Energiewende 2030: The Big Picture

Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende

IMPULSE

Agora Energiewende



Stromsystem 2015

bestehende Hochspannungs-leitungen

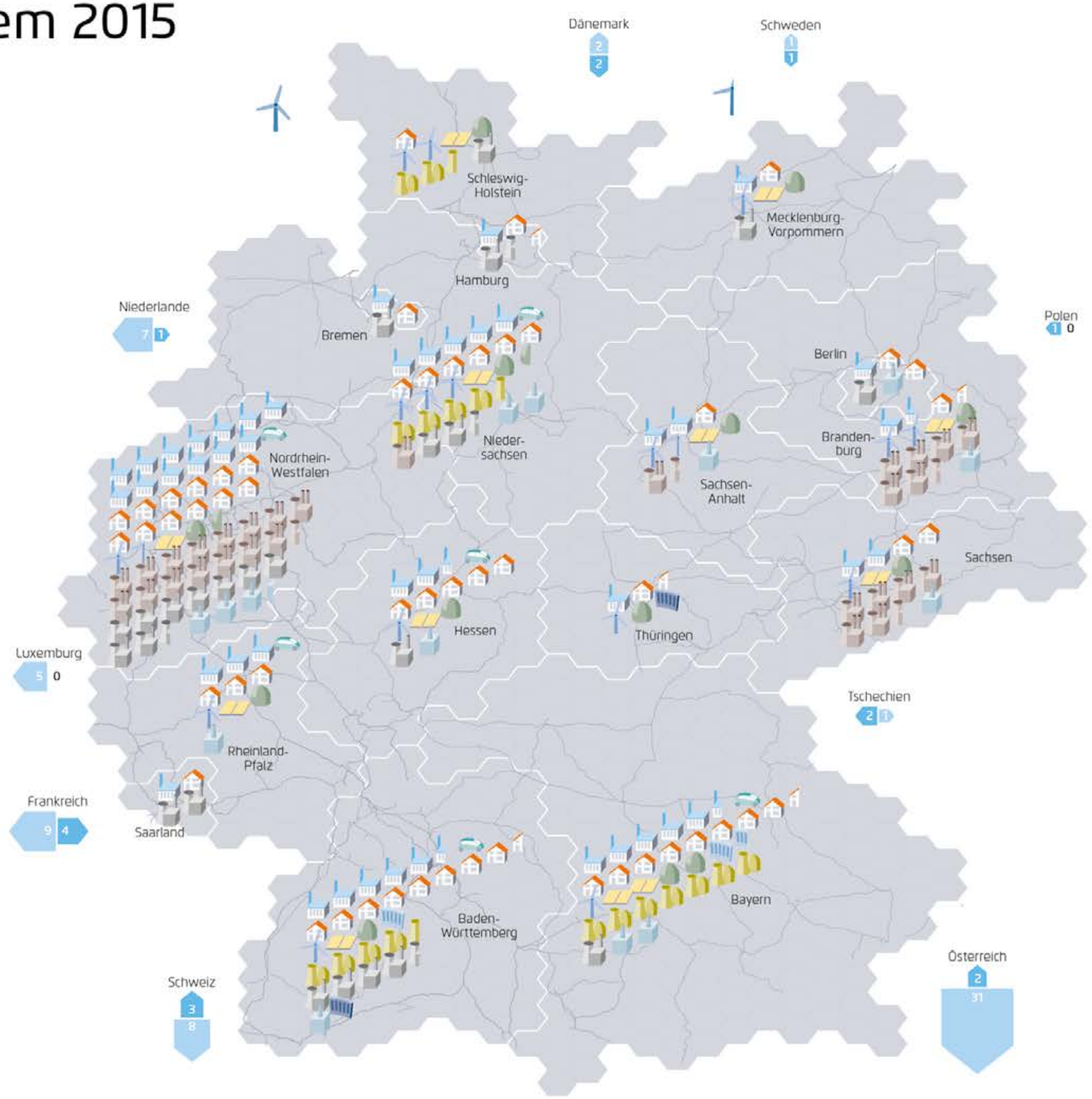
Bruttostrom-erzeugung*
- Wind offshore
- Wind onshore
- Photovoltaik
- Biomasse
- Wasserkraft
- Kernkraft
- Braunkohle
- Steinkohle
- Erdgas
- Pumpspeicher

Stromverbrauch*
- Industrie
- Verkehr
- Gebäude

Kommerzieller Stromaußenhandel**
- Stromimport (TWh)
- Stromexport (TWh)

* Im Regelfall steht ein Symbol für 5 Terawattstunden (TWh) Erzeugung oder Verbrauch. Bei kleineren Bundesländern kann ein Symbol aus Darstellungsgründen auch für weniger stehen.

** Die Summe des kommerziellen Stromhandels weicht leicht vom physikalischen Landflusssaldo in das Ausland ab.



Bruttostromerzeugung	TWh
Kernenergie	92
Braunkohle	155
Steinkohle	118
Erdgas	62
Pumpspeicher	9
Sonstige	24
Wind Onshore	71
Wind Offshore	8
Photovoltaik	39
Biomasse	50
Wasserkraft	19
Summe	647

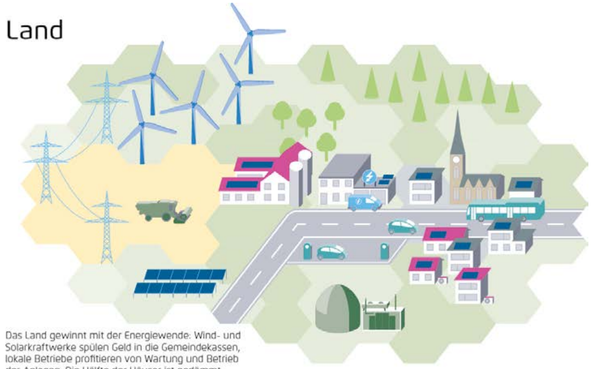
Stromverbrauch	TWh
Industrie	228
Verkehr	12
Gebäude	281
Umwandlungs-, Netz- und sonstige Verluste	74
Summe	595

Physikalisches Lastfluss-saldo in das Ausland	52

Quelle: AG Energiebilanzen (2017b)

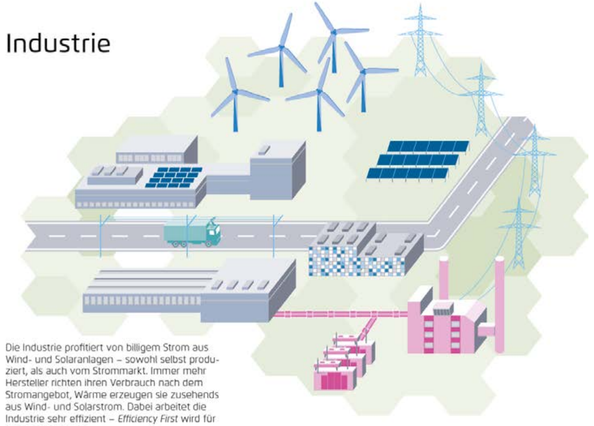
Agora Energiewende

Land



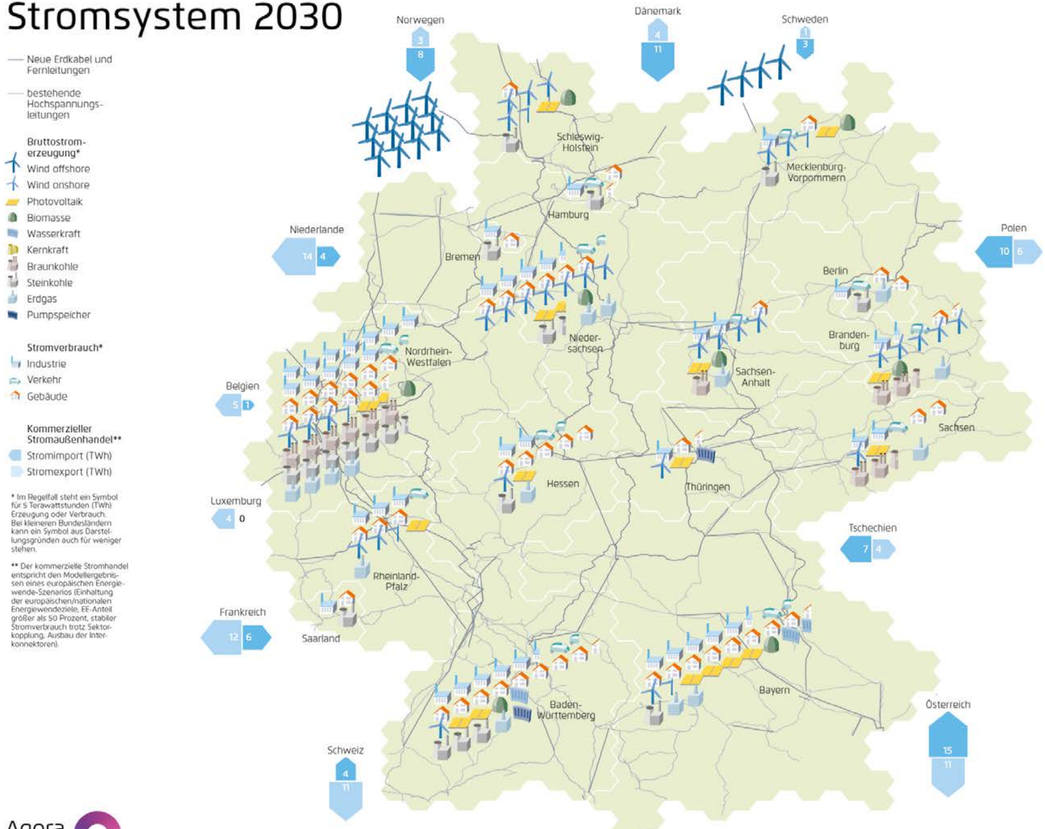
Das Land gewinnt mit der Energiewende: Wind- und Solarkraftwerke spülen Geld in die Gemeindekassen, lokale Betriebe profitieren von Wartung und Betrieb der Anlagen. Die Hälfte der Häuser ist gedämmt, viele produzieren Solarstrom und nutzen ihn selbst für Wärmepumpen oder Elektroautos. Noch fahren die meisten Autos mit Verbrennungsmotoren.

Industrie



Die Industrie profitiert von billigem Strom aus Wind- und Solaranlagen – sowohl selbst produziert, als auch vom Strommarkt. Immer mehr Hersteller richten ihren Verbrauch nach dem Stromangebot, Wärme erzeugen sie zusehends aus Wind- und Solarstrom. Dabei arbeitet die Industrie sehr effizient – *Efficiency First* wird für sie zum Leitprinzip.

Stromsystem 2030



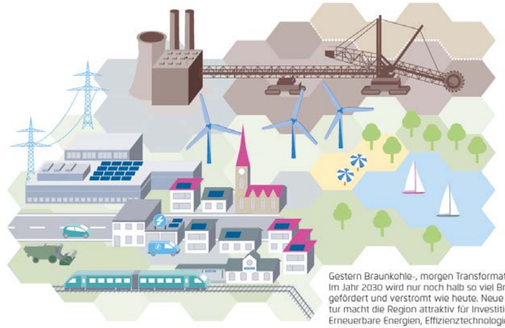
Agora Energiewende

Bruttostromerzeugung	TWh
Kernenergie	0
Braunkohle	~ 60
Steinkohle	~ 80
Erdgas	~ 70
Pumpspeicher	~ 10
Sonstige	~ 20
Wind Onshore	~ 170
Wind Offshore	~ 80
Photovoltaik	~ 70
Biomasse	~ 30
Wasserkraft	~ 20
Summe	~ 610

Stromverbrauch	TWh
Industrie	~ 210
Verkehr	~ 60
Gebäude	~ 270
Umwandlungs-, Netz- und sonstige Verluste	~ 70
Summe	~ 610
Physikalisches Lastfluss-saldo in das Ausland	~ 0

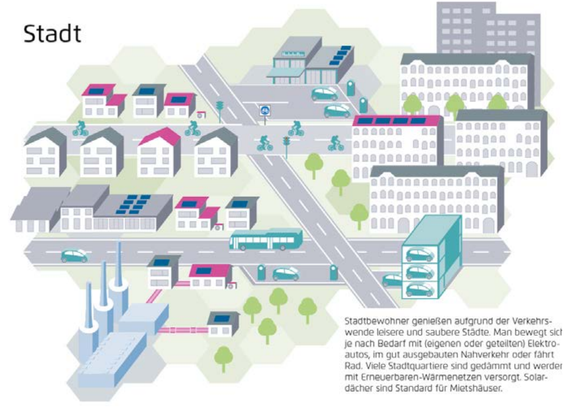
Quelle: Eigene Berechnungen

Braunkohleregion



Gestern Braunkohle-, morgen Transformationsregion: Im Jahr 2030 wird nur noch halb so viel Braunkohle gefördert und verstromt wie heute. Neue Infrastruktur macht die Region attraktiv für Investitionen. Erneuerbare Energien, Effizienztechnologien, Wissenschaft und Tourismus bringen Geld in die Region und schaffen Arbeitsplätze.

Stadt



Stadtbewohner genießen aufgrund der Verkehrswende leisere und saubere Städte. Man bewegt sich je nach Bedarf mit (eigenen oder geteilten) Elektroautos, im gut ausgebauten Nahverkehr oder fährt Rad. Viele Stadtquartiere sind gedämmt und werden mit Erneuerbaren-Wärmenetzen versorgt. Solardächer sind Standard für Mietshäuser.

Energiewende 2030: The Big Picture

IMPRESSUM

IMPULSE

Energiewende 2030: The Big Picture

Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende

ERSTELLT VON

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

Lektorat:
INFOTEXT
Content & Grafikdesign
Lindenstraße 76 | 10969 Berlin

Satz:
Juliane Franz

Illustration:
Erfurth Kluger Infografik GbR
Elbestraße 35 | 12045 Berlin

117/01-I-2017/DE
Veröffentlichung: Juni 2017

Bitte zitieren als: *Agora Energiewende (2017): Energiewende 2030: The Big Picture. Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende.*

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

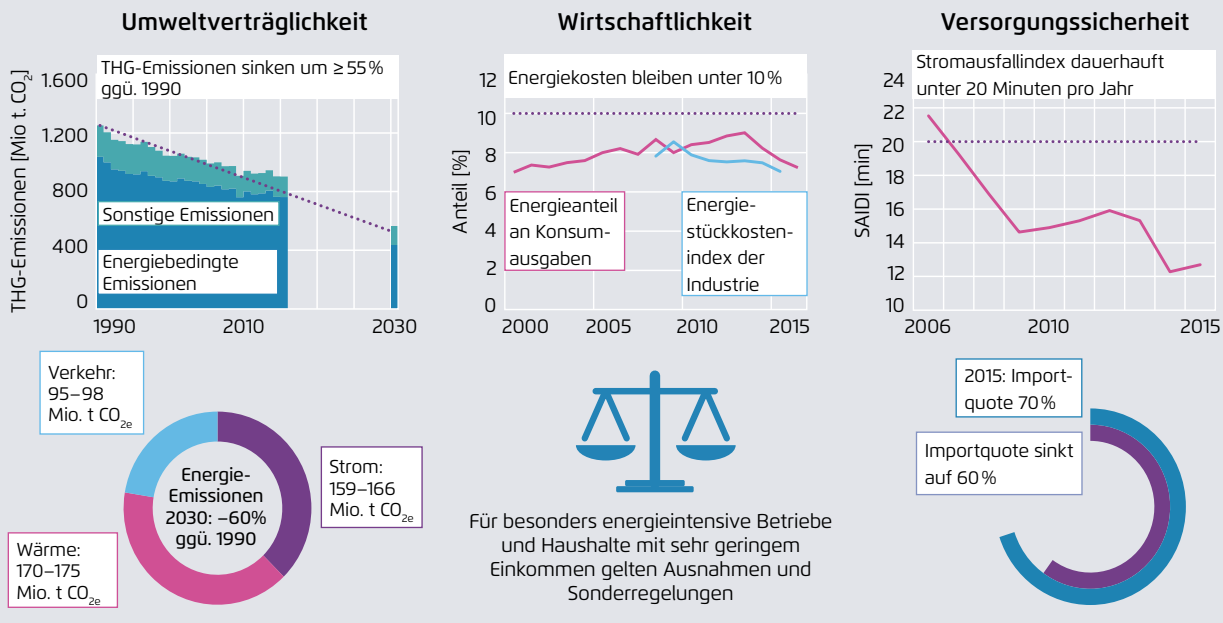
die Energie- und Klimapolitik ist traditionell geprägt von zwei widersprüchlichen Weltsichten: Die eine hält wirtschaftlichen Erfolg und Klimaschutz für Gegensätze, die andere sieht Klimaschutztechnologien als Motor für wirtschaftlichen Erfolg im 21. Jahrhundert. Die Investoren haben sich dabei längst entschieden: Seit 2013 werden mehr Erneuerbare-Energien-Anlagen zugebaut als alle anderen Kraftwerke zusammengenommen, und in der Autoindustrie investieren Risikokapitalgeber nur noch in Elektromobilität und Smart Mobility, nicht mehr in Benzin und Diesel.

Deutschland sieht sich beim Klimaschutz als Vorreiter. Doch im Wettlauf um den Zukunftsmarkt der Energiewendetechnologien kann man sich nicht auf früheren Erfolgen ausruhen. Vielmehr entscheidet sich jetzt, wer in Zukunft Vorreiter der weltweiten Energiewende ist, wer Mitläufer und wer Nachzügler. So haben China und Kalifornien jüngst bei Erneuerbaren Energien und Elektromobilität sehr ehrgeizige Ziele beschlossen – und mit konkreter Politik unterlegt.

