2050 auf maximal 2, möglichst 1,5 Grad Celsius begrenzt werden soll. Für die anstehende Debatte über Instrumente und Ziele lassen sich aus der dena-Leitstudie wichtige Leitplanken ableiten:

- **Energiewende braucht einen neuen ökonomischen Rahmen:** Das bedeutet vor allem die Bepreisung von CO<sub>2</sub> und eine umfassende Reform der Steuern, Abgaben und Umlagen. Ein solcher Rahmen kann in allen Handlungsfeldern der Energiewende verkrustete Strukturen aufbrechen und eine neue Dynamik freisetzen, von der Energiewirtschaft bis zu Verkehr, Gebäuden und Industrie. Wichtige Faktoren sind dabei eine klare Ausrichtung auf die Vermeidung von CO<sub>2</sub>, Aufkommensneutralität, soziale Gerechtigkeit, langfristige Planungssicherheit und Schutz der Industrie vor Wettbewerbsnachteilen.
- **Energiewende steht auf drei Säulen:** Energieeffizienz, direkte Nutzung von erneuerbarem Strom und synthetische, erneuerbare Kraft-, Brenn- und Grundstoffe (Powerfuels). In allen drei Säulen muss das Transformationstempo deutlich erhöht werden. Sie ergänzen sich und dürfen nicht gegeneinander ausgespielt werden. Den größten Teil der Powerfuels wird Deutschland importieren müssen. Trotzdem sollte Deutschland auch eigene Kapazitäten aufbauen, um als Technologieanbieter diesen Zukunftsmarkt mitgestalten zu können.
- **Energiewende braucht flexible und intelligente Infrastrukturen:** Bei der Infrastrukturplanung sollte das System als Ganzes in den Blick genommen werden. Ziel sollte sein, zusammen mit einem weiterentwickelten Marktdesign die Flexibilität zu erhöhen, innovative Ansätze auf den Weg zu bringen und Synergien zwischen Netzen, Erzeugern und Verbrauchern besser zu nutzen.
- **Energiewende braucht Förderung und Beratung, Information und Dialog:** Ordnungsrecht und CO<sub>2</sub>-Bepreisung reichen nicht aus, um Menschen zum Handeln zu bewegen. Der Wechsel zu klimaschonenden Alternativen ist oft mit Investitionen verbunden, oder auch mit der Umstellung von Gewohnheiten – sei es beim Wohnen, in der Mobilität oder der Freizeit, in privaten Haushalten, Unternehmen oder Kommunen. Die Politik sollte deshalb nicht nur Druck aufbauen, sondern auch attraktive Angebote und Anreize schaffen. Das ist auch wichtig, um die gesamtgesellschaftliche Unterstützung im Laufe der Transformation aufrechtzuerhalten.
- **Energiewende muss lernen, mit Restemissionen umzugehen:** Insbesondere im Industriesektor lassen sich aus heutiger Sicht auch langfristig manche Emissionen nicht ganz vermeiden. Je ambitionierter die Klimaziele, desto mehr geht es auch darum, Kohlenstoffe zu binden – sei es durch Aufforstung, Abscheidung und Speicherung, Direct Air Capture oder andere Technologien.
- **Energiewende braucht einen integrierten Ansatz, Offenheit und Innovation:** Die Energiesektoren sind im Wandel, Grenzen weichen auf, die Interaktion steigt. Digitalisierung macht es möglich, die wachsende Zahl an Komponenten des Energiesystems aufeinander abzustimmen und Dienstleistungen neu auf die Bedürfnisse von Menschen zuzuschneiden. Dieser Wandel lässt sich nicht langfristig vorausplanen und steuern oder in einem einzigen großen Schritt bewältigen. Er lässt sich nur im steten Dialog auf konkrete Schritte und Herausforderungen herunterbrechen, die sich mit den im jeweiligen Moment verfügbaren Mitteln und Unterstützern bewältigen lassen. Gleichzeitig gilt es, den Blick fürs Ganze zu bewahren, globale Allianzen zu schmieden und offen für Neues zu bleiben. Der Begriff der integrierten Energiewende und die Ergebnisse der dena-Leitstudie sind dafür eine gute Grundlage.

# Einleitung



## Andreas Kuhlmann

Vorsitzender der Geschäftsführung  
der Deutschen Energie-Agentur (dena)

Die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende hat im Sommer 2018 gezeigt, wie Deutschland seine Energie- und Klimaziele für die Jahre 2030 und 2050 erreichen kann. Dabei machte sie deutlich, dass rasches politisches Handeln und ein Umschwenken auf einen zielführenden Transformationspfad notwendig sind. Die Szenarien der dena-Leitstudie basierten auf Daten für das Jahr 2015. Mittlerweile liegen Daten für 2017 und zum Teil für 2018 vor. Auch die politische Diskussion hat sich weiterentwickelt. Für die zweite Hälfte des Jahres 2019 stehen in Deutschland wichtige Entscheidungen an, zum Beispiel zum Klimaschutzgesetz 2030, zur Bepreisung von CO<sub>2</sub> und zum Kohleausstieg. Grund genug, eine Zwischenbilanz auf Basis der dena-Leitstudie und aktualisierter Daten zu ziehen.

Der öffentliche Druck für mehr Klimaschutz hat deutlich zugenommen, nicht zuletzt durch die Umfragen und Wahlen der vergangenen Monate, die „Fridays for Future“-Bewegung und Wetterextreme. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung bis spätestens 2038 ist weitgehend Konsens, seitdem die von der Bundesregierung einberufene Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ dies im Januar vorgeschlagen hat. Beim EU-Gipfel im Juni hat sich Deutschland bereits hinter die Forderung gestellt, Klimaneutralität als Ziel für das Jahr 2050 festzulegen. Gleichwohl hat sich damit in der Praxis bisher kaum etwas verändert. Die Weichen für eine rasche Reduzierung der Treibhausgasemissionen wurden noch nicht gestellt.

Mit Blick auf die anstehenden klima- und energiepolitischen Entscheidungen haben die Deutsche Energie-Agentur (dena) und das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) die Szenarien und Empfehlungen aus der Leitstudie noch einmal auf den Prüfstand gestellt. Wie haben sich die verschiedenen Handlungsfelder seit dem Erscheinen der Studie entwickelt? Und welche Maßnahmen sollte die Politik deshalb jetzt angehen? Die dena hat zu jedem Handlungsfeld eine Lagebeschreibung und aktualisierte Handlungsempfehlungen formuliert, ergänzend zu den Empfehlungen vom Juni 2018, da diese in weiten Teilen immer noch zutreffen.<sup>1</sup> Das EWI hat Energieflussdiagramme entwickelt, die zeigen, wie sich der Energieträgermix in den vier Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Industrie bis 2017 oder 2018 verändert hat und wie er sich nach den Szenarien der dena-Leitstudie bis 2030 verändern müsste, um das Klimaziel zu erreichen. Weitere Detailgrafiken unterstreichen, wie sehr sich die aktuellen Transformationstrends verstärken müssen.<sup>2</sup>

Die Zwischenbilanz soll eine Orientierung für die Debatte geben – insbesondere mit Blick auf das nächste Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 Prozent zu reduzieren.

<sup>1</sup> Die Empfehlungen der dena-Leitstudie vom Juni 2018 wurden in einem breiten Diskussionsprozess mit über 60 Studienpartnern aus Wirtschaftsunternehmen und -verbänden verschiedener Branchen erarbeitet. Die Empfehlungen in diesem Impulspapier bauen darauf auf, beruhen aber allein auf Einschätzungen der dena.

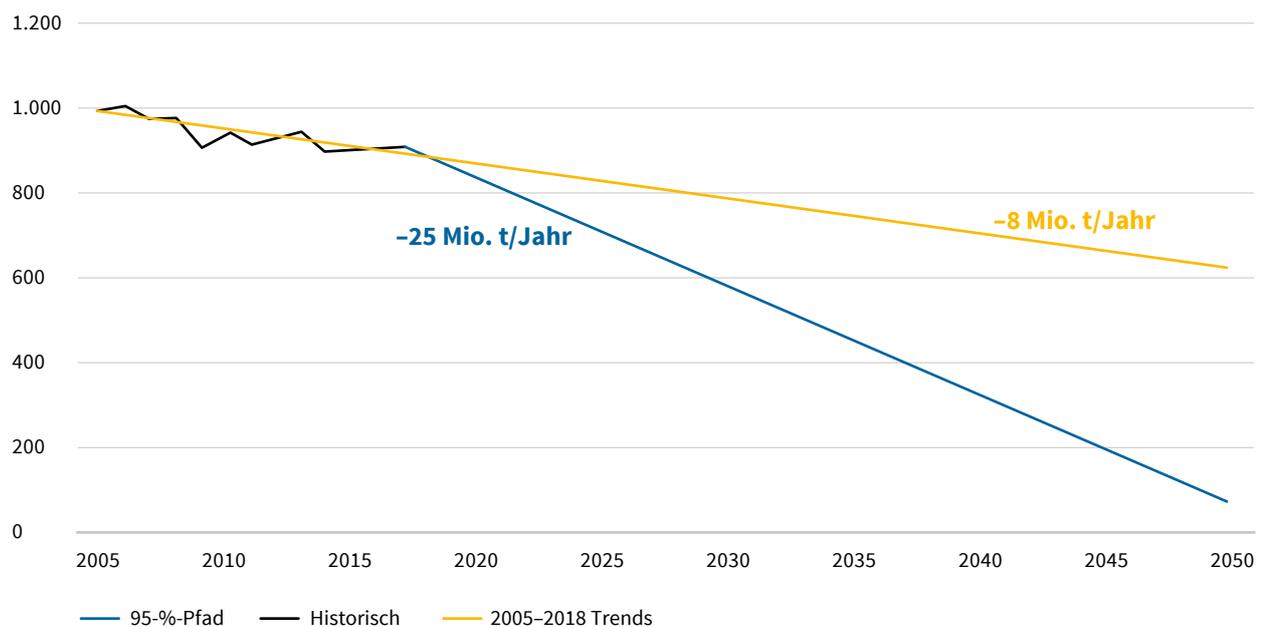
<sup>2</sup> Dieses Statusupdate betrachtet die tatsächlichen Entwicklungen in den vier Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Industrie und Verkehr seit der Veröffentlichung der dena-Leitstudie (dena, 2018b) und vergleicht diese mit den Transformationspfaden der dena-Leitstudie. Zum Vergleich werden die Werte der Technologiemixszenarien (TM-Szenarien) der dena-Leitstudie herangezogen, die bis 2030 demselben Pfad folgen und eine Emissionsreduktion um 55 Prozent erreichen. Für das Jahr 2050 orientieren sich die Ergebnisse am TM95-Szenario, da dieses Szenario das ambitioniertere Reduktionsziel von minus 95 Prozent erreicht.

Grundsätzlich bedeuten die Entwicklungen der vergangenen Monate für die Szenarien der dena-Leitstudie: Zum Erreichen der Ziele bleibt weniger Zeit, die Emissionskurve muss noch steiler nach unten gehen. Gleichzeitig verschärfen sich durch die mittlerweile angestrebte Klimaneutralität bis 2050 sogar die langfristigen Zielmarken. Im Ergebnis heißt das für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen: Deutschland muss das Tempo mehr als verdreifachen – von einer Reduktion um bisher 8 Millionen Tonnen pro Jahr auf 25 Millionen Tonnen pro Jahr (siehe EWI-Abbildung 1).

Immerhin: Der Moment scheint günstig für richtungsweisende Entscheidungen. Die Debatte ist weit fortgeschritten. Die Politik hat es in der Hand, mit neuen Rahmenbedingungen der integrierten Energiewende und dem Klimaschutz den Weg zu ebnen.

#### EWI-Abbildung 1: Deutschlands Treibhausgasemissionen und mögliche Minderungspfade

Zwischen 2005 und 2018 hat Deutschland seine Treibhausgasemissionen durchschnittlich um 8 Millionen Tonnen pro Jahr reduziert (UBA, 2019). Bei dieser Minderungsrate würden die Emissionen im Jahr 2050 ca. 616 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente betragen. Um 2030 und 2050 die Werte der dena-Leitstudie auf dem 95-Prozent-Zielpfad zu erreichen, müssten die Emissionen in den nächsten Jahren jährlich um 25 Millionen Tonnen sinken (dena, 2018b). Das entspricht mehr als dem Dreifachen der aktuellen Minderungsrate.





# 1. Rahmenbedingungen

Die Debatte über die grundsätzlichen Rahmenbedingungen der Energiewende ist deutlich vorangekommen seit Mitte 2018. Verschiedene Ansätze liegen auf dem Tisch, die dem Ausstoß von CO<sub>2</sub> in den Sektoren Gebäude und Verkehr einen Preis geben sollen. Bisher werden diese Sektoren nicht vom EU-Emissionshandel erfasst. Da eine Ausweitung des EU-Emissionshandels nur langfristig möglich ist, stehen als kurzfristige Alternativen die Besteuerung von CO<sub>2</sub> und ein separater CO<sub>2</sub>-Emissionshandel auf nationaler Ebene zur Diskussion. Ein Vorschlag der Bundesregierung wird für die zweite Septemberhälfte erwartet.

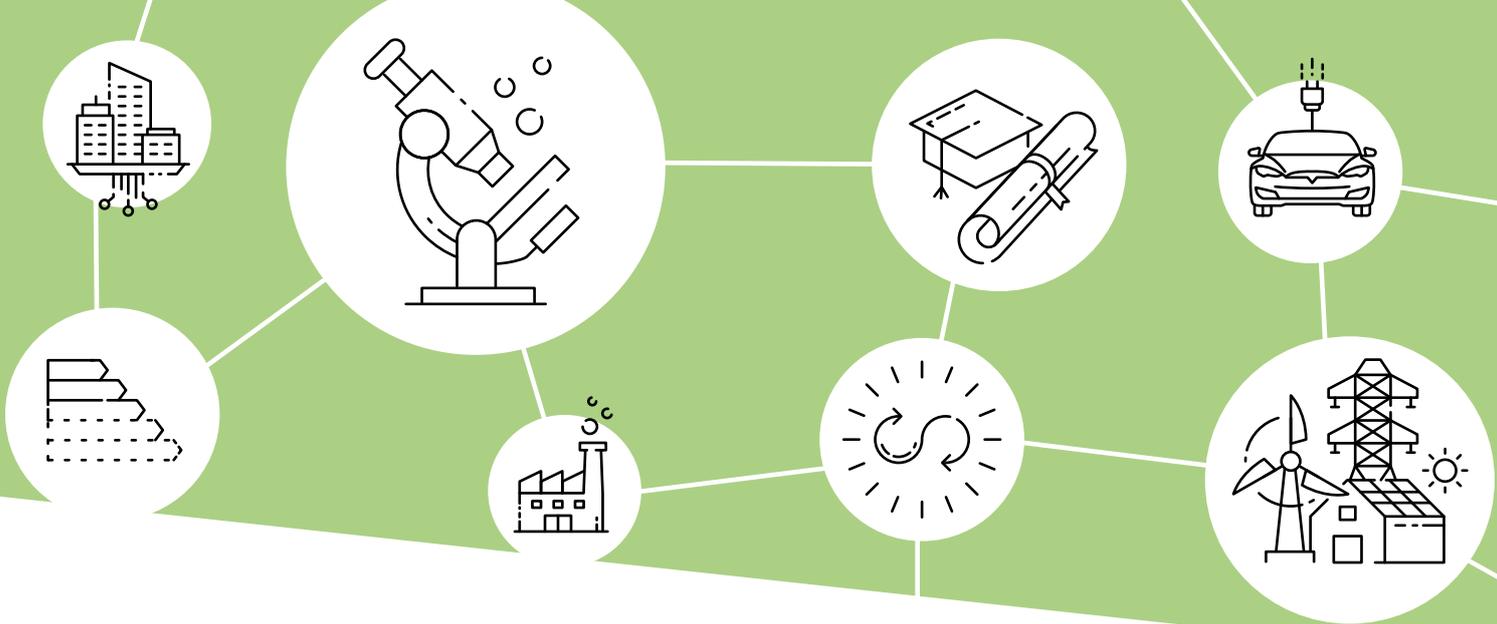
Der Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung hat in seinem Sondergutachten gezeigt, dass beide Ansätze zum Ziel führen, solange sie als Übergangslösung auf dem Weg zu einem umfassenden EU-Emissionshandel angelegt werden. Mittlerweile zeichnet sich ab, dass beide Varianten Zeit für die Implementierung brauchen. Das gilt für den nationalen Zertifikatehandel in besonderer Weise. Aber auch ein Weg über die Energiesteuern würde nicht so schnell gehen, wie es manche erwarten. Auch hier müssten Steuer-sätze und Ausnahmen geklärt werden. Vor allem braucht es Zeit, um die wie auch immer geartete Rückverteilung der Einnahmen zu regeln – sei es über die Stromkosten oder einen anderen Mechanismus.