In Deutschland steht nun die zweite Phase der Energiewende an. In dieser geht es darum, nicht nur eine Stromwende, sondern auch eine Wärme- und Verkehrswende in Gang zu setzen – und die ökonomischen Chancen der Energiewende entschlossen zu nutzen. Vor diesem Hintergrund zeichnet dieses Impulspapier das Big Picture 2030 und legt Vorschläge vor, wie das Gemeinschaftswerk Energiewende gleichzeitig Klimaschutz, ökonomischen Erfolg und Versorgungssicherheit gewährleisten kann.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre!
Dr. Patrick Graichen
Direktor Agora Energiewende

Die Ziele der Energiewende 2030 konkret: Der Agora-Energiewende-Vorschlag



Eigene Darstellung nach BMWi (2017), BMUB (2016), Destatis (2016a), Expertenkommission zum Monitoringbericht „Energie der Zukunft" (2016)

Zusammenfassung

1. Die sieben Ds der Energiewende: Diese Trends werden das Energiesystem prägen

1. Degression der Kosten
Wind, Solar und Batterien werden immer günstiger

2. Dekarbonisierung
Der Klimawandel zwingt zum Handeln

3. Deflation der Energiepreise
Kohle, Öl und Gas bleiben billig, werden aber volatiler

4. Dominanz der Fixkosten
Die Energiewelt der Zukunft hat geringe Betriebskosten

5. Dezentralität
Die Struktur des neuen Energiesystems ist viel dezentraler

6. Digitalisierung
Energie wird smart und vernetzt

7. Demokratisierung
Energie betrifft Bürgerinnen und Bürger direkt

2. Die Ziele der Energiewende 2030 konkret: Der Agora-Energiewende-Vorschlag

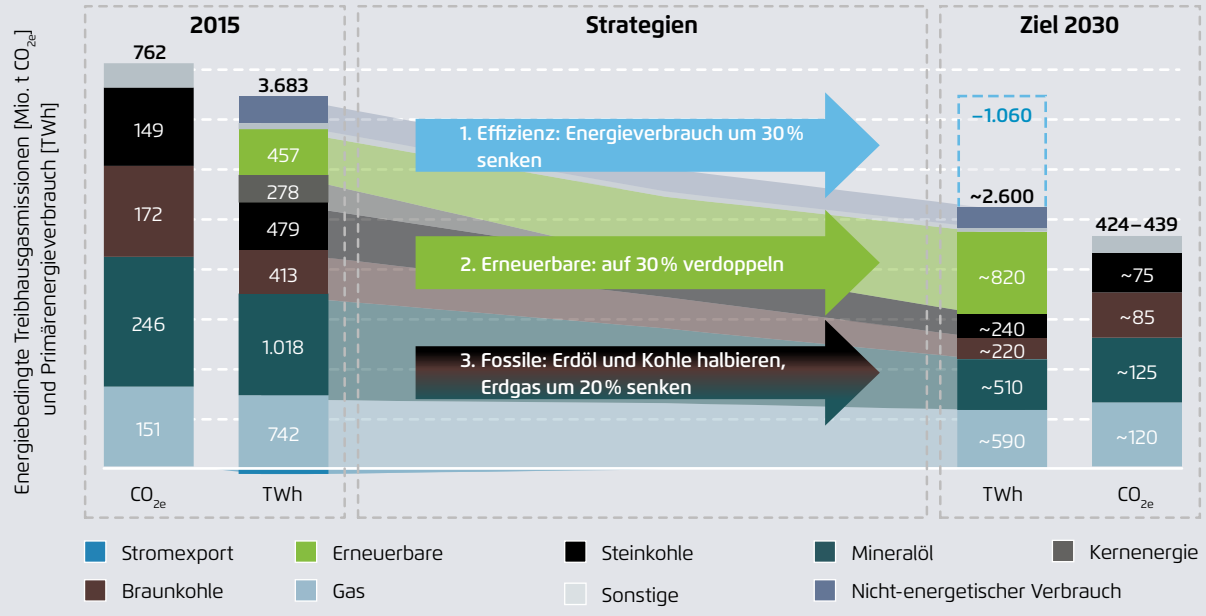
Umweltverträglichkeit
Die Treibhausgasemissionen der Energiesektoren liegen 2030 etwa 60 % unter dem Niveau von 1990. Der Ausbau der Erneuerbaren und die Rekultivierung der Braunkohlengruben erfolgt im Einklang mit naturschutzfachlichen Grundsätzen.

Wirtschaftlichkeit
Die Energiestückkosten der Industrie und der Energieanteil an privaten Konsumausgaben liegen unter 10 %. Für private Haushalte mit geringem Einkommen und die energieintensive Industrie gibt es besondere Ausgleichsregelungen.

Versorgungssicherheit
Die Importquote für den Primärenergieeinsatz sinkt auf unter 60 %. Der Stromausfallindex SAIDI verbleibt dauerhaft unter 20 Minuten pro Jahr.

Europäische Einbindung
Bestehenden Engpässe bei Strom-, Gas-, und Verkehrsnetzen an den Außengrenzen werden reduziert.Mit den Nachbarländern erfolgt eine enge Kooperation bei der Versorgungssicherheit, dem Ausbau Erneuerbarer Energien und dem Strommarktdesign.

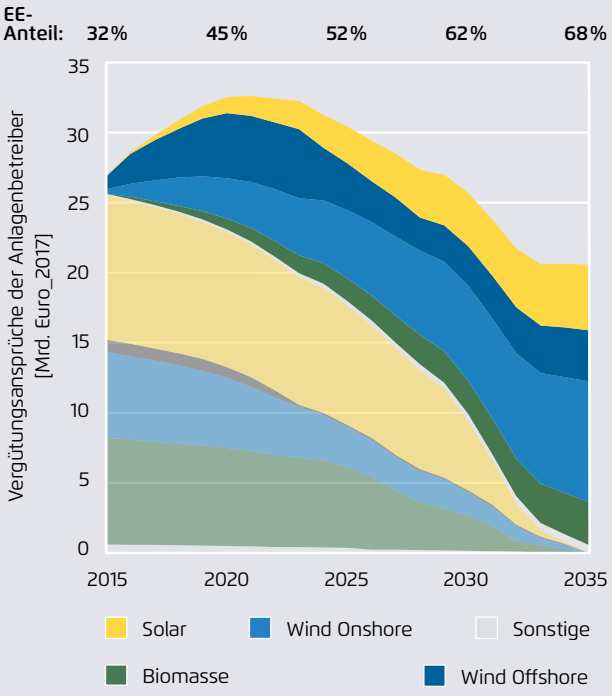
3. Strategien zur kosteneffizienten Transformation der Energiesektoren bis 2030



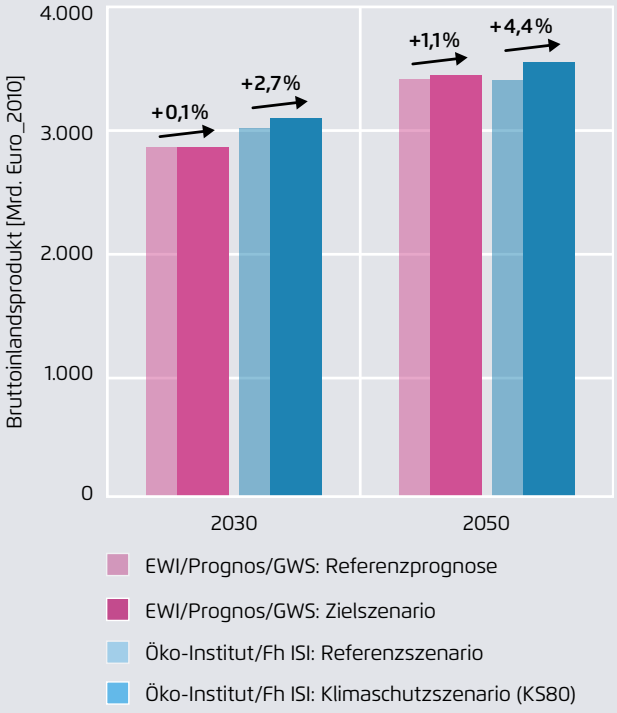
Quelle: vgl. Kapitel 3

4. Die Energiewende bringt kostengünstigen Klimaschutz, wenn man sie richtig angeht

Nach einem Anstieg bis Anfang der 2020er Jahre sinken die Kosten für den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Stromsektor deutlich



Die Energiewende hat leicht positive gesamtwirtschaftliche Effekte, weil inländische Wertschöpfung den Import von Kohle, Öl und Gas ersetzt



Quelle: vgl. Kapitel 4

5. Was jetzt zu tun ist: Zehn Punkte für eine Agenda Energiewende 2030

1. Energiewenderahmen
Durch einen gesetzlichen Rahmen Verlässlichkeit und Planungssicherheit geben

2. Europa
Europas Energiewende unterstützen, die deutsche Energiewende europäisch einbetten

3. Effizienz
Efficiency First als Leitprinzip für Planungsprozesse und Investitionsentscheidungen verankern

4. Erneuerbare Energien
Mit Wind- und Solarenergie die Erneuerbaren Energien im Stromsektor auf 60 % und am Primärenergieverbrauch auf 30 % steigern

5. Fossile Energien
Die CO_2-intensiven Energieträger Kohle und Öl halbieren, mit der Markteinführung strombasierter Heiz- und Kraftstoffe beginnen

6. Abgaben und Umlagen
Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelte grundlegend reformieren

7. Netze
Stromzielnetz bauen, Wärme- und Gasnetze modernisieren, Verkehr elektrifizieren

8. Strommarkt
Einen flexiblen und digitalen Strommarkt organisieren, der Investitionen anreizt

9. Industrie
Chancen nutzen, Risiken minimieren: Eine zukunftszugewandte Energiewende-Industriepolitik

10. Gemeinschaftswerk
Die Energiewende als Gemeinschaftswerk umsetzen

Inhalt

Vorwort 3

Zusammenfassung 4

Einleitung 9

1 Die sieben Ds der Energiewende: Diese Trends werden das Energiesystem prägen 13

1.1 Degression der Kosten: Wind, Solar und Batterien werden immer günstiger 14

1.2 Dekarbonisierung: Der Klimawandel beschleunigt sich und zwingt zum Handeln 15

1.3 Deflation der Energiepreise: Kohle, Öl und Gas bleiben billig, werden aber volatiler 16

1.4 Dominanz der Fixkosten: Die Energiewelt der Zukunft hat geringe Betriebskosten 17

1.5 Dezentralität: Die Struktur des neuen Energiesystems ist viel dezentraler 18

1.6 Digitalisierung: Energie wird smart und vernetzt 19

1.7 Demokratisierung: Energie betrifft Bürgerinnen und Bürger direkt 20

2 Umweltverträglich, wirtschaftlich, sicher, europäisch: Die Energiewendeziele 2030 konkret 21

3 Energiewende 2030: Wie sich Strom, Wärme und Verkehr neu erfinden 27

3.1 Strategien zur kosteneffizienten Transformation der Energiesektoren bis 2030 28

3.2 Stromwende 2030 30

3.3 Wärmewende 2030 32

3.4 Verkehrswende 2030 34

3.5 Alternative Entwicklungen sind möglich, mehr Forschung ist nötig 36

3.6 Infrastruktur 2030: Netze der Zukunf 38

Inhalt

4 Was kostet die Energiewende? 41

5 Was jetzt zu tun ist: Zehn Punkte für eine Agenda Energiewende 2030 47

5.1 Energiewenderahmen 2030:
Verlässlichkeit und Planungssicherheit 48

5.2 Europa 2030:
Eine europäische Energiewende 50

5.3 Effizienz 2030:
Efficiency First als Leitprinzip 52

5.4 Erneuerbare Energien 2030:
Mit Wind und Solar die Erneuerbaren Energien verdoppeln 54

5.5 Fossile Energien 2030:
Kohle und Erdöl halbieren, PtG und PtL einführen 56

5.6 Abgaben und Umlagen 2030:
CO_2 endlich angemessen bepreisen 58

5.7 Netze 2030:
Strom-, Wärme- und Verkehrsnetze ausbauen und modernisieren 60

5.8 Strommarkt 2030:
Digitalisierung, Flexibilität, verlässlicher Investitionsrahmen 62

5.9 Industrie 2030:
Die Energiewende als industriepolitisches Projekt organisieren 64

5.10 Gemeinschaftswerk 2030:
Mit der Energiewende das Gemeinwesen stärken 66

Fazit 67

Anhang 71

Literaturverzeichnis 76

Einleitung

Die Energiewende ist spätestens seit 2015 politisch und ökonomisch weltweit auf dem Vormarsch. So haben im Juni 2015 die Staats- und Regierungschefs der G7 in Elmau eine Dekarbonisierung der Weltwirtschaft bis Ende des Jahrhunderts gefordert. Und auf der Weltklimakonferenz in Paris im Dezember 2015 haben 197 Staaten das Ziel formuliert, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius zu begrenzen. Beide Beschlüsse laufen letztlich darauf hinaus, die Energiewirtschaft unabhängig zu machen von Kohle, Öl und Gas – und sie umzubauen in Richtung Erneuerbare Energien und Energieeffizienz.

Nun hat die neue US-Administration im Mai 2017 angekündigt, sich aus dem Weltklimaabkommen zurückziehen zu wollen. Hauptbegründung war, dass das Klimaabkommen der wirtschaftlichen Entwicklung der USA im Wege stehe. Die Kritik an dieser Entscheidung aus dem In- und Ausland war flächendeckend und hat Gegenreaktionen in vielen US-Bundesstaaten und Kommunen ausgelöst.

Hintergrund hierfür sind nicht nur Sorgen um das globale Klima, sondern auch wirtschaftspolitische Erwägungen. Denn die Kosten zentraler Energiewendetechnologien sind in den letzten Jahren stark gesunken. In vielen Teilen der Welt sind Wind und Solar heute die kostengünstigste Art, Strom zu erzeugen. In Deutschland, Europa und USA übertrifft die Zahl der Beschäftigten im Bereich der Erneuerbaren Energien bereits deutlich die der Beschäftigten in Kohle, Öl und Gas. Eine Zeitenwende kündigt sich an: War Klimapolitik in der Vergangenheit oft eine Debatte um die Verteilung von Lasten, geht es heute darum, welche Region den größten Anteil haben wird an dem global stetig steigenden Energiewende-Wachstumsmarkt.

Deutschland sieht sich bei Energiewende und Klimaschutz als Vorreiter. Doch um den Zukunftsmarkt der Energiewendetechnologien hat längst ein Wettlauf begonnen: So hat Kalifornien (für sich genommen die sechstgrößte Volkswirtschaft der Welt) jüngst beschlossen, die Stromversorgung bis 2030 zu 60 Prozent und bis 2045 zu 100 Prozent auf Erneuerbare Energien umzustellen – während in Deutschland bisher lediglich 80 Prozent als Zielmarke für 2050 gilt. China hat allein im Jahr 2016 mehr als 64 Gigawatt Erneuerbare Energien ans Netz gebracht – und damit so viel wie Deutschland in den vergangenen acht Jahren. Zudem gilt sowohl in Kalifornien als auch ab 2019 in China eine verpflichtende Quote für Elektroautos, um der inländischen Industrie auf Basis eines nationalen Marktes eine zentrale Rolle auf dem globalen Zukunftsmarkt der Elektromobilität zu sichern – während Deutschland eine klare Strategie für die Markteinführung der Elektromobilität vermissen lässt.

Vor diesem Hintergrund beschreibt das hier vorgelegte Impulspapier von Agora Energiewende die Ziele und Strategien für eine erfolgreiche zweite Phase der Energiewende bis zum Jahr 2030. Denn das Jahr 2030 stellt eine wichtige Wegmarke in der Energiewende dar: Bis dahin soll die Hälfte des noch verbleibenden Weges bis zu einer dekarbonisierten Energieversorgung im Jahr 2050 bewältigt sein.

Die Energiewende war bisher vor allem eine Stromwende. Die zweite Phase der Energiewende wird dadurch geprägt sein, dass zur Stromwende die Wärmewende und die Verkehrswende hinzukommen. Zudem werden die Erneuerbaren Energien nicht einfach nur, wie bisher, in das bestehende Energiesystem integriert werden, sondern im Stromsektor die Mehrheit übernehmen und damit das Energiesystem grundlegend transformieren.

Insgesamt geht es darum, die Energiewende in Deutschland zu einem Erfolg zu machen – sowohl in ökologischer Hinsicht als auch wirtschaftlich und als Gemeinschaftswerk. So kann Deutschland auch in der zweiten Phase der Energiewende Vorreiter bleiben und Lösungen für die anstehenden energiewirtschaftlichen Herausforderungen finden, die globale Strahlkraft besitzen.

1 Die sieben Ds der Energiewende: Diese Trends werden das Energiesystem prägen

Weltweit ändert sich die Basis der Energieversorgung. Inzwischen wird in den größten Märkten der Welt – USA, China und Europa – mehr in Erneuerbare-Energien-Kapazitäten investiert als in alle anderen Stromerzeugungstechnologien zusammen. Weltweit stammten 2015 etwa 60 Prozent der neu installierten Kraftwerksleistung aus Erneuerbaren Energien. Wind und Solar haben Kohle, Gas, Kernenergie und Öl als zentrale Energieträger der Zukunft abgelöst. Auch für Entwicklungsländer, die bisher unter andauernder Energiearmut leiden, öffnen sich neue Perspektiven. Die Energiewende ist binnen weniger Jahre zu einem weltumspannenden Phänomen geworden.

Einige übergeordnete Trends geben die Richtung vor, in die sich die Energiesysteme national wie international zukünftig bewegen. Die im Folgenden beschriebenen Megatrends der Energiewende sind physikalisch, gesellschaftlich, ökonomisch und durch neue technologische Entwicklungen bestimmt. Sie existieren weitgehend unabhängig von nationalen Energiepolitiken.

Jede Energiepolitik muss diesen Megatrends Rechnung tragen – und das vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung mit einem in der globalen Perspektive auf absehbare Zeit steigenden Energiebedarf. Megatrends bedeuten jedoch nicht, dass Energiepolitik verzichtbar wird. Sie bilden vielmehr die Grundlage, auf der jegliche Energiepolitik aufbaut. Um das Energieversorgungssystem entsprechend des energiepolitischen Zieldreiecks wirtschaftlich, versorgungssicher und umweltfreundlich auszugestalten, müssen diese Megatrends beachtet werden, um dann – auf ihnen aufbauend – kluge Politik zu formulieren.

Aus Sicht von Agora Energiewende sind derzeit sieben Megatrends der globalen Energiewende erkennbar – sie verbindet jeweils der Buchstabe D. Die sieben Ds, die wir als maßgeblich identifiziert haben, lauten:

1. **Degression der Kosten:** Wind, Solar und Batterien werden immer günstiger.
2. **Dekarbonisierung:** Der Klimawandel beschleunigt sich und zwingt zum Handeln.
3. **Deflation der Energiepreise:** Kohle, Öl und Gas bleiben billig, werden aber volatiler.
4. **Dominanz der Fixkosten:** Die Energiewelt der Zukunft hat geringe Betriebskosten.
5. **Dezentralität:** Die Struktur des neuen Energiesystems ist viel dezentraler.
6. **Digitalisierung:** Energie wird smart und vernetzt.
7. **Demokratisierung:** Energie betrifft Bürgerinnen und Bürger direkt.

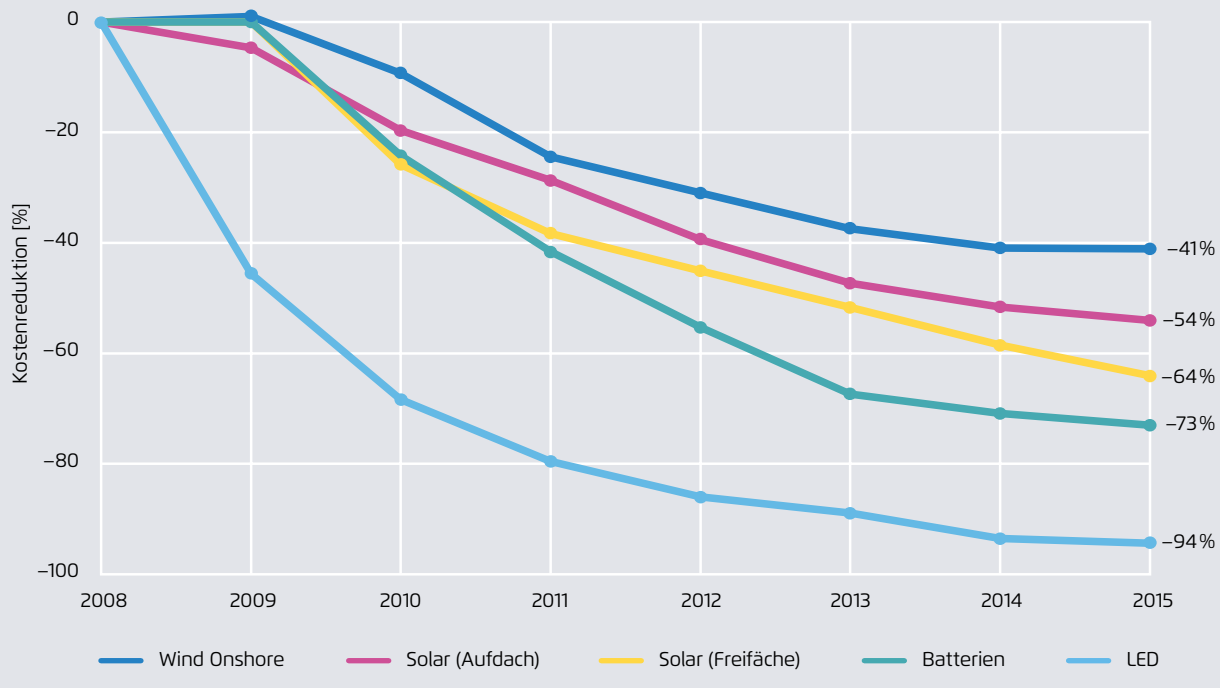
Es ist keineswegs auszuschließen, dass in Zukunft weitere übergeordnete Entwicklungen hinzukommen, die sich heute noch nicht abzeichnen. Für die Gestaltung der Energiepolitik in den kommenden Jahren dürften diese sieben Trends dennoch die Grundlage bilden, die jegliche Politik zu beachten hat.

1.1 Degression der Kosten: Wind, Solar und Batterien werden immer günstiger

Strom aus Wind- und Solaranlagen ist in den vergangenen Jahren drastisch günstiger geworden. In immer mehr Regionen der Erde kostet er bereits weniger als Strom aus neu errichteten Kohle-, Gas- oder Kernkraftwerken. Im Jahr 2016 haben neue Erneuerbare-Energien-Projekte bis dato nicht für möglich gehaltene Tiefstpreisrekorde aufgestellt: 5,0 Cent je Kilowattstunde für Strom aus Offshore-Windkraft in Dänemark, 2,7 Cent je Kilowattstunde für Strom aus Onshore-Windkraft in Marokko und 2,6 Cent je Kilowattstunde für Solarstrom in Chile. Dies gilt auch für Deutschland. Ausschreibungen für Onshore-Windkraft, Offshore-Windkraft und Solarenergie erbrachten Anfang 2017 Ergebnisse von nur noch 5 bis 6 Cent je Kilowattstunde.[1] Eine vergleichbare Kostendegression findet auch bei Batterien statt. Die Kosten von Lithium-Ionen-Akkus sind in den vergangenen sechs Jahren um über 70 Prozent auf inzwischen 200 Euro je Kilowattstunde gesunken. Die Folge: Elektroautos werden reif für den Massenmarkt, Solar- und Windanlagen werden mit Speichern kombiniert.

Weitere Kostensenkungen dieser Schlüsseltechnologien bis 2030 sind schon heute absehbar. Das Bild ändert sich auch dann nicht grundsätzlich, wenn die mit Wind- und Solarstrom einhergehenden Integrationskosten für Stromnetze oder Back-up-Kraftwerke einkalkuliert werden.[2] Eine auf Wind- und Solarstrom basierende Energiewelt steht somit unmittelbar bevor.

Die Kosten von den wichtigsten Energiewendetechnologien sind seit 2008 deutlich gesunken, Wind und Solar sind wettbewerbsfähig — Abbildung 1



Department of Energy (2016)

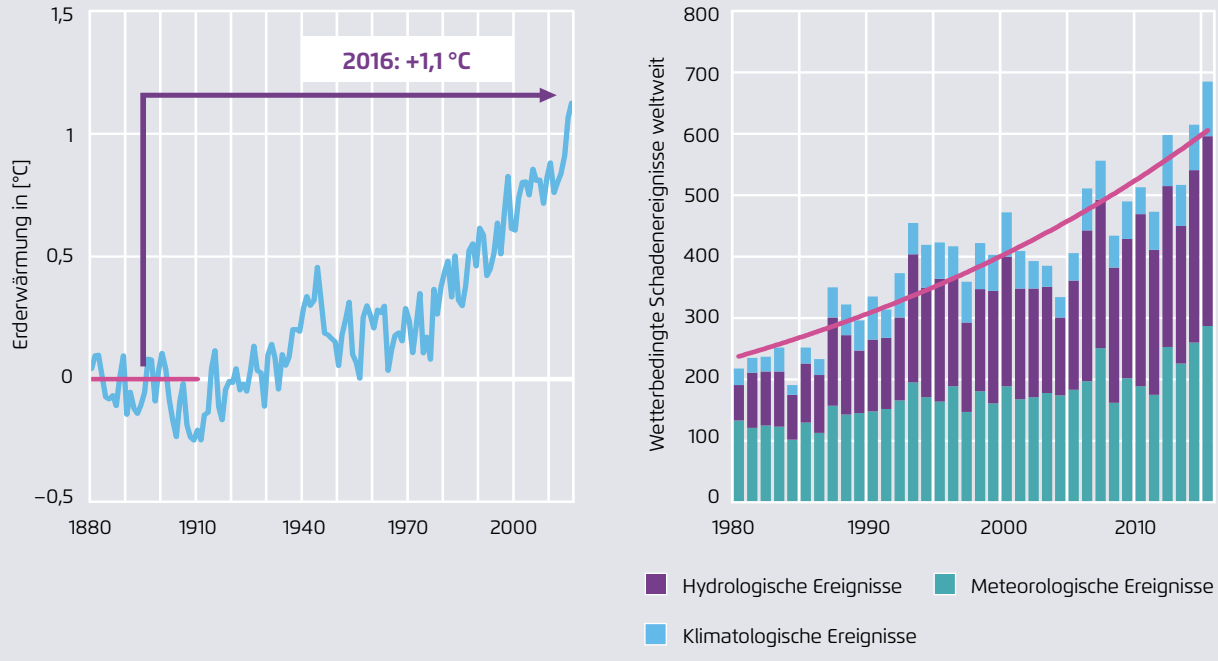
1.2 Dekarbonisierung: Der Klimawandel beschleunigt sich und zwingt zum Handeln

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist Realität. 2014, 2015 und 2016 waren jeweils die heißesten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen; 16 der 17 heißesten Jahre fallen in die Periode seit der Jahrtausendwende. Die Erde ist schon jetzt 1,1 Grad Celsius heißer als vor Beginn der Industrialisierung.[3] Hauptursache ist die aufgrund der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas stetig steigende Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre.

Die Folgen sind schon jetzt zu beobachten. Bei einem fortschreitenden Klimawandel drohen ein Anstieg des Meeresspiegels, zunehmende Wetterextreme, Wassermangel, ein Aussterben vieler Tier- und Pflanzenarten, vermehrte regionale Ernährungskrisen – und in der Folge Armut sowie zunehmende Migration und Flucht.

Diese realen Effekte zwingen zum Handeln. Auf der Weltklimakonferenz in Paris 2015 hat sich die Staatengemeinschaft verpflichtet, die Erderwärmung auf 2 Grad zu begrenzen. Unabhängig von einer oft wechselhaften Tagespolitik, wenn es um die Umsetzung des Abkommens geht, gilt: Je öfter wetterbedingte Schadensereignisse auftreten, desto stärker drängt dies den Klimaschutz auf die politische Tagesordnung. Die Folge: Jegliche Energiepolitik findet heute und auf absehbare Zukunft vor der Herausforderung der Dekarbonisierung statt.

Der Klimawandel ist real: Seit 1970 steigt die Erderwärmung deutlich an, seit 1980 haben sich die Extremwetterereignisse verdreifacht — Abbildung 2



Als klimatologische Ereignisse werden Wirbelstürme, Unwetter und Gewitter bezeichnet, als hydrologische Ereignisse Überschwemmungen, Erdrutsche, Lawinen und Steinschläge, als meteorologische Ereignisse Dürren und Hitzeperioden.
MunichRE (2016), WMO (2017)

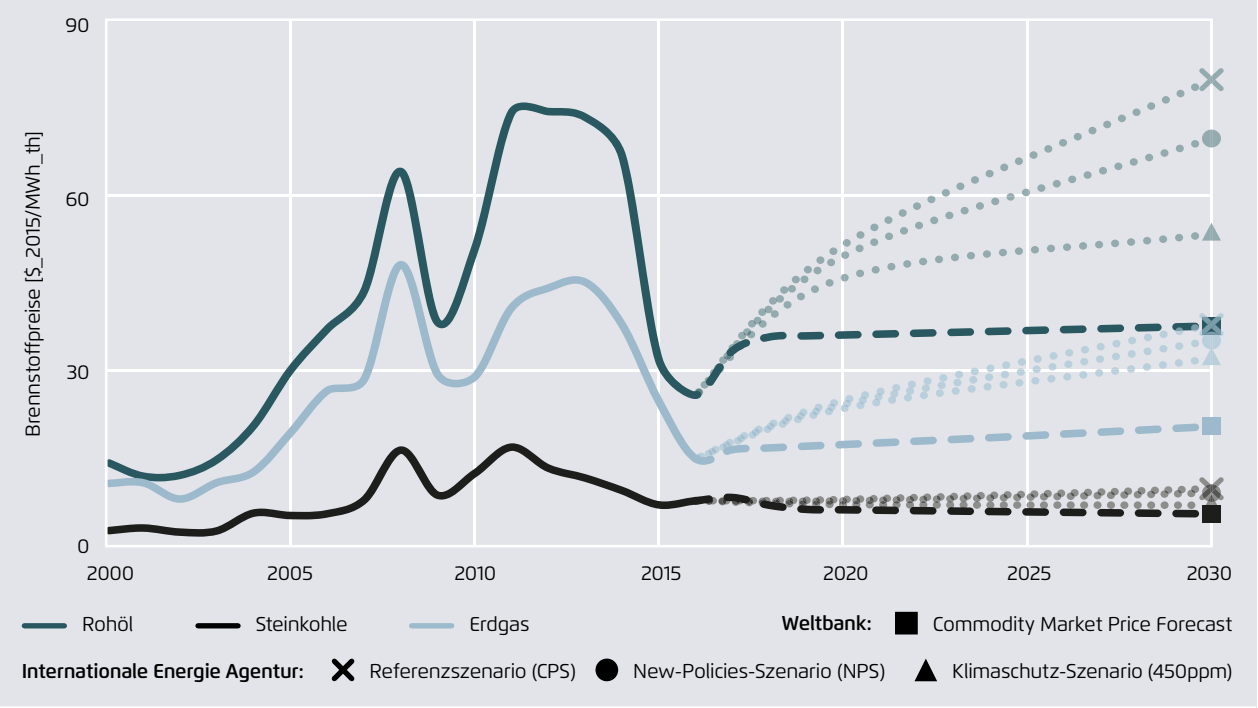
1.3 Deflation der Energiepreise: Kohle, Öl und Gas bleiben billig, werden aber volatiler

Jahrzehntelang galt als ausgemacht, dass die fossilen Energieträger infolge ihrer Verknappung immer teurer werden. Dieser Trend ist seit 2014 gebrochen. Insbesondere Öl und Kohle kosteten 2016 auf den Weltmärkten deutlich weniger als in den zehn Jahren zuvor. Drei Gründe sprechen dafür, dass die früher erwarteten Preissteigerungen bei Kohle, Öl und Erdgas nie mehr eintreten werden:

- Die Förderkosten bei Schieferöl und Schiefergas, die in den vergangenen Jahren durch Fracking erheblich gesunkenen sind, bilden de facto die neue Preisobergrenze für Erdöl und Erdgas. Früher markierten hingegen die teuren Vorkommen in der Tiefsee diese Obergrenze.
- Die weiter sinkenden Kosten für Wind- und Solarenergieanlagen wirken ebenfalls wie eine Preisobergrenze für Kohle und Erdgas. Um mit Wind- und Solarstrom konkurrieren zu können, dürfen Kohle und Gas frei Kraftwerk nicht zu teuer werden.
- Fossile Rohstoffe sind nicht knapp, sondern im Gegenteil im Überfluss verfügbar. Denn das Zwei-Grad-Klimaschutzziel bedeutet, dass sehr große Anteile der fossilen Reserven unter der Erde bleiben müssen (Kohle: 80 Prozent, Gas: 50 Prozent, Öl: 30 Prozent).[4]

Die Entwicklung schließt kurzfristige Preisausschläge der fossilen Brennstoffpreise nicht aus. Solche Preisausschläge sind jedoch nicht von Dauer.

Während die IEA weiterhin steigende fossile Rohstoffpreise erwartet, dürfte die Realität sich eher an den Weltbank-Prognosen orientieren — Abbildung 3



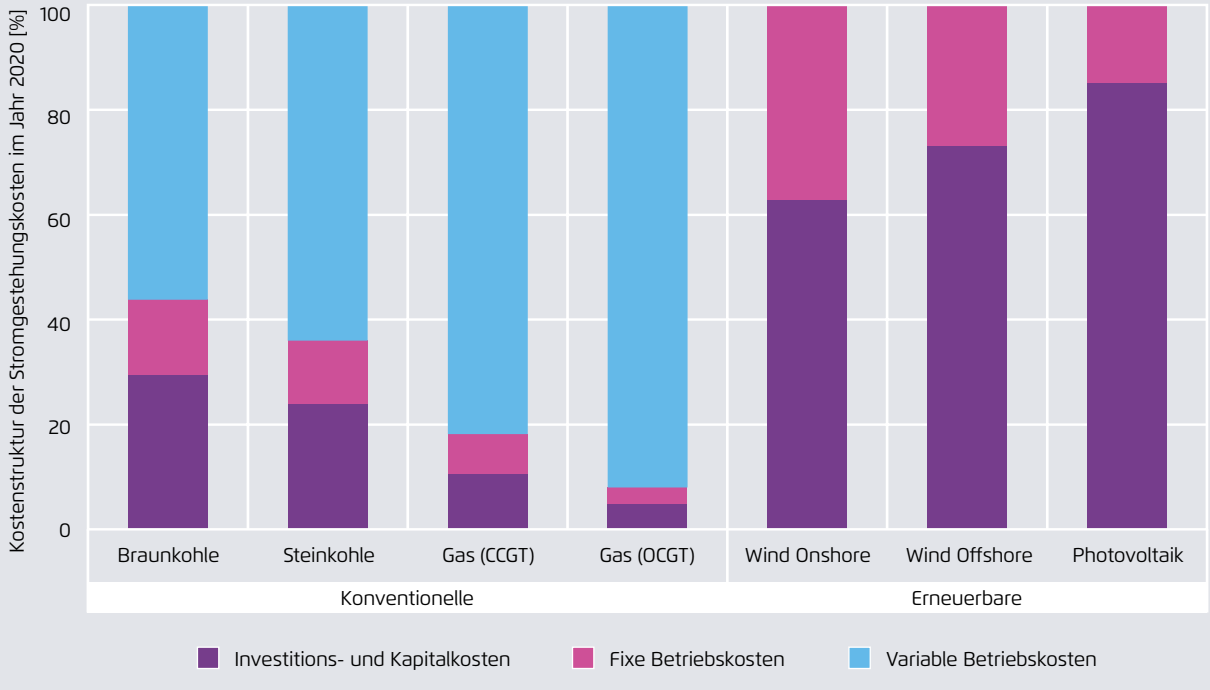
IEA (2016), World Bank (2017a), World Bank (2017b)

1.4 Dominanz der Fixkosten: Die Energiewelt der Zukunft hat geringe Betriebskosten

Der Systemwechsel hin zu Erneuerbaren Energien verändert fundamental die Kostenstruktur der Energiesysteme: Erneuerbare Energien auf Basis von Sonnen-, Wind- und Wasserkraft zeichnen sich durch einen hohen Fixkostenanteil[5] aus – und durch sehr geringe variable Betriebskosten. Vergleichbares gilt auch für andere Kernelemente des neuen Energiesystems, beispielsweise für Energiespeicher und Effizienztechnologien und natürlich für die Stromnetze. Die Entwicklung bedeutet einen tief greifenden Paradigmenwechsel, da die bisherige, von fossilen Brennstoffen geprägte Struktur der Energiewirtschaft gekennzeichnet ist durch einen relativ hohen variablen Betriebskostenanteil: Kohle- und Gaskraftwerke haben 50 Prozent oder mehr variable Kosten, vor allem für den Kauf der Brennstoffe und CO_2-Zertifikate. Finanzierungs- und Strommarktstrukturen waren bisher darauf ausgerichtet, dass die hohen Betriebskosten der letzten zum Einsatz kommenden Kraftwerke dafür sorgten, dass die anderen Kraftwerke ihre Betriebs-, Kapital- und Investitionskosten refinanzieren konnten.