Der Preis für CO<sub>2</sub>-Zertifikate im EU-Emissionshandel hat mittlerweile dauerhaft ein Niveau von über 20 Euro pro Tonne erreicht. Zeitweise lag er sogar knapp unterhalb der 30-Euro-Marke. Die dena-Leitstudie hatte solche Preise erst für die Zeit ab 2020 angenommen. Der Preis wirkt. Der Anteil der Kohleverstromung geht zurück, Gaskraftwerke werden wettbewerbsfähiger – noch bevor ein Kohleausstieg verordnet worden wäre. Dies zeigt, dass die Annahmen in der dena-Leitstudie richtig waren und der politische Diskurs mehr Vertrauen in Preissignale haben sollte. In den Szenarien der dena-Leitstudie gelingt der Kohleausstieg sogar allein durch die Preisentwicklung für CO<sub>2</sub>.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **Rahmengesetz für den Klimaschutz verabschieden:** Mit dem Klimaschutzgesetz 2030 und dem Klimaschutzplan 2050 geht die Bundesregierung bereits in diese Richtung. Dabei sollten zur klaren Orientierung Zielkorridore für Emissionen in den einzelnen Sektoren festgelegt werden. Gleichzeitig braucht es einen Mechanismus für den Ausgleich zwischen den Sektoren, damit flexibel auf besondere Herausforderungen reagiert werden kann. Am Ende kommt es darauf an, dass das CO<sub>2</sub>-Gesamtbudget eingehalten wird. Darüber hinaus ist es wichtig, das Einhalten der Ziele laufend zu überprüfen und die Verantwortlichkeiten in Regierung und Verwaltung klar zu definieren.
- **CO<sub>2</sub>-Bepreisung für die Sektoren Gebäude und Verkehr kurzfristig auf nationaler Ebene einführen**, sei es als Steuer oder als separater Emissionshandel. Diese nationale Maßnahme soll als Übergangslösung dienen.
- **Mindestpreis für CO<sub>2</sub> einführen**, sowohl in der nationalen Bepreisung für die Sektoren Gebäude und Verkehr als auch im EU-Emissionshandel. Ein Mindestpreis garantiert eine nachhaltigere Lenkungswirkung und gibt Wirtschaft und Verbrauchern mehr Planungssicherheit.
- **Überschüssige CO<sub>2</sub>-Zertifikate zeitnah aus dem Markt nehmen**, wenn zusätzliche Maßnahmen wie etwa der Ausstieg aus der Kohleverstromung die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen beschleunigen.
- **Für eine Ausweitung des EU-Emissionshandels eintreten**, damit dieser ab 2030 auf die Sektoren Gebäude und Verkehr ausgeweitet werden kann. Die nationale Übergangslösung wird dadurch ersetzt.
- **Steuern, Abgaben und Umlagen reformieren**, noch in dieser Legislaturperiode. Das gewachsene System aus Steuern, Abgaben und Umlagen ist klimaschädlich, unübersichtlich, innovationsfeindlich und führt zu sozialen Verwerfungen sowie zu Verzerrungen zwischen Energieträgern und Sektoren. Ausgangspunkt könnte die Befreiung aller Verbraucher von der EEG-Umlage sein. Strom muss günstiger werden, damit er vermehrt in allen Sektoren zum Einsatz kommen kann. Grundsätzlich geht es darum, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken, Innovationen im Sinne einer integrierten Energiewende anzureizen und gleichzeitig Mehrbelastungen zu vermeiden. Außerdem ist zu beachten, dass der Bundeshaushalt erhebliche Veränderungen erfahren wird, sollten die Klimaziele erreicht werden. Trotzdem müssen die Einnahmen verlässlich bleiben. Um die verschiedenen Faktoren zu berücksichtigen und auszutarieren, bedarf dies einer umfassenderen Planung für die Zeit bis 2030.
- **Aufkommensneutralität sichern:** Mehreinnahmen durch CO<sub>2</sub>-Bepreisung sollten durch klimazielerorientierte Entlastungen an anderer Stelle ausgeglichen werden. Es braucht nicht mehr Steuern, Abgaben und Umlagen, sondern solche, die eine Lenkungswirkung für Energiewende, Klimaschutz und Technologieoffenheit entfalten.
- **Finanzmärkte auf Klimaneutralität ausrichten:** Dafür braucht es mehr Transparenz über die Klimaeffekte verschiedener Branchen und Unternehmen und einheitliche Standards für deren Bewertung.



## 2. Energieeffizienz

In der Energieeffizienz gab es im vergangenen Jahr kaum Fortschritte. Dies hängt auch mit der offenen Frage einer Bepreisung von CO<sub>2</sub> zusammen, die bei einer Neuausrichtung der Effizienzstrategie eine wichtige Rolle spielen würde. Zwar sank der Primärenergieverbrauch 2018 unter anderem witterungsbedingt deutlich um fünf Prozent. Politisch hat sich aber beim Rahmen und bei zentralen Instrumenten wenig getan, so dass aktuell noch keine Trendumkehr absehbar ist. Die Effizienzlücke droht 2019 wieder größer zu werden. Nach der dena-Leitstudie müsste der Endenergieverbrauch in den Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie zusammen kontinuierlich um mehr als ein Prozent sinken, bei einem jährlichen Wirtschaftswachstum von einem Prozent (siehe auch die Kapitel 4, 5 und 6).

„Efficiency First“ wird zwar mittlerweile breiter als politisches Leitprinzip diskutiert. Die von der Bundesregierung für die aktuelle Legislaturperiode auf die Agenda gesetzten Vorhaben – insbesondere die Erarbeitung einer sektorübergreifenden Energieeffizienzstrategie und die Weiterentwicklung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE 2.0) – sind aber bisher nicht vorangekommen. Symptomatisch ist auch, dass ein Schlüsselinstrument wie die seit Jahren angekündigte steuerliche Förderung der Gebäudesanierung weiter auf sich warten lässt. Gleichzeitig gibt es zum Teil erhebliches Optimierungspotenzial bei den bestehenden Rahmenbedingungen, Strukturen und Instrumenten. Auf Verbraucher wirken die Angebote nach wie vor oft unübersichtlich und umständlich.

Erste Optimierungen sind seit Anfang 2019 bei den Unternehmensförderprogrammen erkennbar, die grundsätzlich neu strukturiert wurden. Ein weiterer Lichtblick ist die Entwicklung von Energieeffizienznetzwerken. Hier arbeiten Wirtschaftsverbände, Bund, Länder, Energieagenturen und viele weitere Stakeholder eng zusammen. Über 300 Netzwerke haben sich bisher gebildet. Gemessen an den bisher erfassten Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen sind die Netzwerke aktuell eines der erfolgreichsten Instrumente aus dem NAPE. Deutliche Impulse für den Energieeffizienzmarkt sind zu erwarten, wenn demnächst eine Ausweitung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung beschlossen werden sollte.



## dena-Handlungsempfehlungen<sup>3</sup>

- **Bestehende Rahmenbedingungen und Instrumente weiterentwickeln**, so dass die Potenziale konsequent erschlossen werden. Die Instrumente sollten dabei die gesamte Handlungskette umfassen, von der Erstinformation über die Beratung und Finanzierung bis zur Umsetzungsbegleitung. Dazu gehören gezielte finanzielle Anreize, zum Beispiel die steuerliche Förderung von Energieeffizienzinvestitionen für selbstnutzende Gebäudeeigentümer, aber auch die Weiterentwicklung und bessere Vollzugskontrolle von ordnungsrechtlichen Vorgaben.
- **Energieeffizienzmärkte stärken**: Grundlage dafür sind faire und transparente Märkte sowie die Orientierung an hochwertigen Produkten und Dienstleistungen. Dafür müssen politische und administrative Hemmnisse abgebaut und Produkt- und Marktübersichten verbessert werden.
- **Öffentliche Investitionen und Beschaffung konsequent auf Energieeffizienz ausrichten**. Die öffentliche Hand kann eine wichtige Vorbildfunktion übernehmen und damit Impulse für den Markt setzen.
- **Aus- und Weiterbildung verbessern**, weg von kleinteiligen Standardangeboten hin zu einer auf die Bedürfnisse einer integrierten Energiewende ausgerichteten Bildungsstrategie, die eine weitergehende Ausschöpfung von Potenzialen durch digitale Möglichkeiten und systemische Ansätze mit einschließt.
- **Informationsangebote verbessern**, unter anderem durch bessere Verzahnung und Weiterentwicklung der Angebote auf Bundesebene mit Angeboten auf regionaler und lokaler Ebene sowie durch smarte, digitale Angebote und Tools.
- **Einführung eines Energieeffizienzfonds prüfen**, um förderungswürdige Energieeffizienzprojekte zu unterstützen und zusätzliche Anreize für Investitionen in Bereichen zu geben, die heute kaum Förderung erhalten können, zum Beispiel für einkommensschwache Haushalte.
- **Engagement auf europäischer Ebene verstärken**, sowohl bei der Erarbeitung ambitionierter Standards und Verordnungen als auch durch die Beschleunigung der nationalen Umsetzung.

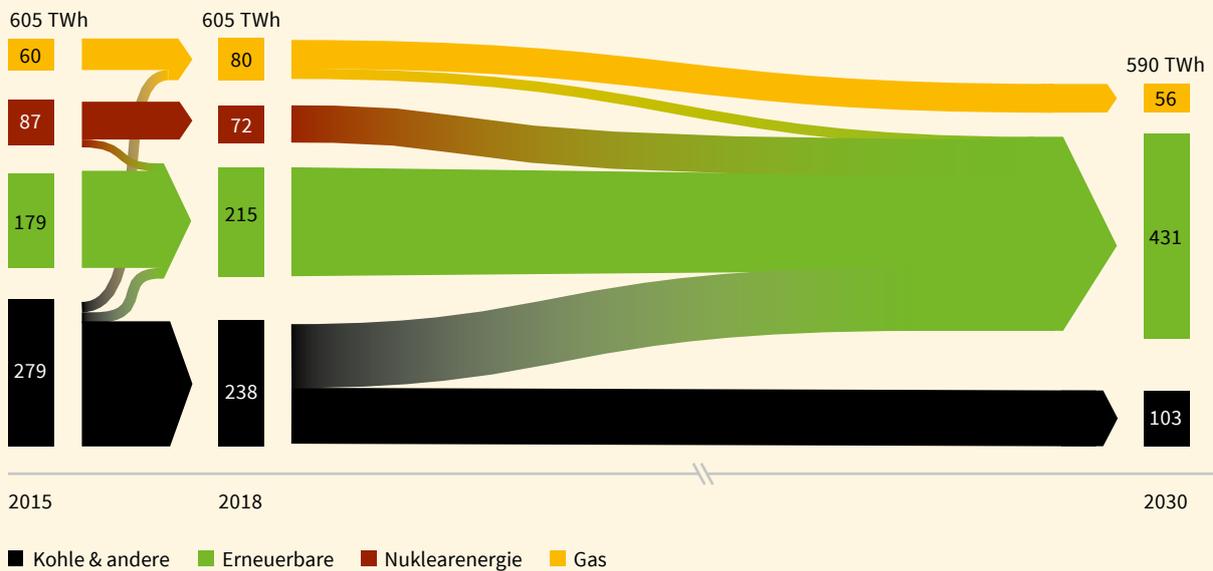
<sup>3</sup> Siehe auch die spezifischeren dena-Empfehlungen zu den Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie in den Kapiteln 4, 5 und 6.



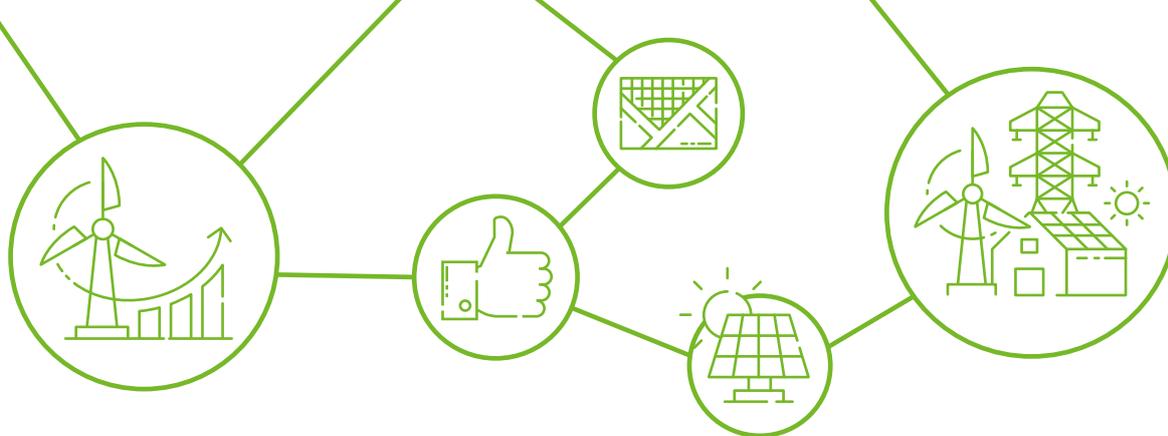
# 3. Energiewirtschaft

## EWI-Abbildung 2: Nettostromerzeugung nach Energieträgern

Die Bedeutung von erneuerbaren Energien nimmt in der dena-Leitstudie stark zu: Bereits für die Jahre 2015 bis 2018 lässt sich in der Stromerzeugung eine Entwicklung von Kohle und Nuklearenergie hin zu erneuerbaren Energien und Gas erkennen. Die Gesamtnettostromerzeugung bleibt in diesem Zeitraum konstant. Die Kohleverstromung geht leicht zurück, von 250 Terawattstunden (TWh) auf 210 TWh, während Andere mit 29 TWh bzw. 28 TWh etwa konstant bleibt. Nuklearenergie sinkt im gleichen Zeitraum von 87 TWh auf 72 TWh (AGEB, 2019a). Erneuerbare Energien steigen um 36 TWh von 179 TWh auf 215 TWh. Im Transformationspfad der dena-Leitstudie bis 2030 verstärkt sich dieser Trend. Neben dem Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 wird über die Hälfte der Kohleverstromung von erneuerbaren Energien kompensiert.<sup>4</sup>



<sup>4</sup> Dargestellt ist die Nettostromerzeugung ohne Veränderungen in der Bilanz des Stromaußenhandels. In den TM-Szenarien der dena-Leitstudie wird von einer moderat ansteigenden Stromnachfrage ausgegangen, die aus der zunehmenden Elektrifizierung der Verbrauchssektoren Gebäude, Industrie und Verkehr entsteht. Bei steigender Stromnachfrage und gleichzeitig leicht rückläufiger Nettostromerzeugung bis 2030 würde mehr Strom importiert werden. So wird Deutschland in der dena-Leitstudie vom Nettostromexporteur von 52 TWh im Jahr 2015 zum Importeur von 92 TWh in 2030. Kohle & andere umfasst in der EWI-Abbildung sowohl Braun- und Steinkohle als auch Ölkraftwerke, Laststeuerungs- und Speichertechnologien sowie Müllverbrennungsanlagen. Erneuerbare Energien beinhalten Stromerzeugung aus Onshore- und Offshore-Wind, Solarenergie, Wasserkraftwerken und Biomasse.



## 3.1 Erneuerbare Energien

Das Ziel der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bis 2030 auf 65 Prozent zu steigern, ist mit den aktuellen Ausbaukorridoren und dem zu erwartenden Anstieg des Strombedarfs nicht zu erreichen.

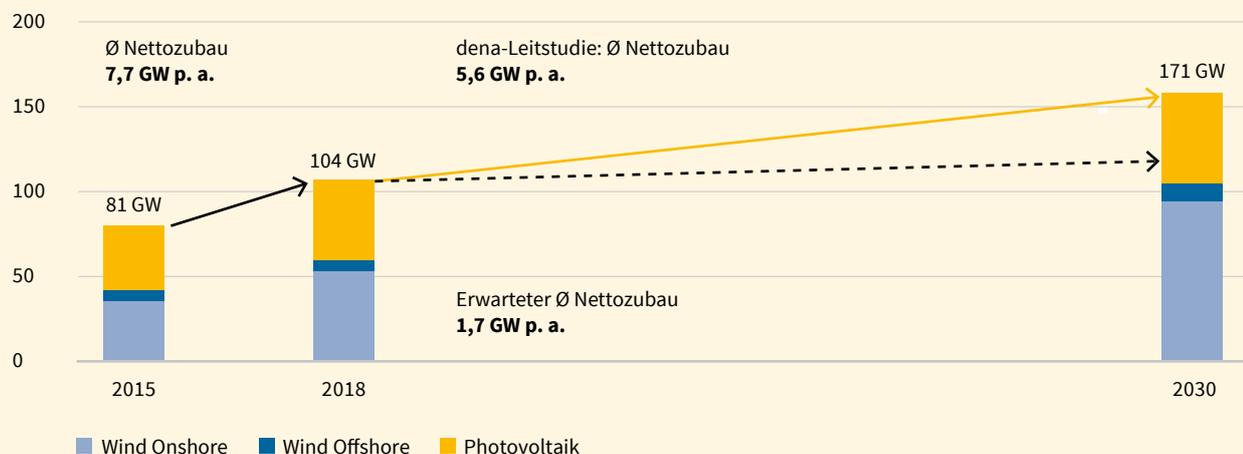
Während der Photovoltaik-Ausbau zuletzt wieder an Fahrt gewonnen hat, wird das Jahr 2019 für Windkraft an Land zur Zäsur: Das Ausbauziel wird bei weitem nicht erreicht. Das Angebotsniveau lag bei den Ausschreibungen deutlich unterhalb der ausgeschriebenen Menge. Von den ausgeschriebenen 650 Megawatt konnten nur 208 Megawatt zugeschlagen werden. Hinzu kommt, dass immer mehr Anlagen nach 20 Jahren aus der Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) fallen. Alleine zwischen 2021 und 2030 werden Anlagen mit einer Leistung von

über 51 Gigawatt davon betroffen sein (Windkraft an Land: 26,8 Gigawatt, Photovoltaik: 18 Gigawatt, Biomasse: 4,7 Gigawatt).

Rechnet man alle Faktoren mit ein – die bisher geplanten Ausschreibungen nach dem EEG, die Ausbaudeckel für Photovoltaik und Offshore-Wind sowie die aus dem EEG fallenden Altanlagen –, ergibt sich für die Zeit bis 2030 nur noch ein Nettozubau von 1,7 Gigawatt pro Jahr. Die dena-Leitstudie rechnete mit einem Nettozubau von 5,6 Gigawatt pro Jahr, allerdings noch ohne die Vorgabe, einen Gesamtanteil von 65 Prozent zu erreichen (siehe EWI-Abbildung 3). Für das 65-Prozent-Ziel müsste der jährliche Nettozubau mindestens bei 6 Gigawatt pro Jahr liegen. In diesem Nettozubau stecken, anders als bisher, erhebliche Kapazitäten an Altanlagen, die ersetzt werden müssen, weil sie aus der EEG-Förderung fallen.

### EWI-Abbildung 3: Installierte Kapazität an erneuerbaren Energien

Von 2015 bis 2018 stieg die Gesamtkapazität der erneuerbaren Energien von 81 Gigawatt (GW) auf 104 GW (BNetzA, 2019). Das entspricht einem Nettozubau von jährlich 7,7 GW. Der größte jährliche Zubau fand dabei mit 8,9 GW im Jahr 2017 statt. 2018 und im ersten Halbjahr 2019 ist insbesondere der Zubau von Onshore-Windkraft stark gesunken. Aktuell wird für 2019 ein Zubau von 1,5 GW Onshore-Windkraft prognostiziert (BWE, 2019). Im Ausbaupfad der dena-Leitstudie ist dagegen ein Zuwachs von etwa 3,4 GW erforderlich. Insgesamt wird ein Zubau von 5,6 GW Stromerzeugungskapazität auf Basis von Wind und Photovoltaik angenommen, damit 2030 171 GW installiert sind. Diese Zubaurate entspricht dem Dreifachen des Nettozubaus von jährlich 1,7 GW, der sich aus den geplanten EEG-Ausschreibungen abzüglich der Anlagen mit auslaufender EEG-Förderung ergibt (EEG, 2017).<sup>5</sup> Da die dena-Leitstudie noch nicht von einem Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 65 Prozent in 2030 ausging, ist der erforderliche Ausbau zur Erreichung dieses Ziels sogar noch leicht höher.<sup>6</sup>



<sup>5</sup> Die Berechnung geht davon aus, dass Anlagen nach Auslaufen der Förderung nicht mehr weiterbetrieben werden. Ein Weiterbetrieb ohne Förderung ist jedoch in einigen Fällen denkbar.

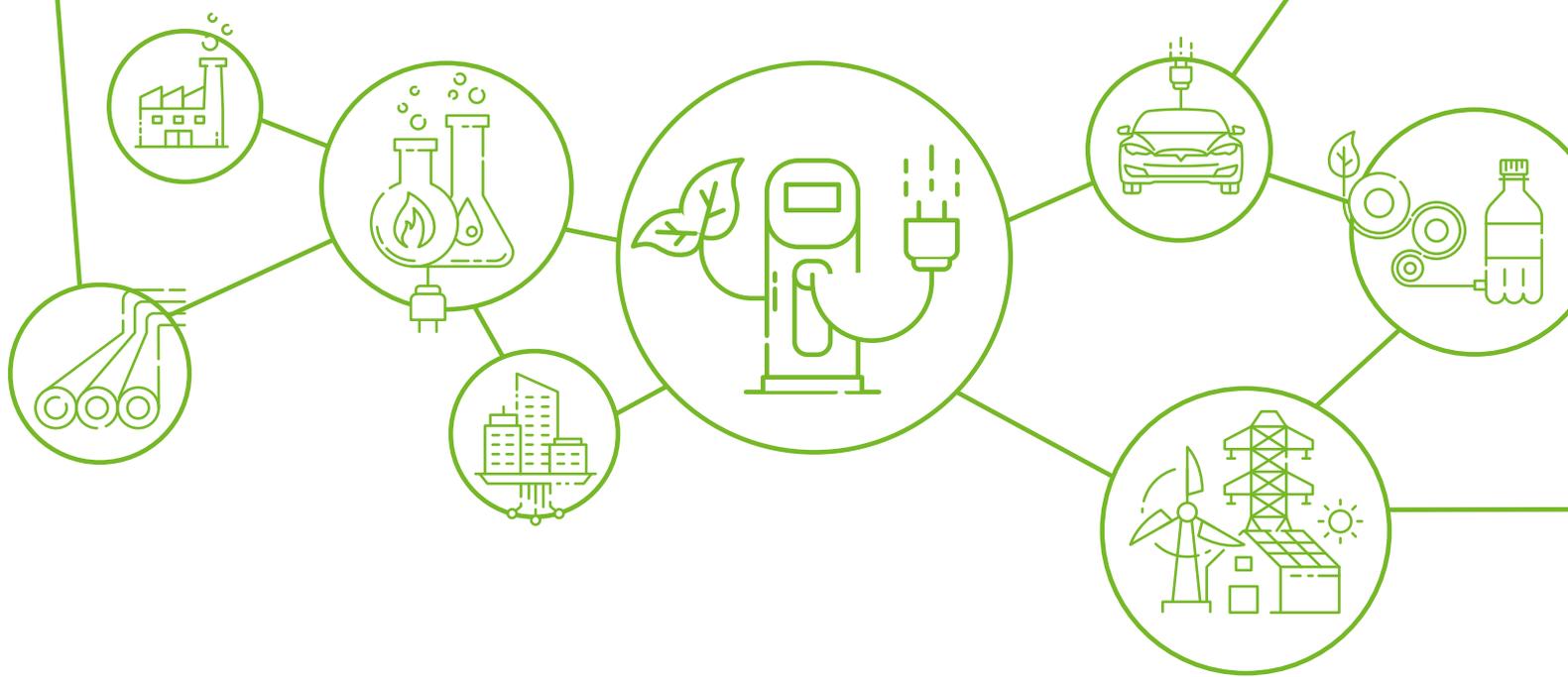
<sup>6</sup> In der dena-Leitstudie ergibt sich für 2030 ein Erneuerbare-Energien-Anteil von 63,2 Prozent an der Stromnachfrage.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **Gesetzlich angestrebte Ausbaukorridore erweitern**, auf brutto bis zu 11 Gigawatt pro Jahr. Bis zu 5 Gigawatt pro Jahr werden allein nötig sein, um den Rückbau von Altanlagen zu ersetzen und den Status quo zu halten; weitere mindestens 6 Gigawatt pro Jahr, um Kapazitäten auszubauen und das 65-Prozent-Ziel bis 2030 zu erreichen. Zum Ausbau der Korridore gehört auch die Streichung des Ausbaudeckels von 52 Gigawatt für Photovoltaikanlagen auf Gebäuden. Diese Marke wird vermutlich bereits 2020 erreicht werden. Mit Blick auf die Herausforderungen beim Ausbau der Windkraft an Land und die langen Vorläufe für den Ausbau der Windkraft auf See sollte auch kurzfristig der Ausbaudeckel von 15 Gigawatt bis 2030 angehoben und die weitere Offshore-Strategie entwickelt werden. Zielkonflikte zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und nicht ausreichendem Netzausbau müssen mit Nachdruck angegangen werden.
- **Mehr Flächen für erneuerbare Energien freigeben und Erschließung erleichtern:** Bund und Länder sollten gemeinsam sicherstellen, dass bundesweit genügend Flächen für den Ausbau der erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen. Dabei gilt es, unter anderem in den Bundesländern Abstandsregelungen nur mit Bedacht einzusetzen. So hat die in Bayern bestehende 10-H-Regelung – wonach der Abstand einer Windkraftanlage zum Wohnraum zehn Mal der Höhe der Anlage entsprechen muss – die ohnehin schon angespannte Lage dort erheblich verschärft. Für Photovoltaik sollten die Bundesländer die mit der Länderöffnungsklausel bestehenden Möglichkeiten im EEG ausschöpfen, Freiflächenanlagen auf Acker- und Grünflächen in sogenannten „benachteiligten Gebieten“ zu errichten. Der Gesetzgeber sollte zudem das Ausschreibungsdesign weiterentwickeln, um Konversionsflächen, das heißt brachliegende Militär-, Industrie- oder Gewerbegebiete, unabhängig von ihrer Größe für Freiflächenanlagen nutzen zu können. Gleichzeitig ist im Genehmigungsrecht für alle Erzeugungstechnologien eine Vereinheitlichung und Beschleunigung der Verfahren anzustreben.
- **Alternative Geschäftsmodelle erleichtern**, zum Beispiel langfristige Lieferverträge für grünen Strom (Green Power Purchase Agreements, Green PPA). PPA können sowohl für Alt- als auch für Neuanlagen eine Option sein, wenn die Rahmenbedingungen dafür angepasst werden. Hierzu gehören zum Beispiel die Aktualisierung der kartellrechtlichen Vorschriften sowie Klarstellungen bei der Strompreiskompensation.
- **Anschlussverwendung von Biogas- und Biomethananlagen ermöglichen**, die nach 20 Jahren aus der EEG-Förderung herausfallen. Die Anlagen können wertvolle flexible Leistung bereitstellen und emissionsarme, erneuerbare Energieträger für den Verkehr und für Wärmeanwendungen bereitstellen.
- **Ausbau der erneuerbaren Energien und Netzausbau zusammendenken.** Zu prüfen wäre zum Beispiel die Option, regionale Quoten für Nord-, Mittel- und Süddeutschland festzulegen. Bisher gilt, dass der Netzausbau den Marktbedürfnissen und dem Ausbau der erneuerbaren Energien folgen soll. Nach diesem Prinzip wird das Netz schneller an seine Grenzen stoßen.<sup>7</sup>
- **Einsatz von erneuerbarem Strom in allen Sektoren erleichtern:** Das derzeitige System von Steuern, Abgaben und Umlagen schafft wenig Anreize, erneuerbaren Strom vermehrt auch in den Sektoren Gebäude und Verkehr zu nutzen, zum Beispiel für regenerative Wärmenetze oder zur Herstellung von Wasserstoff. Strom muss dafür im Vergleich zu anderen Energieträgern günstiger werden.
- **Bürgerenergieprojekte im Strom- und Wärmebereich vorantreiben:** Attraktive Beteiligungsmöglichkeiten wie z. B. Genossenschaften können die Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien stärken.

<sup>7</sup> Die dena-Netzstudie III wird weitere Maßnahmen identifizieren, wie die Systemplanung insgesamt – und damit auch die Integration von erneuerbaren Energien in die Netze – besser gelingen kann.



## 3.2 Powerfuels

Strombasierte, erneuerbare Kraft-, Brenn- und Grundstoffe (Powerfuels) rücken immer mehr in den Fokus der Energiewende- und Klimaschutzpolitik. Industrieunternehmen investieren europaweit in Pilotprojekte für Power-to-Gas-Anlagen. Und verschiedene Branchen, wie zuletzt beispielsweise die Luftfahrtindustrie, beziehen synthetische Kraftstoffe zunehmend in ihre Zukunftsstrategien ein. Erfreulicherweise hat das Bundeswirtschaftsministerium mittlerweile zwölf „Reallabore der Energiewende“ für Wasserstofftechnologien auf den Weg gebracht und für Ende 2019 eine Wasserstoffstrategie angekündigt. Auch das Bundesumweltministerium ist dabei, sich intensiver mit den Potenzialen von Power to X zu befassen.

Die dena-Leitstudie hat maßgeblich dazu beigetragen, Powerfuels auf die Agenda zu setzen und der politischen Debatte Schwung zu geben. Sie hat gezeigt, dass Deutschland seine Klimaziele nicht ohne Powerfuels erreichen kann. Dies wird auch von anderen Studien bestätigt.<sup>8</sup> Powerfuels spielen insbesondere in den Bereichen eine wichtige Rolle, in denen es keine Alternativen zu gasförmigen oder flüssigen Energieträgern gibt, und wenn an anderer Stelle die erwarteten Ziele nicht oder nicht schnell genug erreicht werden, etwa beim Ausbau von Windkraft an Land, bei der Sanierung von Gebäuden oder bei der Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs.