Im neuen Stromsystem liegen die variablen Kosten einmal installierter Anlagen oft nahe null. Neben den Standortfaktoren des Wind- und Sonnenangebots entscheiden so vor allem die Investitions- und Kapitalkosten über die Kosten der Stromerzeugung.

Die Kostenstruktur Erneuerbarer Energien ist durch einen hohen Fixkostenanteil gekennzeichnet — Abbildung 4



Variable Betriebskosten sind v.a. Kosten für Brennstoffe und CO_2-Ausstoß, fixe Betriebskosten v.a. Personal, Wartung und Instandhaltung
Eigene Berechnungen auf Basis von IEA/NEA (2015)

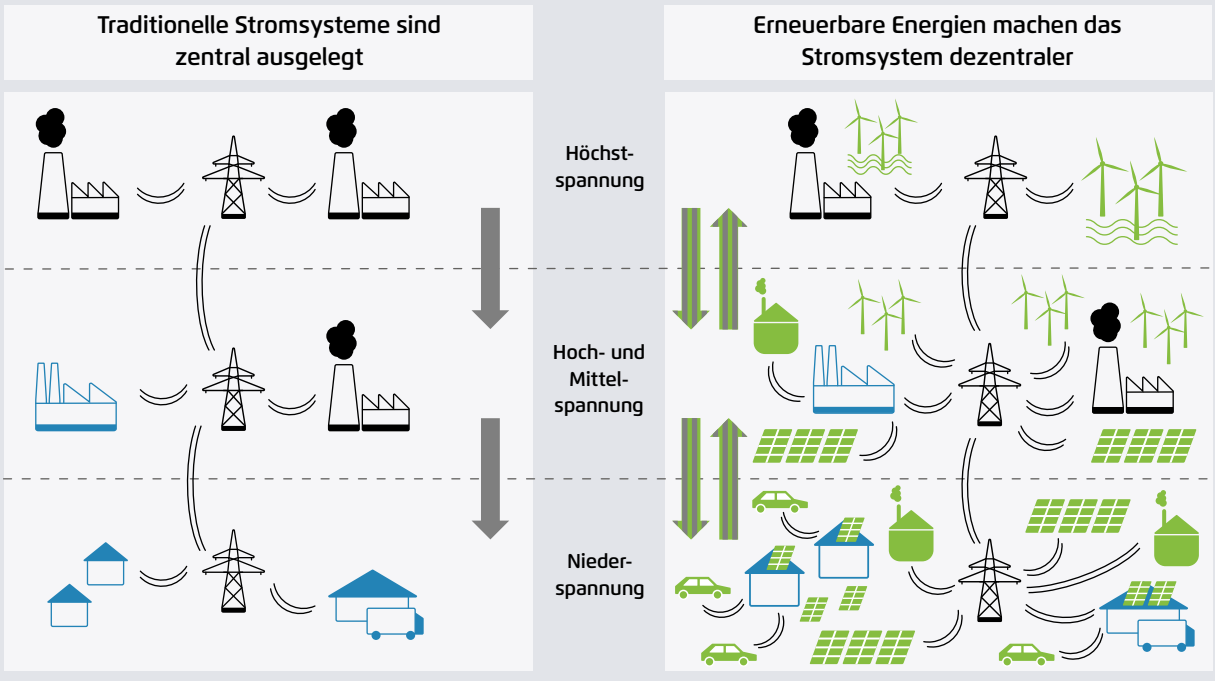
1.5 Dezentralität: Die Struktur des neuen Energiesystems ist viel dezentraler

Ein Energiesystem auf Basis von Erneuerbaren Energien tendiert zu Dezentralität und Kleinteiligkeit. Grund für diese dezentralere Prägung ist, dass Sonnen- und Windenergie weniger konzentriert anfallen als die Energiegewinnung aus Kohle, Öl und Gas. Die Stromproduktion verteilt sich daher über eine größere Fläche.[6]

Die neuen Technologien verändern die traditionelle Rollenverteilung im Energiesystem. Früher haben wenige Großkraftwerke via Übertragungs- und Verteilnetze den Strom zu den Verbrauchern transportiert. Auch Wärme- und Gasnetze kannten nur wenige Einspeiser. Heute erzeugen Millionen von kleinen und großen Erneuerbare-Energien-Anlagen auf allen Netzebenen Strom, teilweise um ihn als *Prosumer* vor Ort zu verbrauchen. Auch bei Wärme- und Gasnetzen ist eine vielfältige Einspeisestruktur das Zukunftsmodell.[7]

Die Skaleneffekte großer Kraftwerksblöcke im alten System werden ersetzt durch Skaleneffekte der Massenproduktion bei Erneuerbaren Energien, Speichern und Motoren. Diesem grundlegend veränderten energiewirtschaftlichen Umfeld entsteht daher bei Strom, Wärme und Verkehr eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle mit einer Vielzahl neuer Akteure.

Das Stromsystem wandelt sich von einem Einbahnstraßensystem hin zu einem dezentralen und vernetzen Geflecht — Abbildung 5



Eigene Darstellung

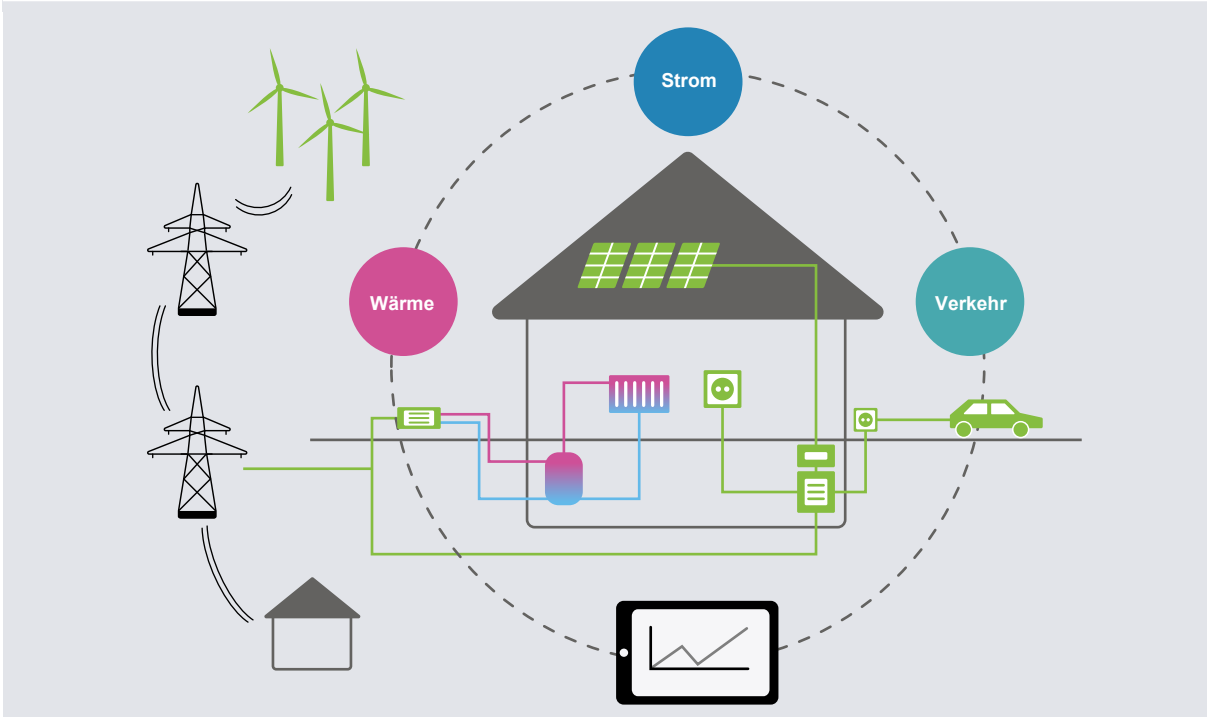
1.6 Digitalisierung: Energie wird smart und vernetzt

Die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien revolutionieren auch die Energie- und Verkehrsindustrie. Durch das Vernetzen von Erzeugung und Verbrauch in Echtzeit sind sie *Enabler* für die Umstellung des Energiesystems auf eine kleinteilige und volatile Stromerzeugung. So ermöglicht es die Digitalisierung, ein zuverlässiges, von Sonnen- und Windenergie geprägtes künftiges Energiesystem aufzubauen.

Digitalisierung und die auf ihrer Basis mögliche Echtzeitverarbeitung gewaltiger Datenmengen machen die Nutzung von Strom, Wärme und Verkehr intelligenter und flexibler. So kann in Zukunft in Echtzeit Strom gehandelt werden, Mobilitätsdienstleistungen können kurzfristig mit unterschiedlichsten Transportmitteln gebucht werden und der Wärmebedarf kann je nach Bedürfnis flexibel angepasst werden.

Zentrale Geschäftsmodelle werden auf der Digitalisierung aufbauen. Hierzu gehört die Makrosteuerung einer Vielzahl von Erzeugern und Verbrauchern, aber auch die Mikrooptimierung des Einfamilienhauses beim Einsatz von Solardachanlage, Heizungssystem und Stromspeicher sowie beim Laden des E-Autos. Nicht mehr im Verkauf von Kilowattstunden oder Autos, sondern in *Smart Markets, Smart Home* und *Smart Mobility* liegen die wichtigsten Wertschöpfungselemente der neuen Energiewelt. Der angemessene Schutz dieser persönlichen Energiedaten wird dabei eine große Rolle spielen.

Die Digitalisierung ermöglicht die enge Vernetzung von Strom, Wärme und Verkehr — Abbildung 6



Eigene Darstellung

1.7 Demokratisierung: Energie betrifft Bürgerinnen und Bürger direkt

Strom kommt nicht länger einfach aus der Steckdose. Solaranlagen, Blockheizkraftwerke, Batterie- und Wärmespeicher eröffnen Millionen Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit, große Teile ihrer genutzten Energie selbst zu erzeugen. Der Strom kommt also auch *in* die Steckdose – aus Verbrauchern werden *Prosumer*. Zudem gibt es in immer mehr Regionen das politische Interesse, Strom vor Ort zu erzeugen und so Wertschöpfung in der Region zu behalten.

Gleichzeitig ist die Energiewende auch ein umfassendes Infrastrukturprojekt, das einhergeht mit erheblichen Eingriffen in das Lebensumfeld vieler Menschen, zum Beispiel durch Veränderungen traditioneller Kulturlandschaften. Mit Windenergie- und Solaranlagen, neuen Stromtrassen oder Nutzungsänderungen in der Landwirtschaft rückt das neue Energiesystem näher an die Bürgerinnen und Bürger. Besonders betroffen ist der ländliche Raum. Insgesamt nimmt die Interaktion zwischen Energiesystem und Bevölkerung zu.

Als Folge der flächigen Allgegenwart des neuen Energiesystems, aber auch aufgrund eines gewachsenen politischen Selbstbewusstseins melden viele Bürgerinnen und Bürger immer eindringlicher Mitspracherechte an. Im Rahmen der Planung und Umsetzung der neuen Energieinfrastruktur werden Proteste laut, gleichzeitig vertreten Bürgerenergiegenossenschaften und lokale Energie-und Verkehrsaktivisten aktiv einen Gestaltungsanspruch. Die Folge: Energie- und Verkehrspolitik können nicht länger *top-down* gemacht werden.

Der Mitbestimmungsbedarf von Bürgerinnen und Bürgern wächst zunehmend — Abbildung 7



Bündnis Bürgerenergie e.V. (Jörg Farys), Ende Gelände, Boris Roessler/dpa, Nicolas Armer/dpa

2 Umweltverträglich, wirtschaftlich, sicher, europäisch: Die Energiewendeziele 2030 konkret

Die Energiewende ist dann erfolgreich, wenn sowohl Ökologie als auch Ökonomie von ihr profitieren; zudem muss die Versorgungssicherheit mit Energie während der Transformation und auch nach ihrem Vollzug auf einem hohen Niveau gewährleistet bleiben. Das ist das klassische Zieldreieck der Energiepolitik. Hinzu kommt noch eine vierte Dimension – die europäische Einbindung. Denn Deutschland hat, als ein in der Mitte Europas gelegenes Land, so viele Strom- und Gasleitungen zu Nachbarländern wie kein anderes in Europa. Deutschland ist daher eng mit der Energiepolitik seiner Nachbarn verbunden.

Deshalb müssen die politischen Rahmenbedingungen in den Legislaturperioden bis 2030 so gestaltet werden, dass Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit gemeinsam mit den Nachbarländern dauerhaft sichergestellt werden – in einem Energiesystem, das immer stärker auf Energieeffizienz, Erneuerbaren Energien und Flexibilität basiert.

Damit die abstrakten Ziele in konkrete Politik münden können, gilt es, die Energiewendeziele für das Zwischenzieljahr 2030 zu konkretisieren. Dabei sollten, wo immer möglich, quantifizierte Indikatoren verwendet werden. Im Folgenden werden hierzu konkrete Vorschläge gemacht.

Perspektive 2030: Die Ziele der Energiewende konkret – der Agora-Energiewende-Vorschlag

Umweltverträglichkeit	→ Die Treibhausgasemissionen der Energiesektoren liegen 2030 insgesamt etwa 60 % unter dem Niveau von 1990. Die Emissionen des Stromsektors werden maximal 166 Mio t, des Wärmesektors maximal 175 Mio. t und im Verkehr maximal 98 Mio. t CO_2 betragen. → Der Ausbau der Erneuerbaren und die Rekultivierung der Braunkohlengruben erfolgen im Einklang mit naturschutzfachlichen Grundsätzen.
Wirtschaftlichkeit	→ Die Energiestückkosten in der Industrie und der Energieanteil an den privaten Konsumausgaben liegen dauerhaft unter einem Anteil von 10 %. → Private Haushalte mit geringem Einkommen und die energieintensive Industrie erhalten darüber hinaus besondere Ausgleichsregelungen.
Versorgungssicherheit	→ Die Importquote für den Gesamtprimärenergieeinsatz (Kohle, Öl, Gas, Erneuerbare) sinkt 2030 auf unter 60 %. → Der Stromausfallindex SAIDI verbleibt dauerhaft unter 20 Minuten pro Jahr.
Europäische Einbindung	→ Die Engpässe bei den Strom-, Gas-, und Verkehrsnetzen an den Außengrenzen werden reduziert. → Bei Versorgungssicherheit, Ausbau Erneuerbarer Energien und Strommarktdesign gibt es eine enge Kooperation Deutschlands mit den Nachbarn.

Eine umweltverträgliche Energiewende 2030

Die Konkretisierung des Ziels der Umweltverträglichkeit für 2030 fokussiert sich auf die bereits beschlossenen Klimaschutzziele. So haben Bundestag und Bundesregierung festgelegt, dass Deutschland seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent unter das Niveau von 1990 reduzieren soll, bis 2040 um mindestens 70 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent. Um innerhalb des klimapolitischen Zielkorridors für 2050 flexibel zu bleiben, also je nach den künftigen Notwendigkeiten sowohl seinen unteren als auch seinen oberen Rand ansteuern zu können, ist es sinnvoll, die Transformationsstrategie bis 2030 entlang eines mittleren Reduktionspfads von minus 87,5 Prozent bis 2050 zu konzipieren.

Der Beitrag der Energiesektoren zum Gesamtklimaschutzziel wird dabei größer ausfallen als der Durchschnittswert. Denn in den Sektoren Industrie und Landwirtschaft entstehen erhebliche prozessbedingte Emissionen, für die in der absehbaren Zukunft nur begrenzt kostengünstige Vermeidungstechnologien zur Verfügung stehen. In einem aus heutiger Sicht anspruchsvollen Szenario können Industrie und Landwirtschaft ihre Emissionen bis 2050 um 60 Prozent gegenüber 1990 reduzieren.[8] Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die energiebedingten Treibhausgasemissionen bis 2050 um mindestens 92 Prozent sinken, wobei die verbleibenden Restemissionen in den Energiesektoren zu großen Teilen von der Müllverbrennung und von flüchtigen Emissionen beansprucht werden.

De facto heißt also ein mittlerer Klimareduktionspfad von minus 87,5 Prozent bis 2050, dass Strom, Wärme *und* Verkehr bis 2050 fast vollständig dekarbonisiert sind. Für das Zwischenziel 2030 bedeutet dies eine Reduktion der energiebedingten Emissionen um etwa 60 Prozent bis 2030 als Beitrag zum Minus-55-Prozent-Gesamtziel Deutschlands. Dieser Wert entspricht den 2030-Sektorzielen wie sie im von der Bundesregierung im November 2016 beschlossenen *Klimaschutzplan 2050* formuliert sind.[9]

Diese Ziele sind nur durch den massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien erreichbar. Damit nicht nur Klimaschutz, sondern auch Umwelt- und Naturverträglichkeit gewahrt werden, muss dieser Ausbau im Einklang mit naturschutzfachlichen Prinzipien erfolgen. Dies gilt für die Planung von Onshore- und Offshore-Windparks sowie insbesondere für die Nutzung von Biomasse, wo aus Gründen der Artenvielfalt statt Maismonokulturen auch alternative Pflanzen zum Einsatz kommen sollten. Darüber hinaus entstehen durch die Rekultivierung der nicht mehr genutzten Braunkohlentagebaue neue naturschutzfachliche Herausforderungen. Die bestehende Naturschutzgesetzgebung bietet hierfür einen geeigneten Rahmen, der jeweils vor Ort konkret ausgefüllt werden muss.

Eine wirtschaftliche Energiewende 2030

Um die Transformation des Energiesystems für alle Verbrauchergruppen – also für die Privathaushalte ebenso wie für die Wirtschaft – tragbar und das heißt vor allem auch bezahlbar zu gestalten, ist ihre volkswirtschaftliche Optimierung ein zentrales Ziel. Die privaten Haushalte sollen, bezogen auf die verfügbaren Einkommen, nicht stärker belastet werden als in der Vergangenheit. Für die deutsche Industrie müssen die transformationsbedingten Kosten auf ein Maß begrenzt bleiben, das ihre Wettbewerbsfähigkeit nicht gefährdet. Deutschland bleibt mit der und durch die Energiewende ein Land, dessen wirtschaftliche Stärke sich aus seiner hochentwickelten Industrie ableitet.