Durch Powerfuels ändert sich nichts an den strategischen Prioritäten der Energiewende, wie manche befürchten: Energieeffizienz und die direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien haben aufgrund des hohen Wirkungsgrads Priorität. Aber die Lücke, die dann immer noch übrigbleibt und sich insbesondere durch eine integrierte, systemische Betrachtung von Energiewende und Klimaschutz ergibt, können Powerfuels schließen. Sie bilden damit den fehlenden Baustein, den „Missing Link“ für Energiewende und Klimaschutz.

Die Marktentwicklung von Powerfuels wird nicht in allen Sektoren im gleichen Maß stattfinden. Gerade in der frühen Marktentwicklungsphase sollten Powerfuels dort zum Einsatz kommen, wo die Zahlungsbereitschaft der Verbraucher hoch ist und wo auch signifikante Kostensenkungspotenziale bestehen.

Der Bedarf an Powerfuels in Deutschland liegt je nach Szenario laut dena-Leitstudie bei 150 bis 908 Terawattstunden im Jahr 2050. Den größten Teil davon wird Deutschland importieren müssen, aber auch in Deutschland sollten Elektrolysekapazitäten aufgebaut werden: bis 2030 etwa 15 Gigawatt. Derzeit gibt es in Deutschland mehr als 30 Pilotprojekte mit einer Elektrolyseleistung von insgesamt rund 25 Megawatt. Das reicht noch lange nicht aus. Der Ausbau von Powerfuels in Deutschland und die Entwicklung internationaler Märkte muss deutlich schneller vorankommen.

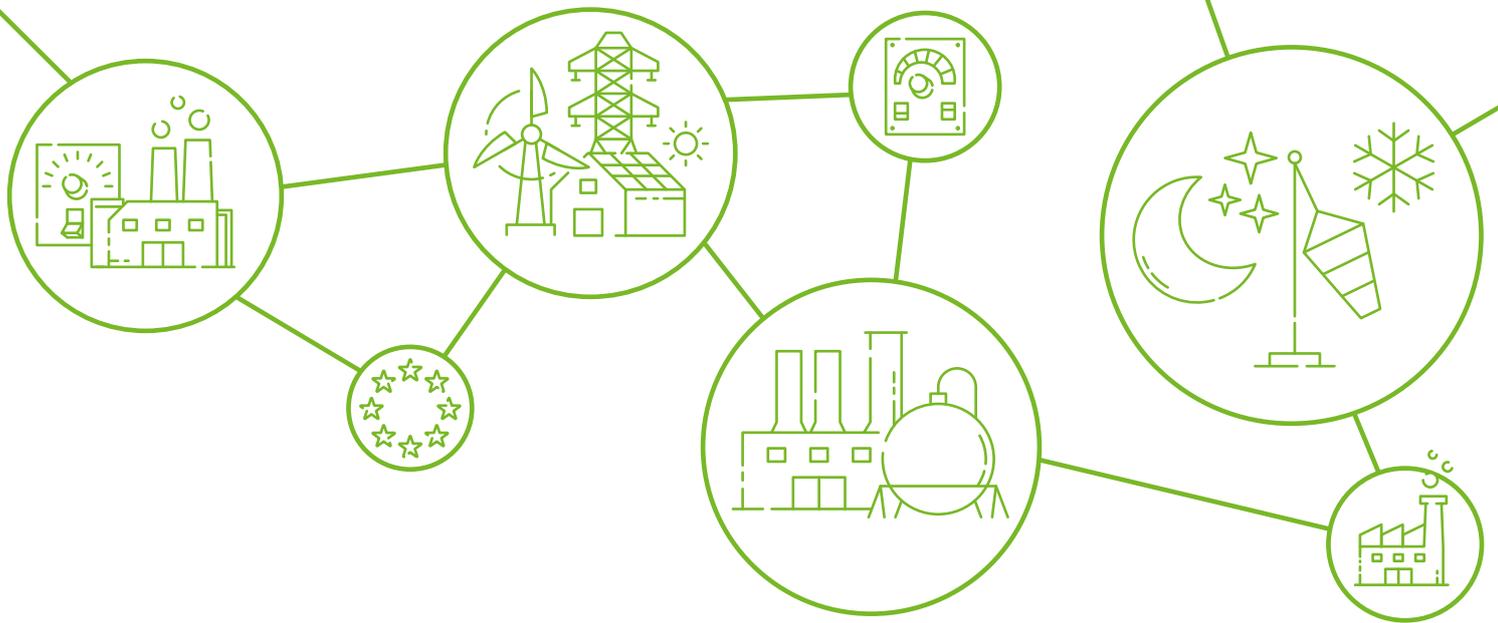
<sup>8</sup> Siehe ESYS/BDI/dena, 2019 und Agora, 2018.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **Bewusstsein für die Bedeutung von Powerfuels international weiter stärken:** Die Bundesregierung sollte in der internationalen Zusammenarbeit für das Thema werben. Unternehmen und Verbände können sich der von der dena koordinierten Global Alliance Powerfuels anschließen, um den Aufbau eines globalen Markts für Powerfuels voranzubringen.
- **Strategie für den Aufbau eines globalen Markts für Powerfuels entwickeln,** ergänzend zur Wasserstoffstrategie, welche die Bundesregierung bereits vorbereitet. Dazu gehört unter anderem die Erarbeitung von einheitlichen Standards für den internationalen Handel mit erneuerbarem Strom und darauf aufbauenden synthetischen Energieträgern.
- **Powerfuels als klimaschonende erneuerbare Technologie im bestehenden Energierecht anerkennen.** Das ließe sich relativ kurzfristig realisieren und würde dem Markt wichtige Impulse geben.
- **Beimischung von Powerfuels unterstützen,** insbesondere in international regulierten Bereichen wie Luftverkehr und Schifffahrt. In der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der Europäischen Union sind solche Quoten bereits angelegt, müssten aber auf nationaler Ebene für die Anrechnung von Powerfuels weiterentwickelt werden.
- **Auktionen für den Absatz von Powerfuels einführen, zeitlich begrenzt,** um die Marktentwicklung auf nationaler Ebene anzustoßen. Sie können den Marktakteuren ein hohes Maß an Planungs- und Investitionssicherheit geben, regen den Wettbewerb an und tragen zur Kostendegression bei.
- **Powerfuels bei der Planung von Infrastrukturen berücksichtigen** und technische Voraussetzungen schaffen, zum Beispiel für steigende Wasserstoffanteile im Erdgasnetz.
- **CO<sub>2</sub>-Emissionen einen Preis geben,** so dass Powerfuels dank ihrer Vorteile für Energiewende und Klimaschutz bessere Wettbewerbsbedingungen erhalten. Einnahmen aus der Bepreisung könnten unter anderem dafür verwendet werden, die Entwicklung von Powerfuels zu unterstützen.
- **Nachhaltigkeitsstandards entwickeln:** Powerfuels bieten gegenüber Energiepflanzen sowohl Ressourcen- als auch Effizienzvorteile. Allerdings müssen für Powerfuels internationale Nachhaltigkeitsstandards entwickelt werden.<sup>9</sup>
- **Forschung und Entwicklung zu Powerfuels ausbauen,** mit Schwerpunkt auf Steigerung der Effizienz und Umweltverträglichkeit sowie Senkung der Kosten.

<sup>9</sup> Die Global Alliance Powerfuels arbeitet aktuell an einem Grundlagenpapier als Basis für die Diskussion von Unternehmen, Umweltverbänden und Politik.



## 3.3 Versorgungssicherheit

Die Versorgungssicherheit ist in Deutschland nach wie vor außerordentlich hoch, aber die Komplexität des Systems nimmt immer weiter zu. Statt weniger hundert steuerbarer Großkraftwerke stellen Millionen volatiler Kleinanlagen Energie zur Verfügung. Netzbetreiber müssen heute fast täglich mit Engpässen umgehen. Der sichere Systembetrieb wird zunehmend zu einer Herausforderung.

Die Strukturwandelkommission hat Anfang 2019 deutlich gemacht, wie groß und komplex die Herausforderungen im Energiesektor sind. Rechnet man Atom- und Kohleausstieg zusammen, werden in knapp 20 Jahren rund 50 Prozent der heute verfügbaren gesicherten Kraftwerkskapazitäten vom Netz gehen. Das ist eine gewaltige Herausforderung für einen hoch entwickelten Industriestandort wie Deutschland. Über das Ende der Kohleverstromung hinaus müssen Wege gefunden werden, um den Ausbau der erneuerbaren Energien zu beschleunigen, die Stromnetze für die neuen Anforderungen fit zu machen und Investitionen in neue Gaskraftwerke, die auch mit synthetischen Brennstoffen klimaneutral betrieben werden können, anzureizen.

Ein Warnsignal ist unter anderem, dass seit 2015 keine neuen Gaskraftwerke in Betrieb genommen wurden. Der Bestand hat eine Gesamtkapazität von 30 Gigawatt. Nach der dena-Leitstudie braucht es bis 2030 Gaskraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 57 Gigawatt, um den Bedarf an gesicherter Leistung zu decken. Das entspricht einem jährlichen Zubau von 2,2 Gigawatt. Allerdings kann gesicherte Leistung auch in größerem Umfang,

als in der Leitstudie angenommen, über das europäische Netz bereitgestellt werden. In ihrem Monitoringbericht zur Versorgungssicherheit vom Juni geht das Bundeswirtschaftsministerium davon aus, dass die Nachfrage aktuell und perspektivisch mit den verfügbaren Erzeugungsanlagen zu decken ist.

Vieles hängt davon ab, welche Annahmen getroffen werden. Bei zentralen Fragen der Versorgungssicherheit gehen die Einschätzungen von Expertinnen und Experten noch auseinander. Wie wird sich die Stromnachfrage in Deutschland entwickeln? Wie weit kann Deutschland auch bei Engpässen auf Strom aus dem Ausland zählen? Können Versorgungsausfälle in überschaubarem Maß hingenommen werden? Diese Fragen gilt es zu klären. Denn je nachdem, welche Annahmen hier getroffen werden, können die Konsequenzen für das Energiesystem sehr unterschiedlich ausfallen.

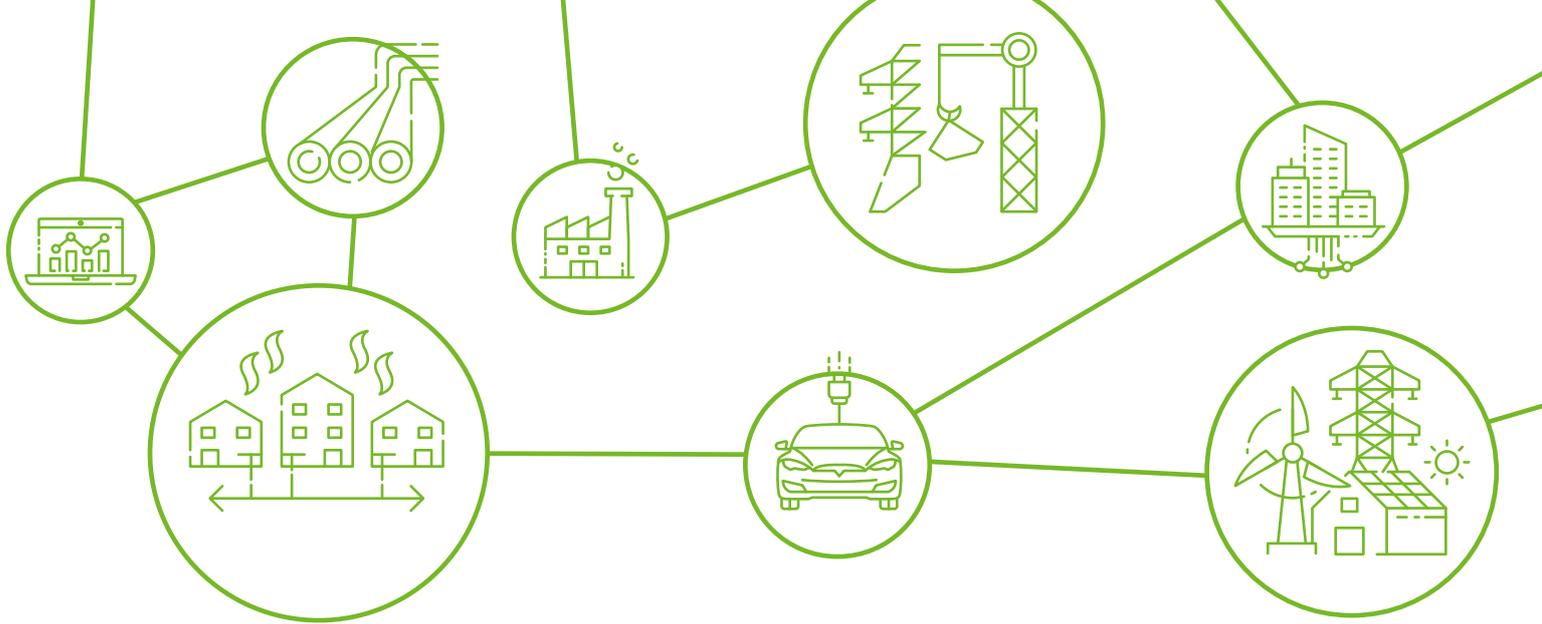
Schließlich spielt neben der gesicherten Leistung der Systembetrieb eine entscheidende Rolle für die Versorgungssicherheit. Das Energiesystem muss stets in der Lage sein, Störungen zu vermeiden und dynamisch auf Fehler zu reagieren. Wie das angesichts der tiefgreifenden Veränderungen im Energiesystem gewährleistet werden kann und welche Technologien und Innovationen dafür nötig sind, muss kontinuierlich weiter untersucht werden.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Die dena beschäftigt sich mit diesen Fragen im Rahmen der Plattform Systemdienstleistungen.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **Stakeholderdialog einrichten:** Die dena empfiehlt mit Nachdruck, einen breiten Dialog zur Versorgungssicherheit einzurichten, ähnlich wie es mit der Strukturwandelkommission für die Frage des Kohleausstiegs geschehen ist. Dabei gilt es, ein gemeinsames Verständnis der Begriffe und Herausforderungen zu finden. Im Fokus sollten stehen, wie der Bedarf an gesicherter Leistung für Strom in Deutschland sich im Rahmen des EU-Binnenmarkts entwickeln wird und wie dieser gedeckt werden kann. Hinzu kommt die Frage, wie das System im Betrieb Fehler vermeiden und auf Störungen reagieren kann.
- **Reservemechanismen überprüfen:** Die Bundesregierung sollte mittelfristig untersuchen, inwiefern die Instrumente der Netz- und Kapazitätsreservemechanismen weiterentwickelt werden müssen. Dabei unterstützt die dena die Empfehlung der EU-Kommission, im Rahmen der Reservemechanismen transparentere Regeln für regelbare Lasten einzuführen und, wo möglich, ausländische Kapazitätsanbieter zuzulassen.
- **Grenzkuppelkapazitäten ausbauen,** denn die Nutzung von geographischen Ausgleichseffekten bei Erzeugung und Verbrauch trägt zur besseren Integration von erneuerbaren Energien und zur Versorgungssicherheit in Deutschland bei.
- **Strommarktdesign weiterentwickeln:** Der Strommarkt 2.0 war ein Ansatz, um die Stromerzeugung kosteneffizient auszubauen und Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Der reine Fokus auf die Wirkleistung von Kraftwerken greift aber auf Dauer zu kurz. Mit den Herausforderungen für das Stromversorgungssystem im Zuge der Energiewende muss auch geklärt werden, wie Leistungen honoriert werden, die Flexibilität bieten, den Systembetrieb sichern und regional wichtige Funktionen übernehmen, zum Beispiel für das Netzengpassmanagement.



## 3.4 Infrastruktur

Die Bundesregierung arbeitet an verschiedenen Stellen an der Weiterentwicklung der Infrastruktur für die Energiewende. Der Ausbau des Übertragungsnetzes kommt aber noch nicht schnell genug voran. Die Kosten für Netzstabilisierung und Vermeidung von Engpässen sind sehr hoch, Tendenz steigend. 2018 beliefen sie sich auf ca. 1,1 Milliarden Euro.