Eine wettbewerbliche und europäische Ausrichtung der Energiemärkte bleibt deshalb unverzichtbarer Teil des Zielkatalogs der Energiewende. Schritte in die richtige Richtung sind die Fokussierung der Energiewende auf die kostengünstigsten Erneuerbaren Energien – Windkraft und Solarenergie –, die Umstellung des Finanzierungssystems für Erneuerbare auf Ausschreibungen sowie die Stärkung des Strommarkts. Im Zuge des weiteren Ausbaus von Windkraft

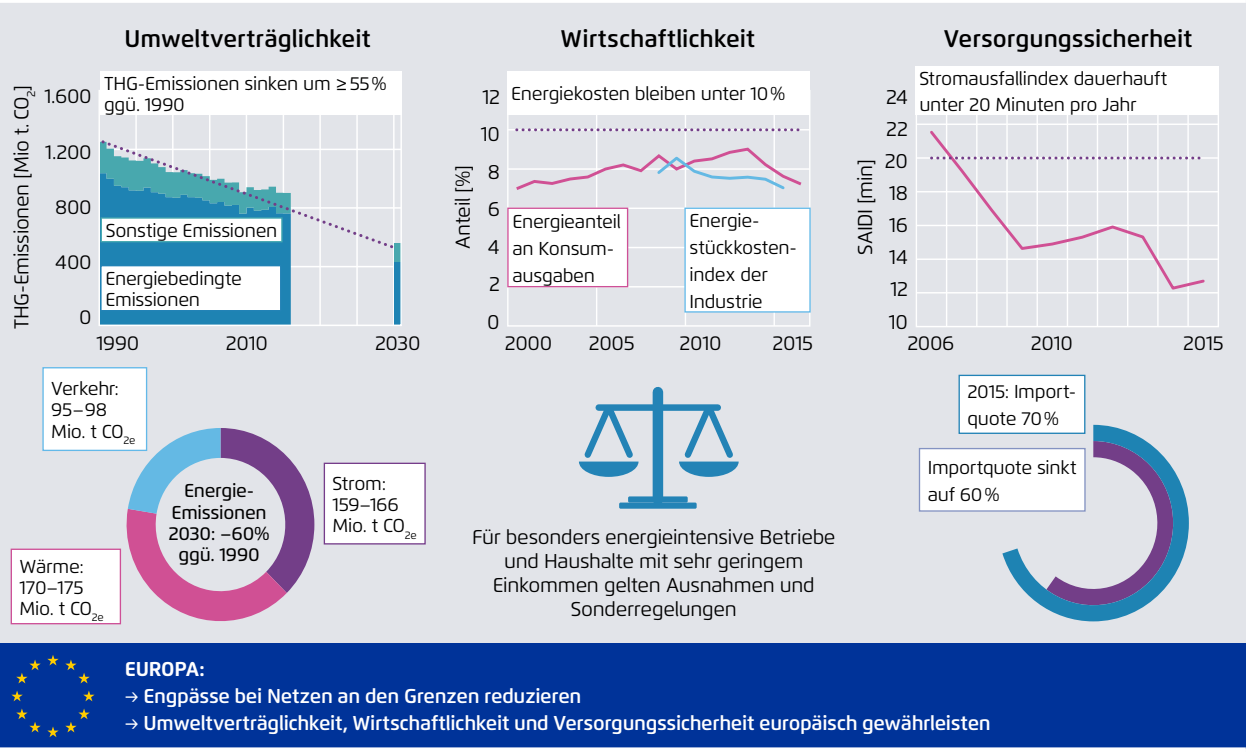
und Solarenergie steigt der Flexibilitätsbedarf des Stromsystems weiter an. Damit dieser kosteneffizient gedeckt wird, braucht es einen diskriminierungsfreien Wettbewerb zwischen allen verfügbaren Flexibilitätsoptionen: Stromhandel mit den europäischen Nachbarn, flexible Kraftwerke, Speicher, Lastmanagement, *Power-to-X,* Sektorkopplung. Eine einseitige Bevorzugung einzelner Technologien ist nicht sinnvoll, vielmehr soll der Markt sein Entdeckungspotenzial entfalten. Der Stromnetzausbau, auch grenzüberschreitend, ist dabei eine wesentliche Grundlage für den Markt. Er muss sich jedoch in seiner Dimensionierung im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse in ein Gesamtoptimierungskonzept einfügen.

Für die Zukunft wird es notwendig sein, die Kosteneffizienz dynamisch zu betrachten, das heißt, die Kosten über die Zeit zu minimieren. *Stranded Assets,* das heißt Investitionen in fossile Technologien, deren Abschreibungszeiten nicht mit den Klimazielen vereinbar sind (zum Beispiel weil sie über 2050 hinaus reichen), sollten vermieden werden, da sonst hohe volkswirtschaftliche Verluste drohen.

Energiekosten sind das Produkt aus Energiepreis und Energieverbrauch. Einer verbesserten Energieeffizienz kommt deshalb eine Schlüsselrolle zu. Fortschritte bei der Energieeffizienz senken nicht nur die Gesamtkosten des Energiesystems, sie stärken zugleich die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts. Da nach wie vor kostengünstige Effizienzoptionen, gerade auch in der Industrie, nicht ausgeschöpft sind, liegt hier ein großes Potenzial, um die Energiewende wirtschaftlicher und kostengünstiger auszugestalten.

Konkret bedeutet eine wirtschaftliche Energiewende 2030 daher, dass private und industrielle Verbraucher auch im Jahr 2030 keine wesentlich höhere

Die Ziele der Energiewende 2030 konkret: Der Agora-Energiewende-Vorschlag — Abbildung 8



Eigene Darstellung nach BMWi (2017), BMUB (2016), Destatis (2016a), Expertenkommission zum Monitoringbericht „Energie der Zukunft" (2016)

Energiekostenbelastung tragen sollten, als sie bisher zu tragen hatten. Der bisherige Maximalwert des Anteils der Energiekosten an den Konsumausgaben der privaten Verbraucher betrug 9 Prozent im Jahr 2013, im Jahr 2015 ging er auf 7,6 Prozent zurück.[10] Im Bereich der Industrie kann der Energiestückkostenindex, der von den Sachverständigen zum Monitoring der Energiewende ermittelt wird, als Indikator herangezogen werden. Er misst den Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung der Industrie und lag in den letzten Jahren bei etwa 8 Prozent.[11] Als Ziel für 2030 könnte insofern sowohl für Industrie als auch für Privathaushalte formuliert werden, dass die Ausgaben für Energie immer unter 10 Prozent der Bruttowertschöpfung beziehungsweise der Konsumausgaben liegen sollen.

Bei einer solchen Durchschnittsbetrachtung müssen spezifische Situationen unterschiedlicher Verbrauchergruppen berücksichtigt werden. Einerseits müssen etwaige Kostensteigerungen in Privathaushalten mit geringen Einkommen, die von jeher einen überdurchschnittlichen Energiekostenanteil an ihren Gesamtausgaben aufweisen, über gute Sozialpolitik begrenzt werden. Andererseits sind auch in Zukunft Ausnahmeregelungen für Teile der Industrie notwendig und sinnvoll, um die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland abzusichern. Ausnahmeregelungen dürfen jedoch nicht dem Ziel eines effizienten und flexiblen Energieverbrauchs in den begünstigten Sektoren entgegenwirken.

Eine versorgungssichere Energiewende 2030

Die zuverlässige Versorgung mit Energie hat für jede Volkswirtschaft höchste Priorität – insbesondere aber für einen im globalen Wettbewerb stehenden Industriestandort wie Deutschland. Seit Jahrzehnten nimmt Deutschland bei der Versorgungssicherheit im internationalen Vergleich einen Spitzenplatz ein. Dabei muss es bleiben. Die Aufgabe der Energiepolitik besteht darin, die Versorgungssicherheit im Wandel auf dem gewohnt hohen Standard zu halten und in Teilbereichen weiter zu verbessern, wie zum Beispiel bei der Abhängigkeit von Energieimporten aus Krisengebieten.

Im Jahr 2015 bezog Deutschland rund 70 Prozent seiner gesamten Primärenergie aus dem Ausland.[12] Durch den schrittweisen Ersatz von Kernenergie, Kohle, Öl und Gas durch mehr Energieeffizienz und Erneuerbare Energien nimmt die Abhängigkeit von Energieimporten aus bestehenden oder potenziellen Krisenregionen ab. Das entlastet nicht nur die nationale Energierechnung, sondern verlagert auch Wertschöpfung aus dem Ausland ins Inland.

Insbesondere das deutsche Stromsystem zeichnet sich aktuell durch hohe Zuverlässigkeit aus. Die Werte des Stromausfallindex SAIDI[13], das heißt die durchschnittlichen ungeplanten Stromausfallzeiten in den Verteilnetzen, haben sich während der ersten Phase der Energiewende weiter verbessert. 2015 erreichte er mit zwölf Minuten pro Jahr ein historisches Minimum.[14] Langfristiges Ziel muss es sein, die auch im Vergleich mit anderen Industrieländern herausragende Zuverlässigkeit der Stromversorgung dauerhaft zu wahren.[15]

Hierzu sind zwei Akteure in der Pflicht: die Übertragungsnetzbetreiber und die Politik. Die Übertragungsnetzbetreiber sind für die Systemsicherheit verantwortlich. Die Politik muss die Rahmenbedingungen im Energiewirtschaftsrecht mithilfe geeigneter Instrumente (zum Beispiel Kapazitätsreserven, Kapazitätsmärkte o. Ä.) so setzen, dass die Versorgungssicherheit jederzeit gewährleistet ist.[16]

Als Konkretisierung des Ziels Versorgungssicherheit für das Jahr 2030 kann somit formuliert werden, dass die Importabhängigkeit der Primärenergieträger (Kohle, Öl, Gas, Erneuerbare) auf unter 60 Prozent sinken soll und der Stromausfallindex SAIDI dauerhaft unter 20 Minuten Ausfallzeiten pro Kunde und Jahr verbleiben soll.

Eine europäisch eingebettete Energiewende 2030

Das klassische Zieldreieck der Energiewende – Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit – lässt sich durch europäische Kooperation besser und leichter erfüllen als durch rein nationale Maßnahmen. So gleichen sich wetterabhängige Wind- und Solarstromproduktion über die größere geografische Verteilung besser aus und gesicherte Leistung kann gemeinsam zur Versorgungssicherheit genutzt werden. Außerdem ist es möglich, verstärkt auf günstige Flexibilitätsoptionen wie Pumpspeicherkraftwerke oder Lastmanagement in Nachbarländern zuzugreifen. Deshalb steigert eine Kooperation mit den Nachbarländern nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Energiewende, sondern sorgt auch für ein höheres Maß an Versorgungssicherheit.[17]

Diese Vorteile gelten sowohl für Deutschland als auch umgekehrt für die Nachbarländer Deutschlands, denn die Energiewende ist im Jahr 2030 auch ein europäisches Projekt. So hat die Europäische Union klima- und energiepolitische Ziele für Europa für 2030 beschlossen: mindestens 40 Prozent Treibhausgasminderung gegenüber 1990, Steigerung der Energieeffizienz um mindestens 27 Prozent, Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien auf mindestens 27 Prozent am Gesamtenergieverbrauch.[18] Modellierungen zeigen, dass dies aufgrund geringer Erneuerbare-Energien-Potenziale im Wärme- und Verkehrssektor bedeutet, den Erneuerbaren-Anteil im Stromsektor Europas auf 50 Prozent zu steigern.[19] Gleichzeitig ist es das Ziel der EU, die Wettbewerbsfähigkeit Europas zu erhöhen und im Rahmen der Energieunion die Versorgungssicherheit dauerhaft zu gewährleisten, gerade mit Blick auf mögliche Importrisiken bei russischem Gas.

Für eine wirksame europäische Energiewende gilt es, die Integration der Energiesysteme über Ländergrenzen hinweg zu verstärken – und zwar auf drei Ebenen:

- **Bessere physikalische Integration:** Der weitere Ausbau von Grenzkuppelstellen im Strom-, Gas- und Schienennetz ist wichtig als Basis für den grenzüberschreitenden Energie-, Personen- und Gütertransport. Zur Steigerung von Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit sollten bei allen drei Netzen die Engpässe an Deutschlands Grenzen deutlich reduziert werden. So können etwa die Grenzkuppelstellen bei Strom bis 2030 um ein Viertel erhöht werden.
- **Bessere Integration der Märkte:** Die Strommärkte in Europa sind inzwischen miteinander gekoppelt, aber gerade bei den Kurzfristmärkten wie *Intraday*- und Regelenergiemärkten gelten oft unterschiedliche Regeln.[20] Bis 2030 sollten diese weitestmöglich angeglichen sein.
- **Kooperation auf politischer Ebene:** Grenzüberschreitende Kooperationen bei Erneuerbare-Energien-Ausschreibungen und Kapazitätsinstrumenten ermöglichen es beiden Seiten, Kosten zu senken. Zudem sollen die EU-Mitgliedsländer als Teil des neuen EU-2030-Energierahmens ihre mittel- und langfristigen Energiestrategien mit ihren Nachbarn abstimmen. Regionale Kooperationen, zum Beispiel in Zentralwesteuropa oder in der Ostseeregion, können hier wegbereitend sein.

Die europäische Einbettung der Energiewende bedeutet nicht, dass nationale Klima- und Energiepolitik überflüssig wird. Nationale Ziele und Politiken für Klimaschutz, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit, gerade auch im Stromsektor, bleiben hoch relevant, da nach europäischem Recht unter anderem die Frage des Energiemixes in die Zuständigkeit der Nationalstaaten fällt. Europäische Klima- und Energiepolitik, wie etwa beim EU-Emissionshandel, muss daher so organisiert werden, dass sie nationale Maßnahmen und regionale Kooperationen unterstützt. Ziel ist es, dass sich nationale und europäische Maßnahmen im Sinne eines klugen *Policy-Mixes* gegenseitig verstärken.

3 Energiewende 2030: Wie sich Strom, Wärme und Verkehr neu erfinden

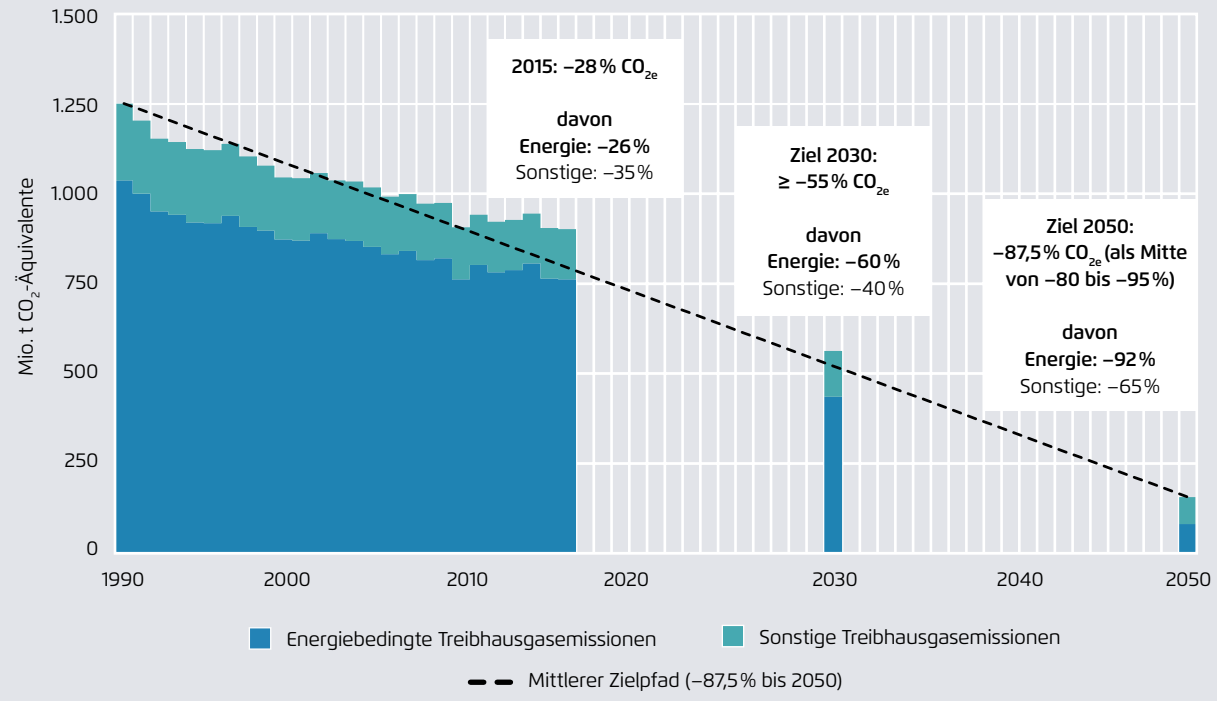
Das Jahr 2030 stellt eine wichtige Wegmarke in der Energiewende dar – als Mitte des noch zu gehenden Weges bis 2050. Denn als Teil eines mittleren Klimaschutzpfads werden die energiebedingten Emissionen bis 2050 auf minus 92 Prozent unter das Niveau von 1990 fallen müssen. Bis 2030 bedeutet das minus 60 Prozent – und 2015 sind erst minus 26 Prozent erreicht.

Dies beinhaltet eine tief greifende Transformation: Strom, Wärme und Verkehr erfinden sich neu. Statt weiter auf Kernenergie, Kohle, Erdöl und Erdgas zu setzen, stehen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien, allen voran Wind- und Solarenergie, im Zentrum des Energiesystems.

Die Energiewende 2030 bringt deutliche Veränderungen mit sich, aber keinen Komfortverlust. Im Gegenteil: Energetische Sanierung und Digitalisierung lassen Häuser zum richtigen Zeitpunkt warm oder klimatisiert sein. Städte sind leiser und sauberer infolge der gesunkenen Luftschadstoffe, die Elektromobilität und *Shared Mobility* mit sich bringen. Industrieanlagen sind effizienter und flexibler und profitieren von niedrigen Preisen bei hoher Wind- und Solarstromproduktion. Wie es gelingt, diese technologischen Innovationen zugunsten von Klima, Wirtschaft und Verbraucher tatsächlich zu realisieren, soll im Folgenden skizziert werden.