Fortschritte brachten der Aktionsplan Stromnetze und die Novellierung des Netzausbaubeschleunigungsgesetzes (Nabeg 2.0). Mit den darin enthaltenen Maßnahmen können die Stromnetze besser ausgelastet und schneller ausgebaut werden. Viele der Maßnahmen hatte die dena gemeinsam mit Stakeholdern erarbeitet, etwa ein optimiertes Netzmonitoring und die Verbesserung der Zusammenarbeit der Netzbetreiber beim sogenannten Redispatch.

Um die Automatisierung des Netzbetriebs und die Optimierung der Systemführung weiter voranzubringen, hat die Bundesregierung das Forschungsvorhaben „InnoSys 2030“ angestoßen. Im Rahmen des Dialogprozesses „Gas 2030“ diskutieren die Stakeholder über die Zukunftsfragen in der Gasversorgung: von der globalen Marktentwicklung über erneuerbare Gase bis zur langfristigen Dekarbonisierung der Gasversorgung.

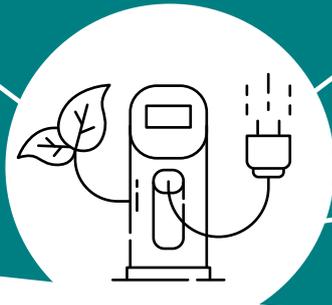
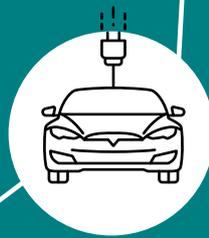
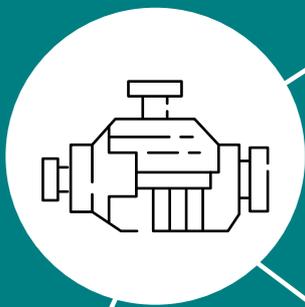
Die Doppelstrategie, Netzausbau und Netzoptimierung gleichzeitig voranzutreiben, ist notwendig, um größere Engpässe in den kommenden Jahren zu vermeiden. Langfristig wird allerdings entscheidend sein, sowohl bei der Planung als auch im Betrieb von Infrastrukturen das Energiesystem integriert zu betrachten, um Synergien zwischen Netzen, Erzeugern und Verbrauchern zu nutzen. Dafür sollten frühzeitig innovative Ansätze auf den Weg gebracht werden. Denn immer mehr dezentrale Erzeuger und Verbraucher müssen in das System integriert werden. Und erneuerbarer Strom soll immer mehr über alle Sektoren hinweg genutzt werden können.

Hier stoßen die bisherigen Planungsprozesse an ihre Grenzen. Wie eine integrierte Systemplanung aussehen könnte, daran arbeitet die dena derzeit zusammen mit zentralen Stakeholdern in der dena-Netzstudie III. Für eine integrierte Energiewende ist das von großer Bedeutung. Wie die dena-Leitstudie gezeigt hat, bringt ein Transformationspfad mit einem breiten Technologiemix vor allem dann Vorteile, wenn ausreichend Energieinfrastrukturen für Strom, Gas, Fernwärme und flüssige Energieträger vorhanden sind und bestehende Infrastrukturen bestmöglich ausgelastet und eingesetzt werden.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **Netzentwicklungsplanung weiterentwickeln**, so dass auch innovative Ansätze zur besseren Netzauslastung und zur Vermeidung von Engpässen berücksichtigt werden. Die dena untersucht zusammen mit einem breiten Stakeholderkreis im Rahmen der Netzstudie III, wie Möglichkeiten für eine stärkere systemische Optimierung in einer Systementwicklungsplanung berücksichtigt werden können.
- **Planung der Strom- und Gasinfrastruktur stärker verschränken**, so dass zum Beispiel Gaskraftwerke oder Power-to-Gas-Anlagen dort gebaut werden, wo sie am ehesten Lastspitzen ausgleichen und zur Reduzierung von Engpässen beitragen können. Dafür müssten die Betreiber von Strom- und Gasnetzen ihre Planungen aufeinander abstimmen, in Zusammenarbeit mit der Bundesnetzagentur. Auf europäischer Ebene wird bereits für die Gas- und Stromnetzplanung ein gemeinsamer Szenario-rahmen verwendet.
- **Regulatorischen Rahmen für Flexibilitätsmodelle schaffen**, so dass es sich wirtschaftlich lohnt, Speicher, Erzeuger und Lasten netzdienlich zu betreiben. Auch die Netzentgeltsystematik und die Anreizregulierung sollten dafür weiterentwickelt werden. Konkrete Vorschläge für einen solchen Rahmen hat die dena in der Initiative für Netzflexibilität und der Taskforce Netzentgelte erarbeitet. Reallabore zur Erprobung der Technologien und Abläufe gibt es mit dem „Schaufenster für intelligente Energie“ (SINTEG).
- **Verständnis für Stromnetzausbau fördern, Verfahren beschleunigen**: Bund und Länder sollten kontinuierlich die Genehmigungsverfahren beschleunigen und für den Infrastrukturausbau werben. Dabei gilt es auch zu erläutern, welche Bedeutung die Stromnetze für das Gelingen der Energiewende insgesamt haben und wie Optionen wie dezentrale Lösungen, Einsatz von Flexibilität und Sektorkopplung mit ihnen zusammenhängen.



## 4. Verkehr

Die Trends im Verkehrssektor weisen weiterhin in die falsche Richtung. Der Endenergieverbrauch ist gestiegen und lag 2017 bei 602 Terawattstunden. Nach der dena-Leitstudie müsste er bis 2030 auf 428 Terawattstunden sinken (siehe EWI-Abbildung 4). Die Treibhausgasemissionen liegen leicht über dem Niveau von 1990, die Effizienz der deutschen Fahrzeugflotte ist zuletzt gesunken, die Güterverkehre nehmen stark zu.

Beim Absatz von Neuwagen gibt es nur langsam Anzeichen für einen Wandel. Der Anteil der alternativen Antriebe, also der Elektro-, Hybrid- und Erdgasfahrzeuge, steigt zwar und hat 2018 zum ersten Mal die Fünf-Prozent-Marke überschritten. Aber für das Erreichen der 2030er-Ziele ist das viel zu wenig, wie die dena-Leitstudie zeigt (siehe EWI-Abbildung 5). Die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aller in Deutschland neu zugelassenen Pkw nahmen im Jahr 2018 sogar erneut zu – auch, weil immer mehr große, emissionsstarke Geländewagen und SUV verkauft werden.

Immerhin haben seit Veröffentlichung der dena-Leitstudie mehrere Fahrzeughersteller Investitionspläne zum Ausbau der Elektromobilität vorgestellt. Die Förderprogramme für Elektromobilität wurden erweitert und verlängert und es wurde eine temporäre Mautbefreiung für gas- und strombasierte Nutzfahrzeuge eingeführt.

Vor diesem Hintergrund erscheint es sehr ambitioniert, das 2030er-Klimaziel im Verkehrssektor zu erreichen und die Treibhausgasemissionen um 40 bis 42 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Auch das Maßnahmenpaket, das die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität im Frühjahr in einem Zwischenbericht vorgestellt hat, lässt noch eine signifikante Lücke von 16 bis 26 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Der Schwerpunkt der Maßnahmen liegt auf Infrastrukturverbesserung, direkter Förderung und Angebotserweiterung. Über weiterführende Maßnahmen wie Bonus-Malus-Systeme, den Ausbau regenerativer Kraftstoffe und die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Preises konnte im Rahmen der Plattform bisher keine Einigung erzielt werden.

Für die CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte hat die EU im Frühjahr eine Zielmarke für 2030 festgelegt. Bis 2021 galt das Ziel, die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der europäischen Neuwagenflotte auf 95 g/km zu senken. Bis 2030 soll der Wert nun im Vergleich zu 2021 um 37,5 Prozent sinken. In Deutschland lagen die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der neu verkauften Autos im Jahr 2018 immer noch bei 132,2 g/km.

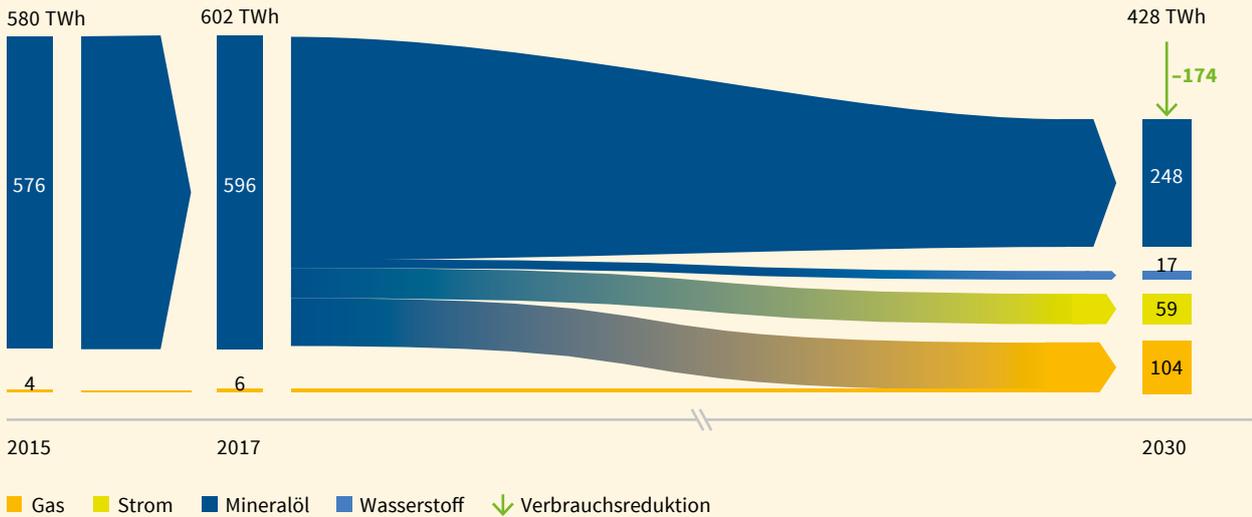


## dena-Handlungsempfehlungen

- **Konsistente Strategie verfolgen**, welche die Elemente Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und Verbesserung von Antrieben und Kraftstoffen miteinander verzahnt.
- **Kommunen unterstützen** bei der Entwicklung und Umsetzung von nachhaltigen Mobilitätskonzepten.
- **Umweltverträgliche Verkehrsmittel und Mobilitätsangebote ausbauen und fördern**, vom öffentlichen Personennahverkehr mit Bus und Bahn bis zu Carsharing und digitalen Plattformen mit neuen Mobilitätsdienstleistungen.
- **Steuern und Abgaben stärker am CO<sub>2</sub>-Ausstoß ausrichten**: Wichtige Ansatzpunkte bieten etwa die Besteuerung von Kraftstoffen und Dienstwagen und die Lkw-Maut. Instrumente wie die Pendlerpauschale oder das Baukindergeld setzen aus klima- und verkehrspolitischer Sicht keine zielorientierten Impulse. Soziale Härten gilt es bei der Reform zu berücksichtigen und auszugleichen.
- **CO<sub>2</sub>-Bepreisung mit wirkungsvollem Mindestpreis einführen**, verbindlich und mit kontinuierlicher Anhebung, sei es über eine Steuer oder einen separaten Emissionshandel.
- **Aufkommensneutrales Bonus-Malus-System einführen**, das den Kauf emissionsarmer Fahrzeuge unterstützt und umgekehrt den Kauf emissionsintensiver Fahrzeuge verteuert.
- **Anreize für fortschrittliche Kraftstoffe setzen**, von Erdgas und Biogas über Strom bis zu strombasierten, synthetischen Kraftstoffen (Powerfuels). Geeignete Instrumente sind zum Beispiel ambitionierte Quoten im Rahmen der deutschen Treibhausgasquote und nationale Ausschreibungen für Powerfuels, die den Kraftstoffen beigemischt werden können. Auch die Anrechnung von Powerfuels auf die Flottengrenzwerte von Pkw und Nutzfahrzeugen könnte Spielraum für zusätzliche Investitionen in erneuerbare Kraftstoffe schaffen. Insbesondere für Flugzeuge, Schiffe und Lkw spielen strombasierte, synthetische Kraftstoffe eine wichtige Rolle, weil eine direkte Elektrifizierung hier nur schwer möglich ist.
- **Infrastruktur für alternative Kraftstoffe weiter ausbauen**, sowohl für Strom und Elektromobilität als auch für Erdgas (CNG), Flüssigerdgas (LNG) und Wasserstoff. Der Infrastrukturausbau aller alternativen Kraftstoffe sollte möglichst nachfrageorientiert erfolgen. Schnellere Genehmigungsverfahren durch abgestimmte Prozesse innerhalb der Behörden sind daher dringend notwendig. Gerade bei der Entwicklung der Ladeinfrastruktur braucht es in den kommenden Jahren auch schnell ab-rufbare Förderprogramme.

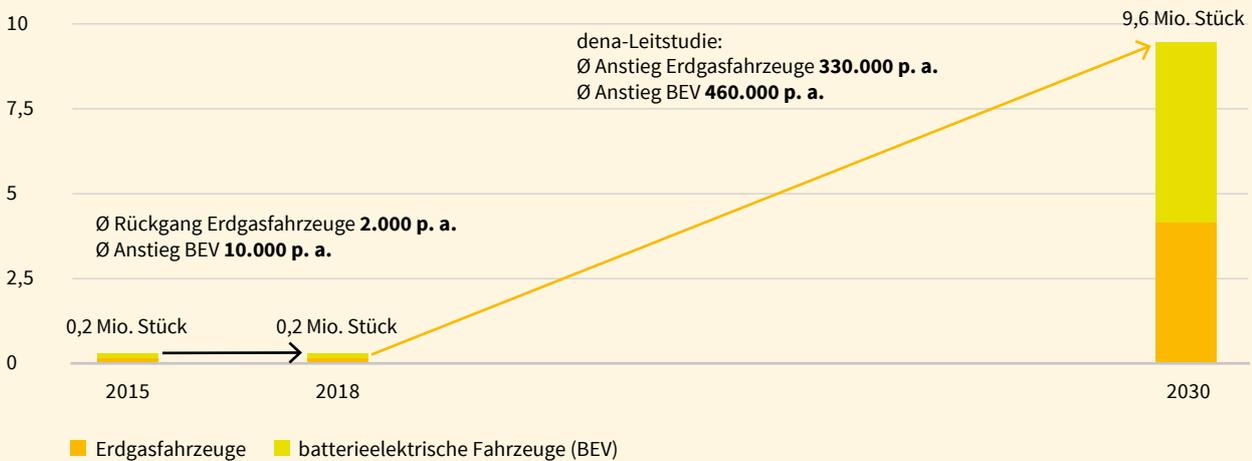
#### EWI-Abbildung 4: Endenergieverbrauch im Straßenverkehr nach Energieträgern

In der dena-Leitstudie sinkt der Verbrauch im Straßenverkehr (Pkw, Lkw, LNF) zwischen 2015 und 2030 um 152 TWh. Eine zentrale Annahme ist ein deutlicher Anstieg der Effizienz der Straßenverkehrsflotte. Der Energieverbrauch pro gefahrenem Kilometer sinkt zwischen 2015 und 2030 um 31 Prozent. Entgegen diesem Pfad ist der tatsächliche Endenergieverbrauch zwischen 2015 und 2017 um 22 TWh gestiegen. Der Energieträgermix wird von mineralölbasierten Kraftstoffen dominiert: Diesel hat einen Anteil von 66 Prozent, Benzin 33 Prozent. In der dena-Leitstudie nimmt bis 2030 die Bedeutung von alternativen Kraftstoffen sowie von strombasierten Antriebstechnologien deutlich zu. So steigt der Verbrauch von Gas im Straßenverkehr bis 2030 auf 104 TWh (24 Prozent), Strom auf 59 TWh (14 Prozent) und Wasserstoff auf 17 TWh (4 Prozent).<sup>11</sup> In Zukunft steigt zudem der Anteil von Erdgas-, Diesel- und Benzinfahrzeugen mit batterieelektrischer Unterstützung, sogenannten (Plug-in-)Hybriden.