Bis 2030 sinken die energiebedingten Treibhausgasemissionen um 60 Prozent gegenüber 1990

Abbildung 9



Basisjahr der Minderungen ist jeweils 1990
UBA (2017), eigene Berechnungen auf Basis BMUB (2016), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015)

3.1 Strategien zur kosteneffizienten Transformation der Energiesektoren bis 2030

Deutschland hat im Jahr 2015 etwa 3.700 Terawattstunden Energie verbraucht. Während ein kleiner Teil stofflich genutzt wird,[21] wird der Großteil (93 Prozent) zur Energieerzeugung verwendet. Etwa 30 Prozent entfallen dabei auf Erdöl, 27 Prozent auf Kohle und 22 Prozent auf Erdgas. Erneuerbare Energien tragen 13 Prozent bei.[22] In puncto Emissionen ist die Rangfolge der Energieträger anders: Kohle trägt mit 42 Prozent am meisten zu den energiebedingten CO_2-Emissionen bei, gefolgt von Erdöl mit 33 Prozent und Erdgas mit 20 Prozent.[23]

Aufgrund von Umwandlungsverlusten werden letztlich rund 72 Prozent als Endenergie genutzt.[24] Rund die Hälfte der Endenergie wird dabei aktuell für Wärme, ein Drittel als Kraftstoff und ein Fünftel als Strom eingesetzt.[25] Aufgrund der starken Kohlenutzung ist der Stromsektor der Sektor mit den meisten Emissionen.

Drei Strategien bilden den Kern: Effizienz steigern, Erneuerbare Energien ausbauen und den Abschied von Kohle und Öl einleiten

Zahlreiche Studien haben in den vergangenen Jahren die Frage untersucht, mit welchen Strategien und Maßnahmen das Klimaschutzziel für 2030 so kosteneffizient wie möglich erreicht werden kann.[26] Die Studien weisen eine hohe Konvergenz auf – im Wesentlichen lassen sie sich auf drei Kernelemente zusammenfassen, die gemeinsam den Erfolg der Energiewende ermöglichen.

1. Steigerung der Energieeffizienz
In allen Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr) ist die Energieeffizienz ein Schlüssel zum Erfolg. Denn wollte man das Klimaziel erreichen, ohne massiv in Gebäudesanierung, effizienteren Stromverbrauch und Verkehrseffizienz zu investieren, wäre dies nicht nur deutlich teurer, sondern würde an Akzeptanzgrenzen stoßen, weil Zusatzanstrengungen bei Erneuerbaren Energien und Kohleausstieg notwendig werden würden. Insgesamt wird der Endenergieverbrauch zwischen 2015 und 2030 um rund 22 Prozent sinken; aufgrund geringerer Umwandlungsverluste sinkt der Primärenergieverbrauch sogar um rund 29 Prozent.[27]

2. Ausbau der Erneuerbaren Energien
Der Ausbau der Erneuerbarer Energien ist die zweite wichtige Säule der Energiewende. Bis 2030 soll der Anteil der Erneuerbaren am gesamten Primärenergieverbrauch auf etwa 31 Prozent mehr als verdoppelt werden. Er unterscheidet sich aber stark zwischen den Sektoren: Während im Stromsektor mit Wind- und Solarstrom große Potenziale kostengünstig zu heben sind, gilt dies für Heizstoffe nur noch teilweise (begrenzte Potenziale bei Solarthermie, Geothermie, Biomasse) und für Kraftstoffe fast gar nicht (keine Steigerung bei Biokraftstoffen der ersten Generation aufgrund der Nachhaltigkeitsprobleme, geringes Potenzial bei Biokraftstoffen der zweiten Generation). Die Konsequenz hieraus ist der verstärkte Einsatz von erneuerbar erzeugtem Strom im Wärme- und Verkehrssektor.

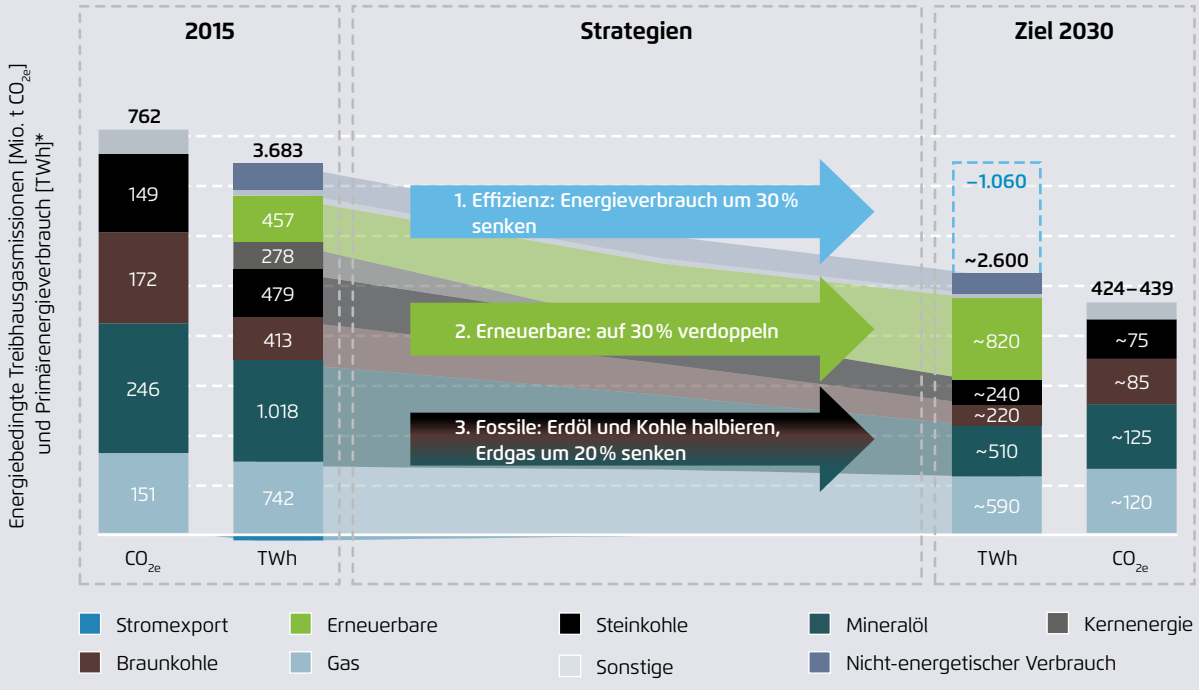
3. Minderungsfokus auf Kohle und Öl als CO_2-intensivste Energieträger
Als dritte Strategie wird in jedem der drei Energiesektoren primär jeweils der CO_2-intensivste Energieträger gemindert, da so pro reduzierter Kilowattstunde am meisten CO_2-Einsparung erfolgt. Dadurch wird der Kohlen- und Ölverbrauch bis 2030 gegenüber 2015 in etwa halbiert. Erdgas als der fossile Energieträger, der am wenigsten CO_2 ausstößt, wird bis 2030 nur geringfügig reduziert.

Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr 2030: Alles dreht sich um die effiziente Nutzung von Wind- und Solarstrom

Die Folge dieser drei Strategien ist die verstärkte Sektorkopplung. Zusätzlich zu Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und dem bestehenden Schienenverkehr wird jetzt erneuerbar produzierter Strom im Wärme- und Verkehrssektor immer stärker zum Einsatz kommen. In direkter Form durch einen zunehmenden Einsatz von Wärmepumpen und *Power-to-Heat*-Anlagen beziehungsweise Elektroautos, Schienenverkehr oder Oberleitungs-Lkws oder indirekt durch den Einsatz von strombasierten Heiz- und Kraftstoffen wie Wasserstoff, *Power-to-Gas* oder *Power-to-Liquid*. Direkter Stromeinsatz erhöht wiederum die Effizienz, da Wärmepumpen und Elektromotoren bei der Erzeugung von Wärme und Mobilität kaum Umwandlungsverluste haben. Diese neuen Verbraucher haben über ihren zusätzlichen Strombedarf und ihre Verbrauchsprofile aber auch Folgewirkungen auf den Stromsektor. Konsequenz: Die Trennung zwischen den Energiesektoren Strom, Wärme und Verkehr verschwindet zusehends, sie müssen gemeinsam betrachtet werden.

Dieses Zusammenwachsen der Energiesektoren bei gleichzeitiger Steigerung von Energieeffizienz und vorwiegend heimischer Wind- und Solarstromproduktion ist aus volkswirtschaftlicher Perspektive interessant, da es neue Marktchancen für Energieversorger und Energiedienstleister bietet und zusätzliche Wertschöpfung im Inland schafft. Aus Klimaschutzsicht bedeutet es, dass die neuen Stromverbräuche zwangsläufig einen zusätzlichen Ausbau von Erneuerbaren Energien erfordern, da sonst die Emissionen nur aus dem einen Sektor in den anderen verschoben würden.

Mit drei Strategien kann man die energiebedingten Emissionen bis 2030 auf den Zielpfad bringen — Abbildung 10



* Energieträgerfarben stellen energiebedingte CO_2-Emissionen bzw. energiebedingten Primärenergieverbrauch dar.
AGEB (2017a), UBA (2017a), eigene Berechnungen auf Basis EWI/Prognos/GWS (2014a)

3.2 Stromwende 2030

Im Jahr 2015 wurde die erste Phase der Energiewende im Stromsektor abgeschlossen. So wurde die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien im Zeitraum von 2000 bis 2015 verfünffacht; inzwischen werden 32 Prozent des Stromverbrauchs von Erneuerbaren gedeckt. Parallel begann der Ausstieg aus der Kernenergie. Im Jahr 2015 wurde nur noch halb so viel Strom aus Kernkraftwerken produziert wie im Jahr 2000. Insgesamt hat der Ausbau der Erneuerbaren Energien den Rückgang der Kernenergie von 2000 bis 2015 um etwa das Doppelte übertroffen: Während die Stromerzeugung aus Kernenergie um 78 Terawattstunden zurückging, stieg die der Erneuerbaren um 150 Terawattstunden. Der Versorgungssicherheit hat diese Entwicklung nicht geschadet. Betrug die mittlere Nichtverfügbarkeit von Strom pro Kunde im Jahr 2006 noch 21,5 Minuten, lag dieser Wert 2015 bei nur noch 12,7 Minuten. Allerdings hat der Erneuerbare-Energien-Ausbau in den Jahren 2000 bis 2015 erhebliche Kosten für die Stromkunden verursacht, vor allem aufgrund der hohen Technologieförderkosten in den Anfangsjahren.

Herausforderung Strom: Bei den Erneuerbaren ist das erste Drittel geschafft, aber die Kohle verursacht hohe Emissionen

Trotz der Ausbauerfolge bei den Erneuerbaren Energien hat der Stromsektor eine schlechte Klimabilanz: 312 Millionen Tonnen CO_2, gut ein Drittel aller Emissionen Deutschlands, fielen 2015 bei der Stromerzeugung an– nur vier Prozent weniger als im Jahr 2000. Ursache hierfür sind Braun- und Steinkohle, die aufgrund der mangelnden Wirksamkeit des europäischen CO_2-Emissionshandels seit 2000 kaum zurückgegangen sind und nach wie vor gemeinsam 40 Prozent des Stroms produzieren.

In den Jahren bis 2030 geht es darum, die zweite Phase der Energiewende im Stromsektor erfolgreich zu absolvieren. Das bedeutet, dass bis 2030 das Stromsystem in das Zeitalter der Erneuerbaren Energien überführt wird, der Ausstieg aus der Kernenergie vollendet wird und die Stromemissionen etwa halbiert werden.[28] Windkraft und Solarenergie werden die Leittechnologien des Strommarkts. Windparks (on- und offshore) sowie Solarfreiflächenanlagen erzeugen zwischen 2020 und 2030 kostengünstig Strom zu unter fünf Cent pro Kilowattstunde. Solarstromproduktion auf dem eigenen Dach ist Standard nicht nur für Einfamilienhäuser, sondern für jedes Gebäude mit geeigneten Dachflächen. Erneuerbar erzeugter Strom wird auch im Wärme- und Verkehrssektor verstärkt eingesetzt. Intelligente Netze, die digitale Einbindung von Erneuerbare-Energien-Anlagen, Lastmanagement und Speichern in die Strommärkte sowie eine stabile Kapazitätsreserve ermöglichen es zudem, die Versorgungssicherheit auch 2030 auf dem aktuell sehr hohen Niveau zu gewährleisten.

Vier Strategien bis 2030: Effizienz steigern, Kohle halbieren, Erneuerbare auf 60 Prozent, Atomausstieg vollenden

Konkret bedeutet eine kosteneffiziente Energiewende im Stromsektor bis 2030 die Fokussierung auf die folgenden vier Strategien:

1. *Efficiency First:* Stromverbrauch trotz Sektorkopplung konstant halten

Die effiziente Stromnutzung ist für eine kostengünstige Energiewende elementar.[29] Deshalb wird der traditionelle Stromverbrauch in Gebäuden, Industrie und Verkehr von heute rund 520 Terawattstunden auf noch etwa 470 Terawattstunden im Jahr 2030 reduziert werden. Aufgrund der stärkeren Nutzung von Strom für die Wärmeerzeugung und im Verkehr (etwa plus 70 Terawattstunden) steigt der Stromverbrauch insgesamt bis 2030 leicht über das heutige Niveau.

2. Kohleverstromung halbieren

Wegen des hohen Anteils von Braun- und Steinkohle im Strommix bedeutet eine Halbierung der Stromemissionen auch eine Halbierung der Kohleverstro-

mung bis 2030. Dies reduziert auch die aktuell hohen Kohlestromexporte Deutschlands in seine Nachbarländer. Die alten Kohlekraftwerke werden im Laufe der 2020er-Jahre stillgelegt. Dort, wo sie Wärme erzeugt haben, werden sie durch Gas-KWK-Anlagen, kombiniert mit erneuerbarer Wärme, ersetzt. Ab 2025 werden zusätzlich Spitzenlast-Gasmotoren in Modulbauweise errichtet, um die Versorgungssicherheit trotz des Wegfalls der Kohlekraftwerke jederzeit zu gewährleisten.

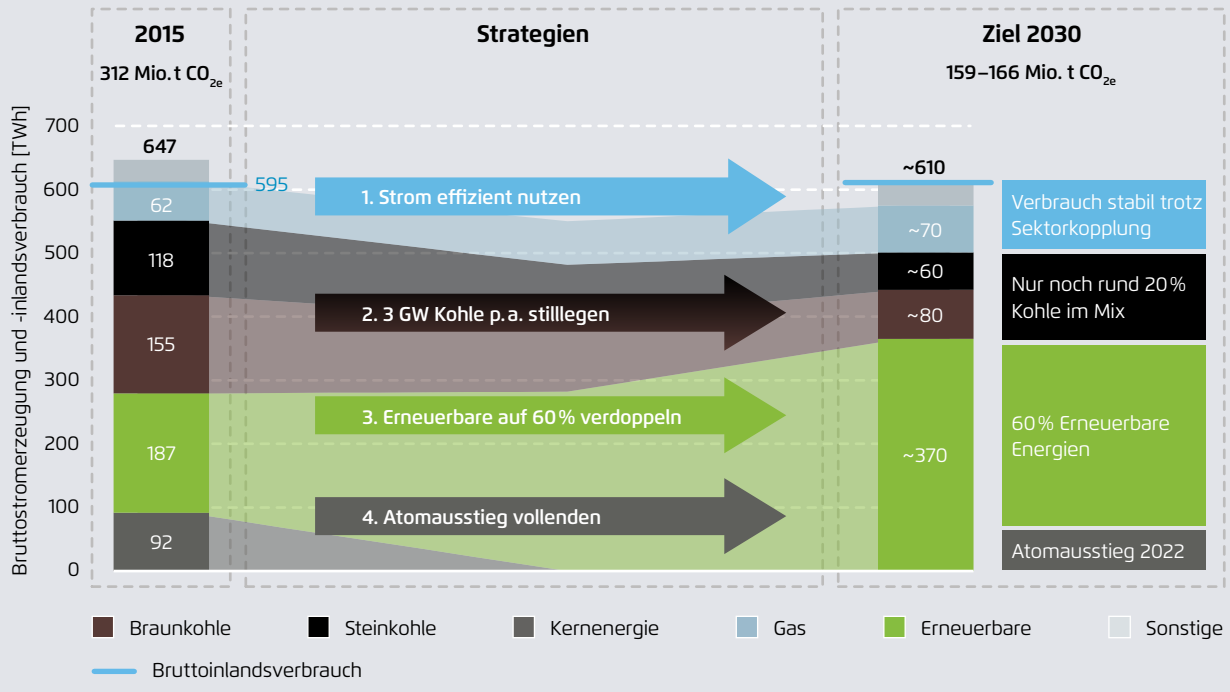
3. Erneuerbare Energien auf 60 Prozent anheben

Der Anteil der Erneuerbaren an der Stromproduktion, der aktuell 30 Prozent beträgt, verdoppelt sich bis 2030. Neue Verbraucher aus Wärme und Verkehr werden komplett durch zusätzliche Erneuerbare Energien abgedeckt. Während im Jahr 2015 etwa 42 Gigawatt Onshore-Windkraft, 40 Gigawatt Photovoltaik und gut 3 Gigawatt Offshore-Windkraft installiert waren, werden es im Jahr 2030 voraussichtlich 91 Gigawatt Onshore-Windkraft, 86 Gigawatt Photovoltaik und 20 Gigawatt Offshore-Windkraft sein. Ein großer Teil des Zubaus im Zeitraum 2018 bis 2030 kann zu Stromkosten von unter fünf Cent je Kilowattstunde realisiert werden und verursacht daher keine Mehrkosten.

4. Atomausstieg vollenden

Die noch verbleibenden acht Kernkraftwerke werden zwischen 2017 und 2022 stillgelegt. Durch die Abschaltung von inflexiblen Kernkraftwerken entsteht mehr Platz im Netz für Erneuerbare Energien, das reduziert Überschusssituationen. Da zwischen Dezember 2021 und Dezember 2022 innerhalb relativ kurzer Zeit sechs Kernkraftwerke mit einer Leistung von über acht Gigawatt vom Netz gehen, müssen Politik und Bundesnetzagentur hier vorausschauend im Sinne der Versorgungssicherheit agieren. Hierzu gehört gegebenenfalls eine kurzfristig höhere Kapazitätsreserve zur Absicherung möglicher Spitzensituationen in den Wintern 2021/22 und 2022/23.

Mit vier Strategien die Stromemissionen bis 2030 fast halbieren — Abbildung 11



AGEB (2017a), BMUB (2016), eigene Berechnungen auf Basis Agora Energiewende (2016a), EWI/Prognos/GWS (2014a), UBA (2017c)

3.3 Wärmewende 2030

Der Wärme- und Kältesektor[30] verbraucht von allen drei Energiebereichen die meiste Energie: Im Jahr 2015 wurden insgesamt 1.373 Terawattstunden Wärme- und Kälteenergie verbraucht.[31] Das entspricht in etwa der Größe des Strom- und Verkehrssektors zusammen. Bei den Emissionen belegt er Platz zwei; insgesamt entstanden 2015 im Wärmebereich Treibhausgasemissionen in Höhe von 290 Millionen Tonnen CO_{2e}. Etwa 60 Prozent des Wärmeverbrauchs entfallen auf Gebäude, die restlichen rund 40 Prozent werden in der Industrie insbesondere als Prozesswärme in der Produktion eingesetzt.

Während in den Gebäuden im Zeitraum 2000 bis 2015 durchaus Erfolge vorzuweisen waren (so sank hier der Energieverbrauch um 13 Prozent, die Emissionen verringerten sich sogar um 25 Prozent),[32] sind im Bereich der industriellen Wärmenutzung in den letzten Jahren relativ wenig Klimaschutzfortschritte zu erkennen. Fast die Hälfte der Wärme wird aus Erdgas erzeugt (43 Prozent), gefolgt von Mineralöl (15 Prozent) und Strom (13 Prozent). Der Rest wird zu etwa gleichen Teilen durch direkte Nutzung der Erneuerbare Energien (10 Prozent),[33] Fernwärme (9 Prozent) und Steinkohle (8 Prozent) bereitgestellt.[34] Der Wärmesektor ist der Sektor, in dem die langlebigsten Kapitalstöcke existieren – das Durchschnittsalter der Wohngebäude beträgt etwa 50 Jahre.

Herausforderung Wärme: Der größte Energiesektor hat die langlebigsten Kapitalstöcke

Im Jahr 2030 wird der Wärme- und Kältesektor viel effizienter und sauberer sein als heute. Knapp die Hälfte aller Gebäude sind entweder Neubauten oder sanierte Altbauten, die hohe energetische Standards erfüllen. Sie erfüllen gleichzeitig Komfortwünsche, da sie Wärme lange in den Gebäuden halten, die Sonneneinstrahlung zur indirekten Beheizung nutzen und es den Bewohnern ermöglichen, ihre gesamte Wohnfläche auch im Winter auf Wohlfühltemperatur zu halten.

Öl wird im Gebäudesektor bis 2030 weitgehend durch emissionsärmere Heizungssysteme wie Erdgasheizungen oder Wärmepumpen ersetzt. Im Übergang nutzen viele unsanierte oder teilsanierte Altbauten bivalente Heizungen, die Wärmepumpen mit Öl- oder Gaskesseln kombinieren. Diese nutzen je nach stündlichem Strompreis und Wärmebedarfssituation den Strombetrieb oder die Zufeuerung durch Öl oder Gas und senken so die Emissionen schon deutlich. Fernwärmenetze werden durch eine Vielzahl von Wärmequellen gespeist, bei denen Gas-KWK-Anlagen mit erneuerbaren Energieträgern (Solarthermie, Geothermie, Biomasse, Großwärmepumpen) und verstärkter Abwärmenutzung kombiniert werden. Kohleeinsatz wird in der Fernwärme und bei der industriellen Wärmeerzeugung halbiert. Stattdessen werden in der Industrie Effizienztechnologien flächendeckend eingesetzt und Erdgas wird nach und nach durch den Bezug erneuerbaren Stroms oder erneuerbar erzeugten Wasserstoffs ersetzt.

Vier Strategien bis 2030: Gebäude sanieren, Kohle und Öl halbieren, Erneuerbare erhöhen, Wärme elektrifizieren

Der Wärmesektor muss seine Treibhausgasmissionen bis 2030 um etwa 40 Prozent gegenüber 2015 reduzieren[35] – vor allem im Gebäudebereich, aber auch im industriellen Wärmebedarf. Die folgenden vier Strategien machen dies möglich:

1. *Efficiency First:* Gebäudewärme sinkt um ein Viertel, Industriewärme um 10 Prozent

Um die Transformation kosteneffizient zu gestalten, muss die Energieeffizienz deutlich gesteigert werden. Der Endenergieverbrauch von Wärme in Gebäuden sinkt daher bis 2030 um ein Viertel. Dies bedeutet, dass jährlich etwa zwei Prozent der Häuser energetisch saniert werden. Auch in der Industriewärme werden die vielen noch vorhandenen Effizienzpotenziale ausgeschöpft, sodass 2030 der Verbrauch etwa 10 Prozent niedriger liegt als 2015. Im Ergebnis verbraucht der Wärmesektor dann etwa 1.100 Terawatt-

stunden, etwa jeweils zur Hälfte in Gebäuden und für Industrieprozesswärme.

2. Kohle- und Ölverbrauch mehr als halbieren
Die CO_2-intensivsten Energieträger sind Kohle und Öl. Deshalb werden diese bis 2030 deutlich reduziert. Erdgas hingegen wird weiter genutzt und das Erdgasnetz wird vorgehalten für die Zeit erneuerbar hergestellter Brennstoffe. Konkret bedeutet das: In Gebäuden werden einfache Ölheizkessel bis 2030 weitgehend durch Öl-Hybrid-Wärmepumpen-Heizungen oder andere Technologien ersetzt; in den Fernwärmenetzen und der industriellen Wärmenutzung wird der Kohleverbrauch halbiert.

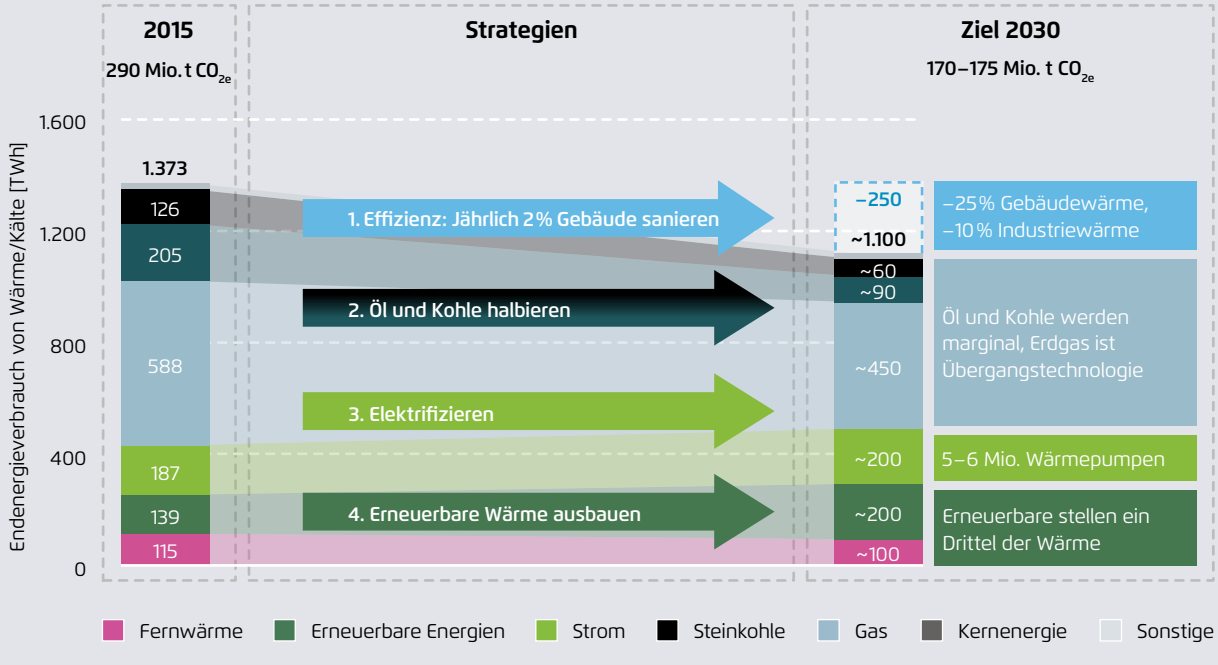
3. Erneuerbare Wärme ausbauen
Sowohl im Gebäudesektor als auch in Fernwärmenetzen und in der Industrie existieren noch viele Optionen zur Nutzung erneuerbarer Wärme wie Geothermie, Solarthermie, Umweltwärme und Abfall-Biomasse. Diese sollen umfassend realisiert werden, sodass 2030 etwa 200 Terawattstunden erneuerbare Wärme direkt genutzt werden. Dies beinhaltet eine Modernisierung der Fernwärmenetze hin zu Niedertemperaturnetzen.

4. Elektrifizierung mit Wärmepumpen
Wind- und Solarstrom mittels *Power-to-Heat* und Wärmepumpen auch im Wärmesektor zu nutzen, ist effizienter Klimaschutz. Bis 2030 werden fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen eingebaut, die Hälfte davon als Hybridlösungen mit Gas- oder Ölkesseln. Da parallel ineffiziente Strom-Nachtspeicherheizungen, die noch vielfach im Einsatz sind, ausgetauscht werden, ist der zusätzliche Strombedarf begrenzt und beträgt nur rund 20 Terawattstunden.

Sollten diese Strategien nicht erfolgreich sein, müssten erhebliche Mengen *Power-to-Gas* zum Einsatz kommen, um das Sektorziel zu erreichen.

Mit vier Strategien kann der Wärmesektor die Emissionen bis 2030 um rund 40 Prozent senken

Abbildung 12



AGEB (2016a), BMUB (2016), UBA (2017a), eigene Berechnungen auf Basis EWI/Prognos/GWS (2014a), Fraunhofer IWES/IBP (2017)

3.4 Verkehrswende 2030

Der Verkehr ist der Sektor, in dem die Energiewende am wenigsten vorangeschritten ist: Lediglich 5 Prozent des Endenergieverbrauchs von 727 Terawattstunden wird durch Erneuerbare Energien gedeckt, 93 Prozent stammen aus Erdöl.[36] Beim innerdeutschen Verkehr per Straße, Schiene, Schiff und Flugzeug sind die Emissionen in den letzten Jahren wieder gestiegen, die Klimaschutzerfolge im Zeitraum 2000 bis 2009 wurden zunichtegemacht. Der Verkehrssektor ist der einzige Sektor, der im Jahr 2016 mit 166 Millionen Tonnen mehr CO_2 ausstößt als 1990.[37]

Herausforderung Verkehr: Der einzige Sektor mit steigenden CO_2-Emissionen

Die Ursachen hierfür sind in zwei großen Trends zu sehen:

- **Mehr Verkehr auf der Straße:** Der Gütertransport stieg zwischen 2000 und 2015 um ein Viertel auf 650 Milliarden Tonnenkilometer; der Personenverkehr stieg im gleichen Zeitraum um 13 Prozent auf 1.180 Milliarden Personenkilometer. Etwa 80 Prozent des Zuwachses bei den Gütern wurde durch Lkw gedeckt, etwa 70 Prozent des Zuwachses beim Personenverkehr durch Autos.[38]
- **CO_2-Flottenverbräuche sinken nur auf dem Papier:** Eigentlich sollten nach der CO_2-Pkw-Verordnung der EU die Kraftstoffverbräuche für neue Autos kontinuierlich sinken. Zudem soll die Kfz-Steuer CO_2-arme Autos begünstigen. Tatsächlich sinken die Verbräuche aber kaum. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die Verbrauchsangaben der Hersteller immer mehr von den realen Werten abweichen: So lag die Diskrepanz zwischen Test- und Realverbräuchen bei neuen Pkws im Jahr 2000 noch bei 9 Prozent, stieg bis 2015 aber auf 42 Prozent.[39]

Im Jahr 2030 wird der Verkehrssektor diesen Trend nicht nur gebrochen, sondern komplett umgekehrt und die Emissionen auf 95 bis 98 Millionen Tonnen reduziert haben.[40] Im Zeitraum 2015 bis 2030 vollzieht sich im Verkehr ein rasanter Wandel, dessen erste Vorboten heute schon zu sehen sind: So hat in den Städten jüngst der Fahrradverkehr zugenommen, während der Autoverkehr stagniert. Die Digitalisierung hat mobiles Carsharing und attraktive ÖPNV-Angebote ermöglicht, die Kosten für Batterien und damit für Elektroautos sinken kontinuierlich.

Möglich wird dies durch die Verkehrswende, die auf zwei Entwicklungen basiert:[41] der Mobilitätswende, die Mobilität mit weniger Verkehrsaufkommen ermöglicht, und der Energiewende im Verkehr, die dafür sorgt, dass der Energiebedarf im Verkehr immer stärker durch Erneuerbare Energien gedeckt wird. Eine solche Strategie steigert auch die Lebensqualität: So machen Elektroautos und neue Mobilitätsangebote die Städte leiser und sauberer, da sie deutlich weniger Lärm und klassische Luftschadstoffe wie Feinstaub und Stickoxide verursachen.

Die Verkehrswende ist auch deswegen entscheidend, weil die Autoindustrie Deutschlands sehr exportorientiert ist. Da der globale Trend insbesondere in den Leitmärkten China und Kalifornien massiv in Richtung Elektromobilität und Mobilitätsdienstleistungen geht, ist es für den Wirtschaftsstandort Deutschland zentral, dass die heimische Industrie hier vorangeht, anstatt den Entwicklungen hinterherzulaufen.

Drei Strategien bis 2030: Effizienz steigern, Elektromobilität vorantreiben, Bahn und Bus stärken

Insgesamt reduzieren die folgenden Strategien den Benzin- und Dieselverbrauch (und damit die Emissionen) bis 2030 um 40 Prozent gegenüber 2015:

1. *Efficiency First:* Energieverbrauch um 30 Prozent senken

Eingesparte Kilometer sind die günstigste Klimaschutzmaßnahme. Durch eine bessere Städteplanung bleibt Mobilität erhalten, aber Wege zwischen Arbeiten

und Wohnen werden verkürzt. Mithilfe von digitalen Technologien lassen sich Transporte effizienter organisieren und privater und öffentlicher Verkehr besser vernetzen. Neue Pkws und Lkws werden im Realverbrauch tatsächlich sparsamer als ihre Vorgänger. Insgesamt ist es so möglich, den Energieverbrauch im Verkehrssektor um etwa 30 Prozent zu reduzieren.

2. Stärkung von Bahn, Bus und Shared Mobility

Mehr Güter- und Personenverkehr auf der Schiene reduziert den Verkehr auf den Straßen. Voraussetzung hierfür ist ein schneller und deutlicher Ausbau des Schienennetzes. Zudem kann der öffentliche Nahverkehr durch attraktive Angebote, neue Trassen und IT-Innovationen (zum Beispiel Sammeltaxis mit autonom fahrenden Autos) mehr Fahrgäste gewinnen. So findet der bis 2030 erwartete weitere Zuwachs im Personen- und Güterverkehr weitestgehend auf der Schiene und im öffentlichen Verkehr statt.

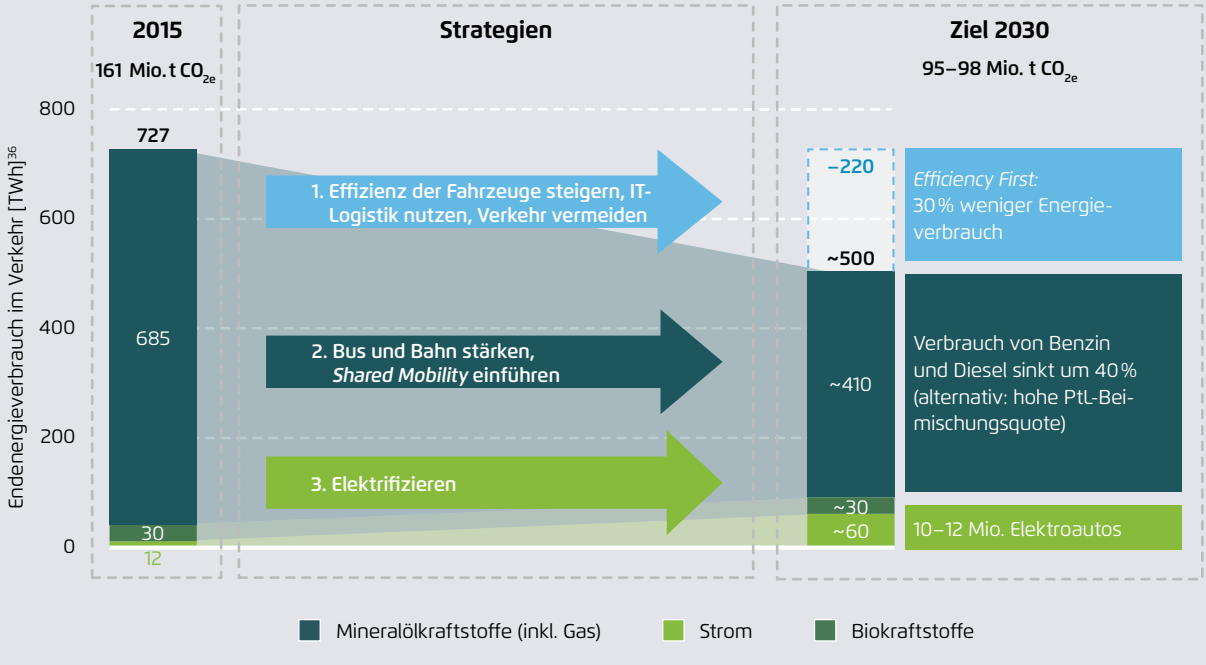
3. Elektromobilität mit erneuerbarem Strom

Da Biokraftstoffe nicht weiter zunehmen, erfolgt die Nutzung Erneuerbarer Energien im Verkehrssektor über Wind- und Solarstrom. So werden im Jahr 2030 etwa zehn bis zwölf Millionen Elektro- und Wasserstoffautos auf den Straßen fahren. Zudem werden 80 Prozent der Bahnstrecken statt bisher 60 Prozent elektrifiziert. Um auch den Lkw-Verkehr sauberer zu machen, werden bis 2030 erste wichtige Autobahnen mit Oberleitungen ausgestattet, sodass auf diesen Strecken Hybrid-Lkws mit Strom fahren. Im Ergebnis steigt der Strombedarf im Verkehr bis zum Jahr 2030 um rund 50 Terawattstunden.