#### EWI-Abbildung 5: Bestand an Pkw mit alternativen Antrieben<sup>12</sup>

Im Technologiemix-Szenario der dena-Leitstudie steigt die Zahl der Erdgas-Pkw (CNG) von 0,1 Millionen im Jahr 2015 auf 4 Mio. in 2030. Ähnlich stark ist die Entwicklung bei batterieelektrischen Pkw (BEV), von knapp 0,1 Mio. auf 5,6 Mio. Pkw. Jedoch hat sich bei beiden Fahrzeugtypen in den letzten Jahren wenig verändert. Insgesamt sind bis 2018 rund 30.000 Elektroautos dazugekommen, die Zahl der Erdgasautos hat sich im gleichen Zeitraum um 6.000 verringert (KBA, 2019). Um die Werte aus der dena-Leitstudie zu erreichen, wären deutlich höhere durchschnittliche Wachstumsraten von 330.000 pro Jahr für Erdgasfahrzeuge und 460.000 pro Jahr für Elektrofahrzeuge erforderlich.



<sup>11</sup> Geringfügige Mengen Strom und Wasserstoff werden bereits aktuell im Verkehrssektor eingesetzt. Diese Mengen wurden zur Vereinfachung der Darstellung nicht berücksichtigt.

<sup>12</sup> Die Zahlen enthalten keine sogenannte Plug-in-Hybride mit kombinierten Verbrennungs- und Elektromotor mit externer Stromlademöglichkeit, sondern reine CNG-Fahrzeuge mit ausschließlichem Verbrennungsmotor sowie reine batterieelektrisch angetriebene Pkw.



## 5. Gebäude

Die jährlichen Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor sollen laut Klimaschutzplan der Bundesregierung auf 72 Millionen Tonnen im Jahr 2030 sinken. Das bedeutet, ausgehend von den in der dena-Leitstudie prognostizierten 120 Millionen Tonnen im Jahr 2020, eine Reduzierung um weitere fast 50 Millionen Tonnen – und das innerhalb von nur zehn Jahren.

Das bisherige Tempo reicht für dieses Ziel bei weitem nicht aus. In den vergangenen Jahren gab es kaum Fortschritte. Die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor stiegen zwischen 2014 und 2017 sogar an (plus 11 Prozent). Für 2018 prognostiziert das Umweltbundesamt einen Rückgang auf voraussichtlich 117 Millionen Tonnen, was ungefähr dem Ausgangsniveau des Klimaschutzplans aus 2014 (119 Millionen Tonnen) entspricht. Um das Klimaziel 2030 zu erreichen, müssten im Gebäudesektor ab sofort jährlich rund fünf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden – das würde einer deutlichen Steigerung sogar gegenüber dem sanierungsintensiven Nachwendejahrzehnt mit jährlich rund 4,3 Millionen Tonnen Treibhausgasreduzierung entsprechen (ausgehend von rund 210 Millionen Tonnen im Jahr 1990).

Die Sanierungsrate stagniert weiter bei rund 1 Prozent. Nach den ursprünglichen Annahmen der dena-Leitstudie sind für die Zielerreichung mindestens 1,4 Prozent jährliche Sanierungsrate notwendig. Durch die nicht ausreichende Sanierung in den letzten Jahren müsste dieser Wert inzwischen 1,5 Prozent pro Jahr betragen (siehe EWI-Abbildung 7). Auch die Installation von Wärmepumpen hinkt trotz eines gesteigerten Absatzes (2018: 84.000 Stück) dem erforderlichen Maß hinterher. Die

Ziele für 2030 werden nur mit einer Installationsrate von mehr als 200.000 Wärmepumpen pro Jahr erreicht werden können.

Die Bundesregierung hat inzwischen einen Entwurf des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) auf den Weg gebracht. Es fasst, wie angestrebt, bisher getrennte und teils widersprüchliche Gesetze und Verordnungen zusammen, sollte aber weiter vereinfacht und überarbeitet werden. Die Absichten des GEG sind zu begrüßen, es wird aber für die Zielerreichung nur einen geringen Beitrag leisten. Die zunächst angekündigte Kommission zum Erreichen der Klimaziele im Gebäudesektor wurde nicht einberufen. Die seit Jahren angestrebte steuerliche Förderung der Gebäudesanierung steht weiterhin aus. Das Thema „Bezahlbares Wohnen“ rückte zuletzt stark in den Vordergrund der Debatte über den Gebäudesektor.

Die Fortführung der Gebäudesanierung – Maßnahmen an der Gebäudehülle, Austausch von Heizungen und Fenstern usw. – auf dem bisher üblichen Niveau sollte bis 2030 eine Einsparung von rund 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> bringen. Die von der dena koordinierte Allianz für Gebäude-Energie-Effizienz (geea) hat im Mai ein Maßnahmenpaket vorgelegt, mit dem weitere Einsparungen in Höhe von 13 Millionen Tonnen möglich sind. Für die verbleibende Klimaziellücke von 15 Millionen Tonnen nennt die geea weitere Optionen.

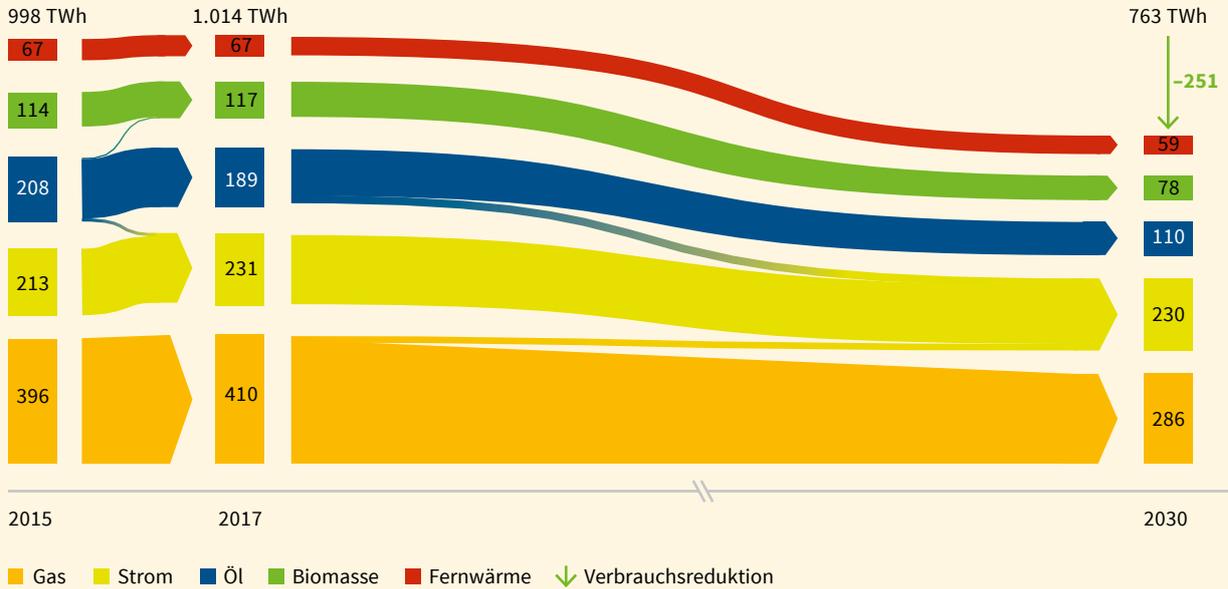


## dena-Handlungsempfehlungen

- **Förderung ausbauen gemäß geea-Maßnahmenpaket**, d. h.: steuerliche Sanierungsförderung einführen, Abschreibung für Abnutzung (AfA) verbessern, Förderung von Einzelmaßnahmen ausweiten, Förderung von Effizienzhäusern verbessern, Förderung von Nichtwohngebäuden verbessern, Innovationen stark fördern.
- **Beratung und Kommunikation verbessern gemäß geea-Maßnahmenpaket**, d. h.: Beratungsoffensive für Wohngebäude starten, Beratungsoffensive für Nichtwohngebäude starten, Gebäudeexpertenzentrum einrichten, Beratungsoffensive für Energiespar-Contracting starten.
- **Ordnungsrecht optimieren gemäß geea-Maßnahmenpaket**, d. h.: Ordnungsrecht im Neubau ab 2025 bei Bedarf anpassen, Umsetzung des Ordnungsrechts im Gebäudebestand verbessern, anlassbezogene Durchführung geringinvestiver Maßnahmen stärken, Sanierung von Gebäuden der öffentlichen Hand forcieren.
- **Markteinführung von PtX-Brennstoffen beschleunigen**, zum Beispiel durch Förderung oder eine verbindliche Quote. Wenn dieses Instrument bereits auf das Erreichen der Klimaziele 2030 einzahlen soll, muss der Übergang von der Pilotphase in die Breitenwirkung zügig vorankommen.
- **CO<sub>2</sub>-Bepreisung oder Treibhausgas-Zertifikatehandel einführen**. Für beide Ansätze braucht es einen fundierten Dialog mit allen Stakeholdern, um die Vor- und Nachteile abzuwägen und insbesondere das sensible Verhältnis zwischen Mietern und Vermietern richtig zu adressieren.
- **Quartierssanierung und Ausbau hocheffizienter Wärmenetze beschleunigen**, denn durch die Betrachtung ganzer Quartiere statt einzelner Gebäude lassen sich Effizienzpotenziale heben.
- **Marktdurchdringung smarterer Lösungen beschleunigen**, denn sie können einen effizienteren Gebäudebetrieb ermöglichen (Gebäudeautomation, Smart Home/Building, Energiedatenmanagement etc.). Gerade im Nichtwohngebäudebereich bietet die automatisierte Steuerung erhebliche Energieeinsparpotenziale.
- **Entwicklung partizipativer Geschäftsmodelle beschleunigen**: Bisher investiert vor allem der kleine Kreis der Eigentümer in Gebäudesanierungen oder Neubau. Mit innovativen Beteiligungsmodellen ließen sich weitere Zielgruppen und zusätzliches Kapital für die Energiewende im Gebäudesektor gewinnen.

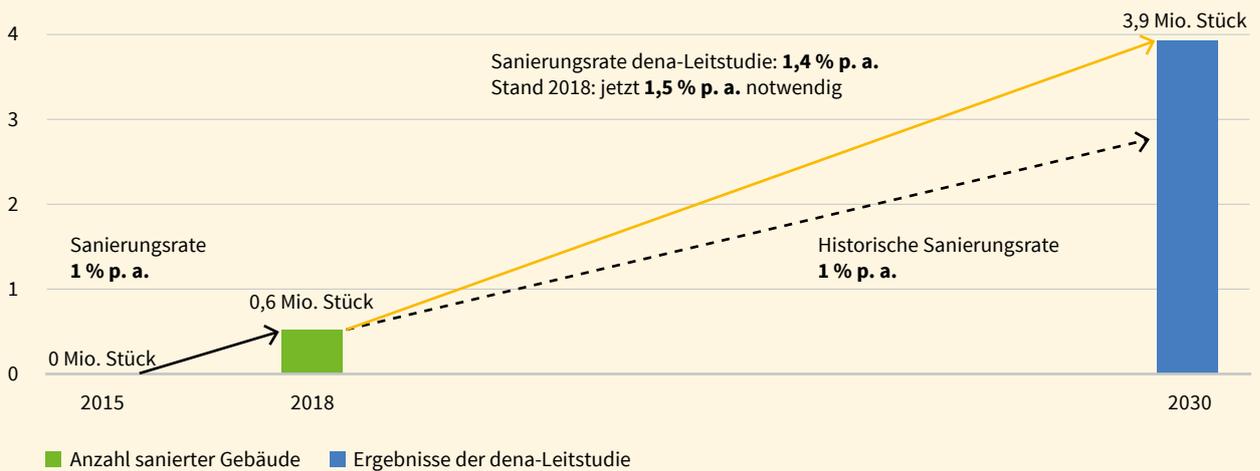
### EWI-Abbildung 6: Endenergieverbrauch im Gebäudesektor nach Energieträgern

In der dena-Leitstudie sinkt der Endenergieverbrauch im Gebäudesektor bis 2030 im Vergleich zu 2015 um ca. 25 Prozent. Bis 2017 ist der tatsächliche Endenergieverbrauch jedoch leicht gestiegen. Im Energieträgermix gewinnt in der dena-Leitstudie Strom bis 2030 an Bedeutung. Sein Anteil steigt von 21 auf 30 Prozent, vor allem durch den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen. Die Anteile der übrigen Energieträger gehen dagegen zurück.



### EWI-Abbildung 7: Sanierte Wohngebäude und Sanierungsrate

In der dena-Leitstudie wird ab 2015 von einer Sanierungsrate von 1,4 Prozent pro Jahr ausgegangen. Jedoch stagniert diese seit den 1990er Jahren bei ca. 1 Prozent (DIW, 2019) und ein sprunghafter Anstieg hat sich in den letzten Jahren nicht abgezeichnet (dena, 2018a).<sup>13</sup> Damit sind zwischen 2015 und 2018 nur rund zwei Drittel der notwendigen Gebäude saniert worden. Wenn die Zahl von 3,9 Millionen Sanierungen bis 2030 erreicht werden soll, muss die Sanierungsrate von heute an bereits 1,5 Prozent anstelle der ursprünglich anvisierten 1,4 Prozent betragen.<sup>14</sup>



<sup>13</sup> In den 1990er Jahren gab es aufgrund des hohen Sanierungsbedarfs in den neuen Bundesländern vereinzelte Ausnahmen mit Sanierungsraten über 1 Prozent.

<sup>14</sup> Die Anzahl sanierter Gebäude gibt an, wie viele Gebäude basierend auf der tatsächlichen Sanierungsrate von 1 Prozent zwischen 2015 und 2018 saniert wurden. Der blaue Balken gibt die Anzahl der sanierten Gebäude basierend auf der Sanierungsrate von 1,4 Prozent der dena-Leitstudie an. Die zu sanierende Gebäudeanzahl wurde mithilfe der Sanierungsrate und des deutschen Gebäudebestands von 18,7 Millionen Wohngebäuden berechnet.



## 6. Industrie

Auch im Industriesektor weisen die Trends noch nicht in die richtige Richtung. Wie im Verkehrs- und im Gebäudesektor ist der Endenergieverbrauch hier zwischen 2015 und 2017 gestiegen: um 9 Terawattstunden. Um das Klimaziel 2030 noch zu erreichen, müsste er nach dena-Leitstudie von jetzt an um 32 Terawattstunden sinken. Das sind, auf zwölf Jahre verteilt, über 2,6 Terawattstunden pro Jahr (siehe EWI-Abbildung 8).

Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Blick auf die Treibhausgasemissionen. Von 2005 bis 2017 sind die Emissionen im Schnitt um 0,5 Millionen Tonnen pro Jahr gesunken. Für das Klimaziel 2030 wäre eine jährliche Reduzierung um 3 Millionen Tonnen notwendig; für die Zeit von 2030 bis 2050 müsste sie sogar 10 Millionen Tonnen betragen, wenn ein 95-Prozent-Klimaziel erreicht werden soll (siehe EWI-Abbildung 9).

Seit Vorlage der dena-Leitstudie hat sich die Debatte um technische Lösungsoptionen im Industriesektor erheblich verstärkt. Auch die Debatte über die Verwendung von Carbon Capture and Storage (CCS) oder Carbon Capture and Utilization (CCU) hat Fahrt aufgenommen. An vielen Stellen machen sich Unternehmen und Branchen Gedanken darüber, wie sie ihre Prozesse klimaverträglicher gestalten und mit Cleantech neue Märkte erschließen können. Der Bundesverband der Deutschen Industrie spricht sich klar für Klimaschutz aus und arbeitet mit der dena zusammen daran, Klimaszenarien zu skizzieren.<sup>15</sup>

An manchen Stellen fehlt der Debatte im Industriesektor aber noch der Fokus. Anders als für die Energiewirtschaft und die Sektoren Verkehr und Gebäude war im Koalitionsvertrag 2017 für die Industrie keine eigene Kommission vorgesehen, die ein Aktionsprogramm erarbeitet. Die Nationale Industriestrategie 2030, die das Bundeswirtschaftsministerium im Februar 2019 vorgelegt hat, geht nicht auf Fragen des Klimaschutzes ein.

Gute Ansätze verfolgt die Bundesregierung zum Beispiel mit dem Aufbau von Energieeffizienznetzwerken, dem Förderprogramm „Schaufenster für intelligente Energie“, dem Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“ mit Schwerpunkt auf Wasserstofftechnologien, dem „Investitionsprogramm – Energieeffizienz und Prozesswärme aus erneuerbaren Energien“ und dem von der dena koordinierten Vorhaben „Leuchttürme für CO<sub>2</sub>-Einsparung in der Industrie“.

<sup>15</sup> Siehe den Studienvergleich von BDI, dena und ESYS (2019): Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt!

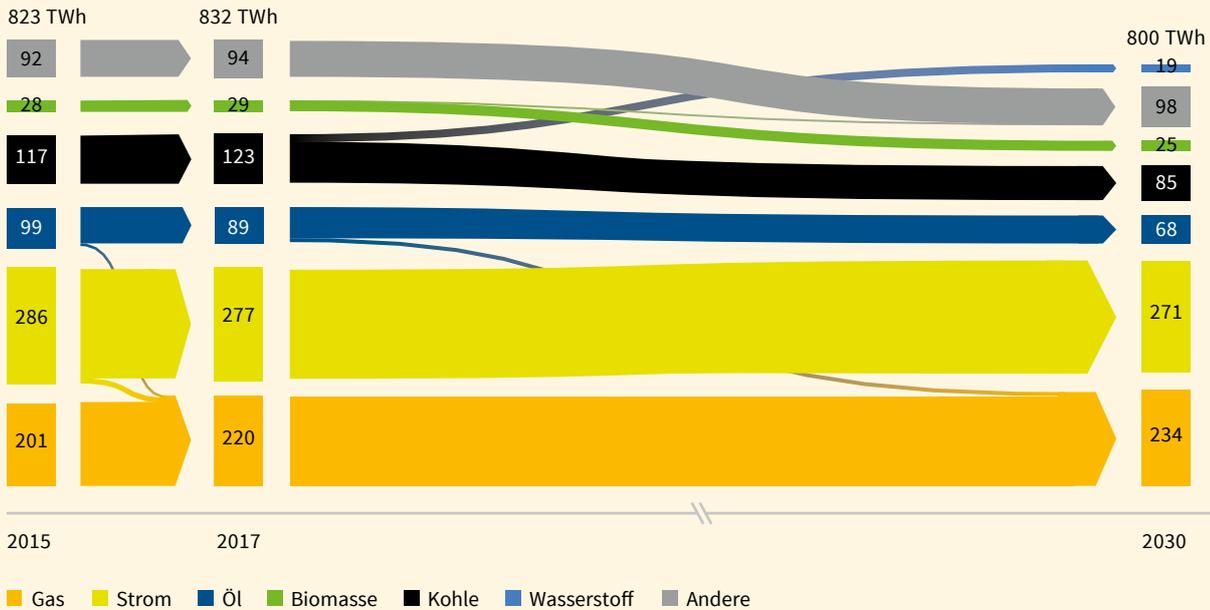


## dena-Handlungsempfehlungen

- **Nationale Industriestrategie auch auf Klimaschutz und Industrie ausrichten**, dazu gehören, den neuen ökonomischen Rahmen flankierend, gezielte Förderinstrumente, die innovative und nachhaltige Zukunftstechnologien unterstützen, solange diese noch nicht mit etablierten, aber klimaschädlichen Technologien konkurrieren können.
- **Forschung und Entwicklung weiter forcieren:** Angesichts der langen Investitions- und Innovationszyklen sollte die Entwicklung klimaschonender Technologien in der Industrie weiter ausgebaut werden. Die Politik kann dies mit gezielten Förderprogrammen und langfristig kalkulierbaren Rahmenbedingungen unterstützen.
- **Umgang mit verbleibenden CO<sub>2</sub>-Mengen klären:** Der Industriesektor ist der einzige, der in den 95-Prozent-Szenarien der dena-Leitstudie bis 2050 nicht die Klimaneutralität erreicht. Energieeffizienz und erneuerbare Energien allein reichen nicht aus. Für manche Prozesse in Branchen wie Chemie, Stahl oder Glas und Keramik gibt es aus heutiger Sicht keine emissionsfreien Alternativen. Je mehr sich das Ziel für 2050 in Richtung Klimaneutralität verschiebt, desto mehr braucht es auch Verfahren zur Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> oder andere Methoden zur Vermeidung von Prozessemissionen. Aufgrund der langen Investitionszyklen in der Industrie sollte die Entwicklung solcher Technologien rasch ausgebaut werden.
- **Wasserstoffeinsatz weiter voranbringen:** Die Reallabore der Energiewende und die für Ende 2019 angekündigte Wasserstoffstrategie können der Industrie wichtige Impulse geben. Entscheidend ist, das Tempo hochzuhalten und Richtungsentscheidungen für den Ausbau von Wasserstoffnetzen und die Förderung von grünem Wasserstoff zu treffen.
- **Energiewende in der Industrie systematisch untersuchen und strategisch gestalten**, damit Chancen und Risiken frühzeitig erkannt und adressiert werden können.
- **Unternehmensnetzwerke weiter ausbauen**, aufbauend auf den bereits erfolgreich etablierten Netzwerken. Unternehmen steigern ihre Energieeffizienz doppelt so schnell wie der Durchschnitt.

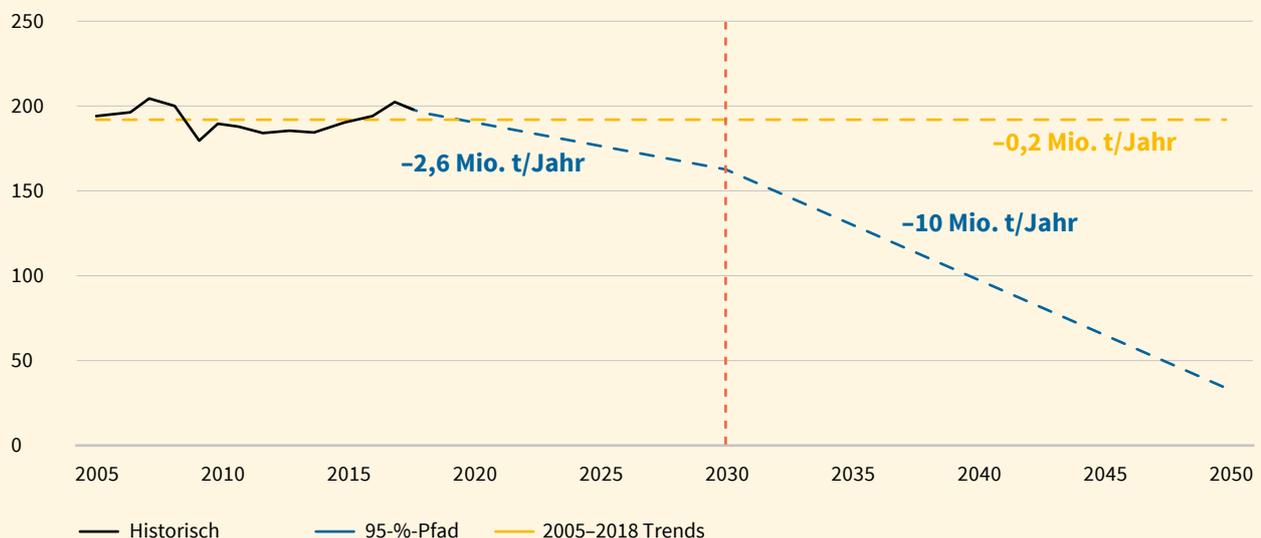
### EWI-Abbildung 8: Endenergieverbrauch im Industriesektor nach Energieträgern

Leichte Reduktion bei stetem Wachstum: Von 2015 bis 2017 hat sich der Verbrauch im Industriesektor um 9 TWh erhöht. Um das Ergebnis der dena-Leitstudie zu erreichen, müsste er nun bis 2030 um 32 TWh sinken, obwohl in der gleichen Zeit das Bruttoinlandsprodukt um ca. 1,2 Prozent pro Jahr wächst. Energieeffizienz ist also der Schlüssel zum Erfolg im Industriesektor. Im Energieträgermix rechnet die dena-Leitstudie bis 2030 vor allem beim Gasverbrauch mit einer Zunahme von 220 auf 234 TWh. Zunehmend kommt auch Wasserstoff zum Einsatz, sodass der Verbrauch auf 19 TWh im Jahr 2030 ansteigt. Heute spielt Wasserstoff fast keine Rolle. Der Verbrauch von Kohle sinkt in der dena-Leitstudie auf 85 TWh im Jahr 2030, der von Öl von 89 TWh auf 68 TWh.



### EWI-Abbildung 9: Treibhausgasemissionen im Industriesektor

Von 2005 bis 2018 sanken die Treibhausgasemissionen im Industriesektor durchschnittlich um 0,5 Millionen Tonnen pro Jahr. In der dena-Leitstudie (Szenario TM95) ergeben sich höhere Minderungsraten. Bereits bis 2030 sinken die Treibhausgasemissionen mit minus 3 Millionen Tonnen pro Jahr sechsmal schneller als im aktuellen Trend. Ab 2030 verschärft sich die jährliche Minderungsrate weiter auf minus 10 Millionen Tonnen pro Jahr. Dabei müssen sowohl energetische als auch Prozessemissionen, die in bestimmten Produktionsabläufen entstehen, vermieden werden. Die Prozessemissionen machen heute einen Anteil von knapp 25 Prozent an den Gesamtemissionen des Industriesektors aus (BMU, 2018). 2050 bleiben Industrieemissionen im Umfang von insgesamt 27 Millionen Tonnen. Zur Erreichung dieser Minderung des Emissionsausstoßes kommen in der dena-Leitstudie in 2050 Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologien zum Einsatz.





## 7. Internationales

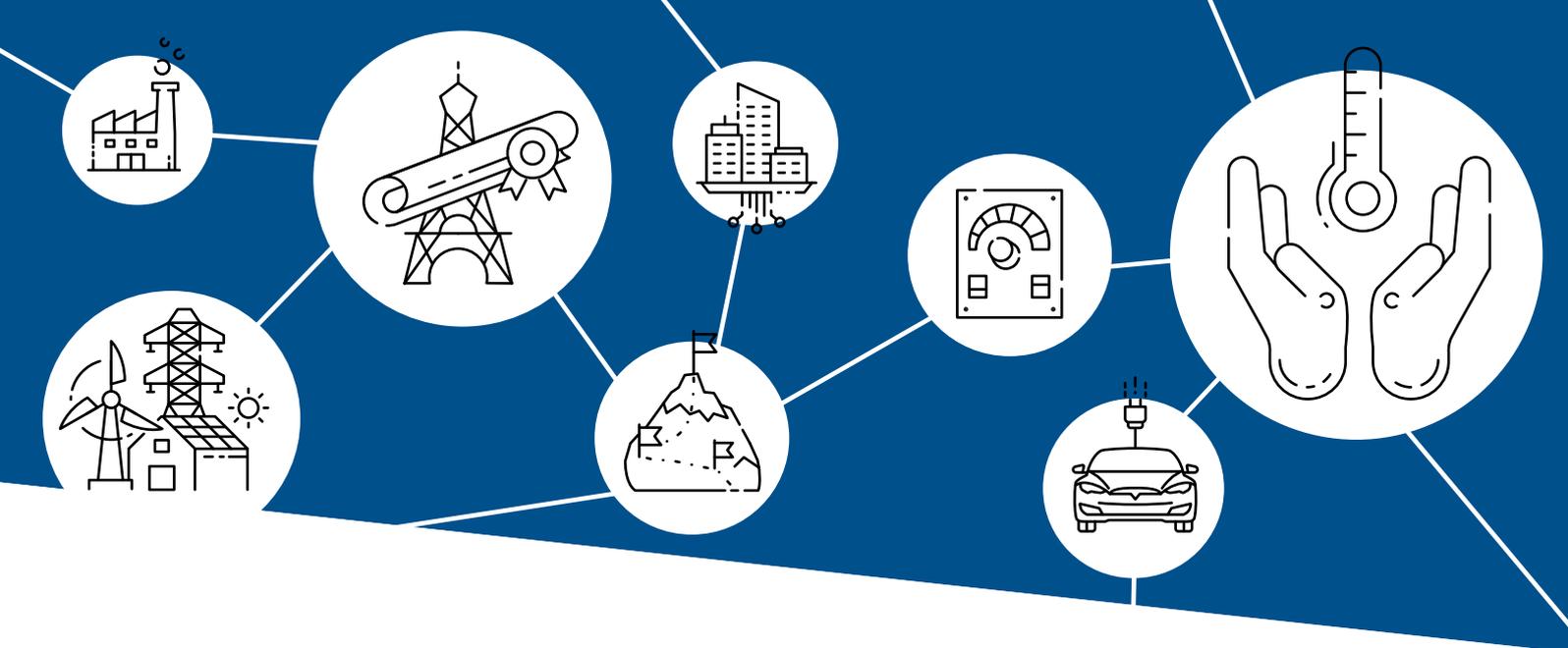
Die Debatte über Klimaschutz und Energiewende hat auch auf internationaler Ebene an Dynamik gewonnen. Waldbrände, Wetterextreme und weiter steigende Treibhausgasemissionen treiben zum Handeln an. Andererseits ist die Handlungsfähigkeit der Staatengemeinschaft geschwächt durch Spannungen in den internationalen Handelsbeziehungen. Gleichwohl sind immer mehr Staaten und Unternehmen bereit, ihre Anstrengungen zu verstärken. Die neue EU-Kommission zum Beispiel arbeitet an einem Green New Deal, der Europa zum Vorreiter im Klimaschutz und bis 2050 klimaneutral machen soll. Die Bundesregierung hat bereits signalisiert, dass sie das EU-Ziel der Klimaneutralität bis 2050 und auch eine Verschärfung des EU-Klimaziels für 2030 unterstützen würde.

Über die Erklärung von langfristigen Klimazielen hinaus ist jedoch noch viel zu tun, um Energiewende und Klimaschutz in der internationalen Zusammenarbeit konkret voranzubringen. Wie sehr die Energiewende in Deutschland auf gute internationale Zusammenarbeit angewiesen ist, hat die dena-Leitstudie deutlich gezeigt. Deutschlands Abhängigkeit von Energieimporten sinkt zwar in allen Klimazielszenarien bis 2050 signifikant, von heute rund 90 Prozent auf unter 50 Prozent. Dennoch wird Deutschland weiter auf Importe angewiesen sein, insbesondere in Form von synthetischen, erneuerbaren Energieträgern. Hinzu kommt ein intensiver Austausch mit den europäischen Nachbarstaaten über das Stromnetz, um Ungleichgewichte in Last, Erzeugung und gesicherter Leistung auszugleichen. Schließlich ist es für die Attraktivität des Industriestandorts Deutschland wichtig, dass Mechanismen zur Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen international aufeinander abgestimmt werden.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **CO<sub>2</sub>-Bepreisung auf internationaler Ebene stärken:** Bis 2030 ist eine weitreichende Reform des europäischen Emissionshandelssystems notwendig. Das EU Emissionshandelssystem (EU-ETS) sollte bis dahin auf die Sektoren Gebäude und Verkehr ausgeweitet sein. Bilaterale Gespräche wie zuletzt mit den Niederlanden können dabei helfen, nationale Maßnahmen bereits heute aufeinander abzustimmen und so die Reform bis 2030 zu erleichtern. Auch über die EU hinaus gilt es, die Einführung von CO<sub>2</sub>-Bepreisungsmechanismen zu unterstützen und entsprechende internationale Vereinbarungen voranzubringen.
- **Nachteile für deutsche Wirtschaft verhindern:** Deutschen Unternehmen sollen durch CO<sub>2</sub>-Bepreisung keine Nachteile im internationalen Wettbewerb entstehen. Dafür ist es zum Beispiel wichtig, das EU-Beihilferecht auf Klimaschutz auszurichten und einen Ausgleichsmechanismus im Handel mit Ländern einzuführen, die keine oder schwächere Mechanismen zur Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen eingerichtet haben. Wichtig wäre es auch, internationale Regeln für emissionsintensive Branchen wie Stahl oder Chemie zu vereinbaren.
- **Grenzüberschreitende Kooperationen ausbauen:** In den Grenzregionen zu Deutschlands Nachbarstaaten lässt sich demonstrieren, welche Vorteile ein gemeinsames Vorgehen bei der Gestaltung und Nutzung der Energieinfrastrukturen bringen kann. Wegweisend dafür ist zum Beispiel die von den beiden nationalen Energieagenturen geleitete Deutsch-Französische Energieplattform. Die Plattform unterstützt unter anderem die Entwicklung grenzüberschreitender Smart Grids sowie die grenzüberschreitende Nutzung von Abwärme.
- **Energiepartnerschaften ausbauen:** Energiewende sieht in jedem Land anders aus, aber viele Herausforderungen sind ähnlich. Und kaum ein Land wird nur aus eigenen Kräften erfolgreich sein. Deutschland hat mit seinem Know-how viel zu bieten, kann aber auch viel davon lernen, wie andere Länder die Herausforderungen angehen. Deshalb sollte Deutschland seine weltweiten Energiepartnerschaften weiter ausbauen.
- **EU-Ratspräsidentschaft 2020 für Klimaschutz nutzen:** Deutschland übernimmt im zweiten Halbjahr 2020 den Vorsitz im Rat der Europäischen Union. Die Bundesregierung sollte diese Gelegenheit nutzen, um Impulse für Energiewende und Klimaschutz zu setzen, zum Beispiel durch einen Fokus auf verbesserte ökonomische Rahmenbedingungen und die Bepreisung von CO<sub>2</sub>.



## 8. Ausblick auf Klimaneutralität 2050

Deutschland braucht ein klares Klimaziel für das Jahr 2050. Das war schon im Juni 2018 eine der zentralen Empfehlungen aus der dena-Leitstudie. Denn der geltende Zielkorridor von 80 bis 95 Prozent weniger Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 lässt sich zwar mit verschiedenen Ansätzen wie Technologieoffenheit oder Elektrifizierung erreichen. Aber je nachdem, welches Ende des Korridors angestrebt wird, ergeben sich bereits für die Ausrichtung auf das Jahr 2030 unterschiedliche Weichenstellungen. Ein Korridor von 80 bis 95 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduktion bis 2050 bietet keine geeignete Grundlage für die aktuell anstehenden Entscheidungen.

Mittlerweile zeichnet sich ab, dass Deutschland sein Klimaziel für 2050 auf einen Wert festlegen könnte, der noch über den bisherigen Korridor hinausgeht. Im Rahmen von EU-Verhandlungen im Juni hat die Bundesregierung den Vorstoß unterstützt, bis 2050 klimaneutral zu werden. Insgesamt dürften Deutschland und die EU dann nicht mehr Treibhausgasemissionen ausstoßen, als sie an anderer Stelle einsparen oder aus der Atmosphäre zurückholen.

Das Ziel der Klimaneutralität würde Klarheit schaffen. Gleichzeitig fordert es dazu heraus, über neue Herangehensweisen nachzudenken. Der Blick in der deutschen Klimaschutzpolitik wird sich erweitern müssen: Bisher ging es vor allem um Kohlenstoffquellen und die Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Jetzt geht es auch um Kohlenstoffsinken und das Binden von Kohlenstoff in Produktionszyklen und im Ressourcenmanagement. Wer an Energiewende und Klimaschutz denkt, sollte ab jetzt nicht mehr nur Windräder und Solaranlagen vor Augen haben, oder energiesparende Gebäude und Fahrzeuge, sondern auch Bäume und Böden, Luft und Wasser.

Aktuell wird in diesem Zusammenhang in der EU auch darüber diskutiert, das Reduktionsziel für das Jahr 2030 von derzeit 40 Prozent auf 50 oder gar 55 Prozent zu steigern. Nach den bisherigen Mechanismen der Umlegung dieser Ziele auf die einzelnen Länder kämen dadurch für Deutschland noch einmal erhebliche weitere Anstrengungen für das Jahr 2030 hinzu. Diese und die sich daraus ergebenden Herausforderungen für die in diesem Dokument angesprochenen Punkte wurden bislang in der deutschen Debatte noch nicht adressiert.



## dena-Handlungsempfehlungen

- **Nationale Zielarchitektur neu und idealerweise europäisch ausrichten**, unter Berücksichtigung von Quellen, Senken und Technologien. Schon für den bisherigen Klimazielkorridor gibt es hier viel zu tun. Mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050 gilt das erst recht.
- **Ausbau der drei Säulen der integrierten Energiewende beschleunigen**: Nur mit erheblichen Anstrengungen bei Energieeffizienz, erneuerbarem Strom und synthetischen, erneuerbaren Kraft-, Brenn- und Grundstoffen ist die Energiewende zu schaffen.
- **Ökonomischen Rahmen konsequent auf Vermeidung von CO<sub>2</sub> ausrichten**: Ein neues System aus Steuern, Abgaben und Umlagen kann einen Wettbewerb um Innovationen und neue Geschäftsmodelle für Energiewende und Klimaschutz anfachen.
- **Akzeptanzfragen angehen und Zielkonflikte klären**: Ehrgeizigere Klimaziele bedeuten auch mehr Veränderung. Umso mehr braucht es eine gesamtgesellschaftliche Diskussion darüber, wie Klimaneutralität erreicht werden kann. Dabei gilt es, Zielkonflikte zu adressieren und Interessenausgleich zu schaffen.
- **Lösungen für Restemissionen in der Industrie entwickeln**: Vor allem für manche Industrieprozesse sind heute noch keine Lösungen auf Basis von erneuerbaren Energien in Sicht. Angesichts von Investitionszyklen von bis zu 30 Jahren sollte jetzt in die Entwicklung neuer Verfahren investiert werden. Dazu gehören auch Technologien wie die Abscheidung und Speicherung oder Nutzung von CO<sub>2</sub> (CCS, CCU).
- **Alle relevanten Handlungsfelder in den Blick nehmen**, neben den energierelevanten Sektoren sind dies auch Agrar- und Forstwirtschaft, Ressourcenmanagement und Kreislaufwirtschaft.
- **Methoden für das Binden von Treibhausgasen auf den Weg bringen**, dazu gehören unter anderem Aufforstung, Bioenergie in Kombination mit CCS, Anreicherung von Böden mit Biokohle, Direct Air Capture in Kombination mit CO<sub>2</sub>-Speicherung.
- **Auf Lösungen konzentrieren und Innovationen voranbringen**: Es gibt nicht die eine Technologie, die alles lösen kann; nicht den einen Ansatz, der für alles passt. Aber es gibt viel, was man tun kann. Die Transformation besteht aus einer Vielzahl von kleinen Entscheidungen und Entwicklungen, aus klugen Ideen, mutigen Projekten und neuen Kooperationen, aus der Offenheit, laufend auf neue Konstellationen zu reagieren. Wichtig ist, sich nicht entmutigen zu lassen, den Blick nach vorne zu richten – und zu handeln.

# 9. Integrierte Energiewende

Mit der Leitstudie hat die dena einen neuen Begriff in die energiepolitische Diskussion eingeführt: die integrierte Energiewende. Integrierte Energiewende bedeutet, dass die verschiedenen technischen Anlagen, Infrastrukturen und Märkte aus den unterschiedlichen Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Industrie aufeinander abgestimmt und in ein optimiertes und intelligentes Energiesystem überführt werden. Diese Integration findet in Balance zwischen lokaler, regionaler und überregionaler Ebene statt. Der Begriff Sektorkopplung greift dagegen zu kurz. Er vermittelt den Eindruck, als ginge es nur darum, bestehende und in sich geschlossene Einheiten miteinander zu verbinden. Um die Klimaziele zu erreichen, braucht es einen ganzheitlichen, sektorübergreifenden Ansatz, welcher der Dynamik der Veränderungen gerecht wird. Dafür steht der Begriff „integrierte Energiewende“.

Für die vorliegende Zwischenbilanz haben Projektteams von dena und EWI untersucht, wie sich die Handlungsfelder seit Erscheinen der dena-Leitstudie im Juni 2018 weiterentwickelt haben. Auf dieser Basis formulierte die dena aktualisierte Lagebeschreibungen und Handlungsempfehlungen. EWI erarbeitete Energieflussdiagramme für die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Industrie sowie grafische Detailanalysen. Die Zwischenbilanz baut auf der dena-Leitstudie auf, wurde aber nicht wie die Leitstudie in einem breiten Stakeholderprozess erarbeitet. Sie beruht allein auf Einschätzungen und Analysen von dena und EWI.

## Über die Herausgeber

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) ist das Kompetenzzentrum für Energieeffizienz, erneuerbare Energien und intelligente Energiesysteme. Als Agentur für angewandte Energiewende trägt die dena zum Erreichen der energie- und klimapolitischen Ziele bei, indem sie Lösungen entwickelt und in die Praxis umsetzt, national und international. Dafür bringt die dena Partner aus Politik und Wirtschaft zusammen und moderiert Dialoge über alle Branchen hinweg. Die Gesellschafter der dena sind die Bundesrepublik Deutschland und die KfW Bankengruppe. Weitere Informationen unter [www.dena.de](http://www.dena.de).

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist gemeinnützig und versteht sich als Wissensfabrik mit dem Ziel, neues Wissen über zunehmend komplexe Energiemärkte zu schaffen, zu verbreiten und nutzbar zu machen. Die Energiewelt erfährt zurzeit einen dramatischen Wandel mit sich ändernden politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sowie neuen Technologien und Innovationen. Diese Veränderungen werfen komplexe Fragestellungen auf, für die das EWI Antworten sucht: durch praxisnahe, energieökonomisch fundierte und agendaneutrale Forschung. Weitere Informationen unter [ewi.uni-koeln.de](http://ewi.uni-koeln.de).

## Über die dena-Leitstudie

Die dena-Leitstudie Integrierte Energiewende ist ein Projekt der dena in Zusammenarbeit mit über 60 Partnern aus der Wirtschaft, darunter Energieversorger, Netzbetreiber, Beratungsunternehmen, Industrieunternehmen aller Branchen sowie Wirtschaftsverbände. Ziel war es, gemeinsam realistische Transformationspfade zur Erreichung des Klimazielkorridors von 80 bis 95 Prozent weniger Treibhausgasemissionen bis 2050 zu entwickeln und diese wissenschaftlich zu bewerten. Die Ergebnisse wurden im Juni 2018 veröffentlicht.

Die dena-Leitstudie enthält vier praxisnahe Szenarien, die Reduktionsziele von entweder 80 oder 95 Prozent bis 2050 erreichen: zwei Elektrifizierungsszenarien (EL80, EL95) gehen davon aus, dass der Verbrauch in den Sektoren Gebäude, Industrie und Verkehr weitestgehend mit Strom gedeckt wird, zum Beispiel durch verstärkten Einsatz von Wärmepumpen, strombasierten Produktionsanlagen und Elektroantrieben; zwei Technologiemixszenarien (TM80, TM95) gehen davon aus, dass ein breiteres Spektrum an Technologien und Energieträgern zum Einsatz kommt, darunter mehr gasförmige und flüssige Kraft- und Brennstoffe, die mithilfe von erneuerbaren Energien synthetisch erzeugt werden. Ein Referenzszenario, das die aktuellen Rahmenbedingungen ambitioniert fortschreibt, reduziert die Emissionen hingegen nur um 62 Prozent.

Weitere Informationen zur integrierten Energiewende und zur dena-Leitstudie unter [www.dena.de/integrierte-energiewende](http://www.dena.de/integrierte-energiewende).

# 10. Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (AGORA, 2019): EEG-Rechner,

URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/eeg-rechner-fuer-excel/> (abgerufen am 13. September 2019).

Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (Agora, 2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB, 2018): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland – 1990 bis 2017, Juli 2018.

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB, 2019a): Bruttostromerzeugung 2019, Juni 2019.

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB, 2019b): Energiebilanz 2019, März 2019.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, 2018): Verkehr in Zahlen 2018/2019, 2018.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU, 2018): Klimaschutz in Zahlen, 2018.

Bundesnetzagentur (BNetzA, 2019): Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur – Stand: 02.08.2019.

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (BWP, 2018): BWP Marktzahlen 2018,

URL: <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/bwp-marktzahlen-2018-nachhaltiges-wachstum-mit-luft-nach-oben-deutliches-signal-fuer-die-politik/#content> (abgerufen am 02. August 2019).

Bundesverband WindEnergie (BWE, 2019): Halbjahreszahlen Windenergie an Land,

URL: <https://www.vdma.org/v2viewer/-/v2article/render/38183471> (abgerufen am 03. September 2019).

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2018a): dena-Gebäudereport, 2018.

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW, 2019): Wärmemonitor 2018,

URL: [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.676231.de/19-36-1.pdf](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.676231.de/19-36-1.pdf) (abgerufen am 09. September 2019).



Die Allianz für Gebäude-Energie-Effizienz (dena, 2019): Notwendige Instrumente zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 im Gebäudebereich,

URL: [https://www.geea.info/fileadmin/Downloads/geea\\_BR\\_Instrumentenkatalog\\_WEB.pdf](https://www.geea.info/fileadmin/Downloads/geea_BR_Instrumentenkatalog_WEB.pdf) (abgerufen am 12. September 2019).

Energiesysteme der Zukunft, Bundesverband der Deutschen Industrie und die Deutsche Energie-Agentur (ESYS/BDI/dena, 2019): Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt!,

URL: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Themen\\_und\\_Projekte/Energiesysteme/dena-Leitstudie/Expertise\\_buendeln\\_Studienvergleich.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Themen_und_Projekte/Energiesysteme/dena-Leitstudie/Expertise_buendeln_Studienvergleich.pdf) (abgerufen am 11. September 2019).

ewi Energy Research & Scenarios (dena, 2018b): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Juni 2018.

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI, 2019): Auswirkungen einer Beendigung der Kohleverstromung bis 2038 auf den Strommarkt, CO<sub>2</sub>-Emissionen und ausgewählte Industrien, August 2019.

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2017): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 5 G des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706, 723) geändert worden ist.

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA, 2019): Bestand an Personenkraftwagen,

URL: [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2018/2018\\_b\\_umwelt\\_dusl.html?nn=2218538](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2018/2018_b_umwelt_dusl.html?nn=2218538) (abgerufen am 02. August 2019).

Umweltbundesamt (UBA, 2019): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, 2019.



**Lesen Sie die komplette dena-Leitstudie  
Integrierte Energiewende inklusive des  
wissenschaftlichen Gutachterberichts:**



**[www.dena.de/integrierte-energiewende](http://www.dena.de/integrierte-energiewende)**