Sollten diese Strategien nicht erfolgreich sein, müssten erhebliche Mengen strombasierte Kraftstoffe zum Einsatz kommen. Eine schnell steigende Beimischungsquote von *Power-to-Liquid* bei Benzin und Diesel wäre die Folge, um auf diesem Weg das Sektorziel des Verkehrs zu erreichen.

Verkehrswende 2030 bedeutet Effizienz steigern, Bus und Bahn stärken und elektrifizieren

Abbildung 13



AGEB (2016a), BMUB (2016), eigene Berechnungen auf Basis EWI/Prognos/GWS (2014a)

3.5 Alternative Entwicklungen sind möglich, mehr Forschung ist nötig

Die in den Kapiteln 3.1 bis 3.4 beschriebenen Maßnahmen ermöglichen eine kosteneffiziente Transformation des Energiesystems bis 2030. Sie fokussieren auf die Technologien, mit denen nach heutigem Kenntnisstand die Energiewende am günstigsten zu realisieren ist. Es sind jedoch auch alternative Entwicklungen denkbar. Folgende Gründe könnten dazu führen:

- **Mangelnde Energieeffizienz:** Die Steigerung der Effizienz ist eine zentrale Säule der Energiewende. Die Erfahrung der letzten Jahre zeigt jedoch, dass die energetische Sanierung, die Vermeidung von Straßenverkehr und die Steigerung der Stromeffizienz mit einer Reihe von Hemmnissen verbunden sind – und dass die Politik diese Hemmnisse bisher nicht prioritär adressiert hat. Falls sich dies bis 2030 fortsetzen würde, müssten andere Maßnahmen ergriffen werden, um das Klimaschutzziel zu erreichen.
- **Zu geringe Elektrifizierung:** Die direkte Nutzung von Strom für Wärme und Verkehr ist kostengünstig. Im Optimum bedeutet dies fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen und zehn bis zwölf Millionen E-Autos bis 2030. Falls diese Mengen aufgrund mangelnder Anreize und/oder mangelnder Akzeptanz der Technologien nicht realisiert würden, wären andere Optionen notwendig.
- **Technologische Durchbrüche, zum Beispiel bei *Power-to-Gas* und *Power-to-Liquid*:** Es ist denkbar, dass neben den kostengünstigsten Klimaschutztechnologien aus heutiger Sicht – also Effizienztechniken, Wind- und Solarstrom, Batterien und Wärmepumpen – bis 2030 noch andere Technologien einen Durchbruch erfahren. Dies könnte am ehesten bei Brennstoffzellen und strombasierten Heiz- und Kraftstoffen geschehen, da sie bereits relativ gut erforscht sind und erste Anwendungsfelder haben.[42] Bislang handelt es sich dabei noch immer um teure Technologien, sie haben aber ein großes Kostensenkungspotenzial.[43]

Werden Energieeffizienz oder Elektrifizierung nicht erreicht, braucht es deutlich mehr Wind- und Solarstrom

Wichtig ist: Diese möglichen Entwicklungen können am Einsatz der fossilen Energieträger nichts ändern, denn die Klimaschutzziele beschränken direkt die Nutzung von Kohle, Öl und Gas. Da außerdem die Potenziale zur Nutzung von Biomasse stark begrenzt sind, hätten alle drei Entwicklungen die Konsequenz, dass bis 2030 deutlich mehr Wind- und Solaranlagen errichtet werden müssten. Gelingt etwa die avisierte Steigerung der Effizienz bei Wärme und Verkehr nur zur Hälfte und müssten die fehlenden Einsparungen durch strombasierte Heiz- und Kraftstoffe gedeckt werden, würden hierfür zusätzliche Strommengen in Höhe von rund 470 Terawattstunden benötigt.[44]

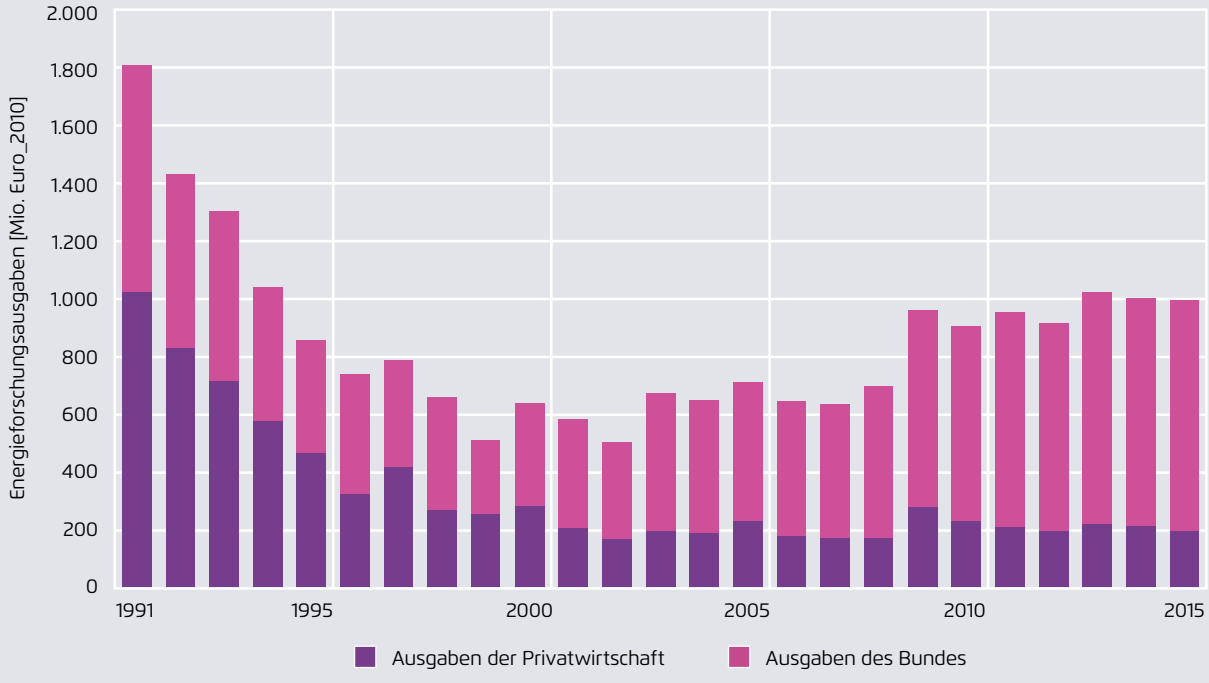
Diese höhere Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien verursacht Kosten: Zum einen direkte für die Errichtung zusätzlicher Windkraft- und Solarenergieanlagen, zum anderen Systemkosten in Form von zusätzlichen *Back-up*-Kraftwerken und Stromnetzen. Darüber hinaus stellen sich Akzeptanzfragen für diese zusätzlichen Wind- und Solaranlagen – schließlich wären sie nicht notwendig, wenn etwa die Verkehrseffizienzziele erreicht beziehungsweise Elektroautos genutzt würden, anstatt *Power-to-Liquid*-Kraftstoffe zu erzeugen. Im Kern wären solche zusätzliche Mengen an Wind- und Solarstrom zur Erzeugung von strombasierten Heiz- und Kraftstoffen wohl nur außerhalb Deutschlands herstellbar, zum Beispiel in der Nordsee oder in Nordafrika beziehungsweise im Nahen Osten. Diese Option erscheint für die über das Jahr 2030 hinausgehenden Klimaschutzziele deutlich wahrscheinlicher als für den Schritt bis 2030. Bis 2030 werden *Power-to-Gas* und *Power-to-Liquid* deshalb voraussichtlich keine zentrale Rolle in der Energiewende spielen.

Power-to-X-Technologien sind der Schlüssel für die Energiewende nach 2030 und müssen anwendungsreif werden

Nichtsdestotrotz zeigt das Thema *Power-to-X*, also die Verwendung von Strom zur Herstellung von Produkten für andere Sektoren, dass technologieoffene Forschung und Demonstration zwingend notwendig sind, um die Energiewende und den Klimaschutz auch langfristig zum Erfolg zu führen. *Power-to-Heat* ist bereits jetzt etabliert, weitere *Power-to-X*-Technologien müssen folgen. Denn strombasierte Kraftstoffe, Gase und Chemikalien sind Langzeitspeicher für Wind- und Solarstrom und der Schlüssel für die Dekarbonisierung von Flugzeugen, Schiffen und Lastwagen. Zudem können sie CO_2-freie Energieträger für energieintensive Prozesse in der Industrie sowie klimaschonende Basischemikalien für die Chemieindustrie liefern.

Für die Energiewende nach 2030 ist es daher zentral, *Power-to-X*-Technologien (inklusive der Abscheidung von CO_2 aus der Luft) rasch zur Anwendungsreife zu bringen. Während für viele Technologien bereits die Grundsteine gelegt sind und lediglich die Marktreife erreicht werden muss, ist für andere noch Grundlagenforschung notwendig. Zudem ist auch eine gemeinsame internationale Strategie für die Erzeugung und den Transport dieser Gase, Kraftstoffe und Chemikalien nötig. Bundesregierung und Industrie sollten deswegen ihre Energieforschungsaktivitäten in einem Pakt für Zukunftsforschung bündeln, sich auf eine Forschungs- und Demonstrationsagenda einigen und diese Agenda mit gezielten Markteinführungsprogrammen kombinieren – am sinnvollsten mit einem Fokus auf Netzengpassregionen, in denen erneuerbarer Strom sonst abgeregelt werden müsste.

Die Energieforschungsausgaben waren 1991 fast doppelt so hoch wie heute – der Anteil der Privatwirtschaft ist deutlich zurückgegangen — Abbildung 14



BMWi (2017), Destatis (2017)

3.6 Infrastruktur 2030: Netze der Zukunft

Die Energiewende bedeutet nicht nur, dass sich Erzeugung und Verbrauch von Energie grundlegend verändern, sondern auch, dass die Infrastruktur an die Veränderungen angepasst werden muss. Dies betrifft neben den Strom-, Wärme- und Gasnetzen auch die Verkehrsinfrastruktur. Die Langlebigkeit dieser Infrastrukturen erfordert bereits bei ihrer Planung heute den Blick auf 2050, um sie für ein nahezu CO_2-freies Energiesystem zu gestalten.

Stromnetze 2030: Ein Zielnetz definieren, Innovationen vorantreiben

Im Zuge der Energiewende ist im Übertragungs- und Verteilnetz ein erheblicher Stromnetzaus- und -umbau notwendig. Gerade der Übertragungsnetzausbau stößt jedoch auf erhebliche Kritik bei den betroffenen Bürgern – mit der Folge, dass von den beschlossenen 7.700 zusätzlichen Leitungskilometern erst 850 Kilometer gebaut sind.

Die Energiewende basiert auf dem Ausbau der Solar- und Windenergie. Solarstrom wird dabei vorwiegend im Sommer- und Windstrom vorwiegend im Winterhalbjahr erzeugt. Optimal wäre daher ein räumlich gleichmäßiger Ausbau von Wind- und Solaranlagen. Windkraft wird jedoch zu mehr als 75 Prozent in Norddeutschland und auf dem Meer zugebaut, woraus ein erheblicher Transportbedarf nach Süden resultiert. Soll der Übertragungsnetzausbau vermieden werden, müssten von nun an etwa 75 Prozent der neuen Windkraftanlagen in Mittel- und Süddeutschland errichtet werden. Hierfür gibt es jedoch absehbar keinen politischen Willen in den Bundesländern.

Es ist daher richtig, die im Energieleitungsausbaugesetz und im Bundesbedarfsplangesetz 2016 beschlossenen Leitungen zügig zu errichten. Im Jahr 2030 werden diese dann bei einem Erneuerbaren-Anteil von 60 Prozent im Stromsektor für den überregionalen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch sorgen. Auch wenn der Netzausbau zu den günstigen Optionen der Erneuerbaren-Integration zählt, bedeutet er Mehrkosten: Bis 2030 werden insgesamt etwa 50 Milliarden Euro investiert, was zum Anstieg der Netzentgelte um etwa 3,5 Milliarden Euro pro Jahr führt.[45]

Angesichts der Kosten, absehbarer technischer Innovationen und der Akzeptanzfrage muss jedoch jeder weitere Netzausbau grundlegend überdacht werden. Aufgabe ist es, ein Zielnetz 2050 zu planen, das auf den bereits beschlossenen Stromtrassen beruht. Der über 2030 hinaus entstehende Stromtransportbedarf wird dann primär durch Kapazitätserweiterungen bestehender Trassen, IT-Innovationen in der Netz- und Systemführung sowie durch regulatorische Anpassungen gedeckt. *Smart Markets* werden beispielsweise Preissignale für eine regionale Verwendung von Strom liefern und damit den Transportbedarf verringern. Auch im Verteilnetz sind erhebliche Investitionen notwendig – zum einen, um neue Wind- und Solarparks anzuschließen, zum anderen, um neue Verbraucher wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge einzubinden. Auch hier kann der reine Netzausbaubedarf reduziert werden, indem intelligente Steuerungen eingesetzt, neue Verbraucher in *Smart Markets* eingebunden und neue Erzeugungsanlagen gebündelt angeschlossen werden (beispielsweise die Errichtung von Solaranlagen in Windparks zur Nutzung desselben Netzanschlusses).

Wärme- und Gasnetze 2030: Strukturen anpassen und modernisieren

Fern- und Nahwärmenetze sind zentrale Bestandteile jeglicher Klimaschutzstrategie im Wärmesektor. Sie ermöglichen auch in Großstädten eine CO_2-arme Wärmeversorgung. Dafür müssen die bestehenden Wärmenetze umgebaut und an einen sinkenden Wärmebedarf angepasst werden. Bislang sind sie darauf ausgelegt, Wärme von zentralen Erzeugungsanlagen zu einem wenig gedämmten Gebäudebestand zu transportieren.

In Zukunft werden zahlreiche CO_2-arme Wärmequellen – Biomasseanlagen, Geothermie, Solarthermie, Großwärmepumpen, *Power-to-Heat*-Anlagen, industrielle Abwärme – in Wärmenetze eingebunden und reduzieren so sukzessive den fossilen Anteil der Wärme. Gleichzeitig sinkt aufgrund der Gebäudesanierung der Wärmebedarf. Daher ist es nötig, die Netze zu Niedertemperaturnetzen umzubauen und sie hydraulisch so auszulegen, dass verschiedene dezentrale Wärmeerzeuger ins Netz einspeisen können.

Die Bedeutung der Gasnetze im Verlauf der Energiewende ist zum jetzigen Zeitpunkt noch offen. Der Erdgasverbrauch wird bis 2030 nur leicht sinken, da der primäre Fokus auf der Reduktion der CO_2-intensiveren Energieträger Kohle und Erdöl liegt. Auf dem Weg zu den Klimaschutzzielen im Jahr 2050 wird der Verbrauch von fossilem Erdgas nach 2030 nahezu vollständig reduziert.

Die zentrale Frage für die Zukunft der Gasnetze ist daher, in welchem Umfang *Power-to-Gas* zum Einsatz kommen wird. Synthetische CO_2-freie Gase wie Wasserstoff oder Methan eignen sich zum Heizen, als Energieträger und Basisstoff in der Industrie sowie als Langzeitspeicher für Wind- und Solarstrom. Ihr Nachteil sind jedoch die Kosten in der Herstellung: Die direkte Nutzung von Strom und Energieeffizienz werden nach heutiger Erkenntnis im Vergleich zu einer Nutzung synthetischer Gase günstiger sein. Es ist insofern zu erwarten, dass das Gasnetz 2050 kleiner sein wird als heute. Gasverteilnetze im ländlichen Raum werden sich vermutlich immer weniger rechnen. Langfristig wichtig bleiben dürfte das Gasnetz jedoch in Regionen mit hoher Industriedichte sowie zur Belieferung von Kraftwerken, die die Versorgungssicherheit gewährleisten.

Wo welche Wärme- und Gasnetze langfristig zum Einsatz kommen, ist eine Frage, die nur anhand der jeweiligen lokalen Potenziale für eine CO_2-freie Wärmeerzeugung im Abgleich mit den Wärmesenken entschieden werden kann. Daher ist es von zentraler Bedeutung, bis 2030 kommunale Wärmekonzepte zu erstellen, die eine langfristig CO_2-freie Wärmeversorgung mit der jeweils benötigten Infrastruktur skizzieren, und diese dann umzusetzen.

Verkehrsnetze 2030: Die Elektrifizierung der Verkehrswege vorantreiben

Um den Verkehr zu dekarbonisieren, ist neben der Steigerung der Effizienz die Elektrifizierung die zentrale Strategie. Hierfür ist die Verkehrsinfrastruktur aber bei Weitem noch nicht ausgelegt; umfassende Investitionen sind notwendig. Dies beinhaltet vor allem drei Maßnahmen:

- → **Schienennetze ausbauen und elektrifizieren:** Um mehr Verkehr auf die Schiene zu verlagern, ist ein zügiger Schienennetzausbau nötig. Die Teile des Schienennetzes, die nach wie vor mit Dieselloks befahren werden, müssen zügig elektrifiziert werden – bis 2030 ist ein Elektrifizierungsgrad von 80 Prozent möglich.
- → **Ladeinfrastruktur für Elektromobilität:** Die zehn bis zwölf Millionen Elektroautos im Jahr 2030 benötigen eine Ladeinfrastruktur. Sowohl an Autobahnen und Landstraßen, aber auch innerstädtisch und in Gewerbeimmobilien ist der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur notwendig.
- → **Oberleitungen an Autobahnen:** Um den überregionalen Güterverkehr auf zentralen Strecken Deutschlands zu elektrifizieren, bieten sich Oberleitungs-Lkws an, die als Hybridfahrzeuge einen Teil ihrer Strecke mit Strom fahren. Hierfür ist nach Abschluss der Pilotprojekte bis 2030 die Installation von Oberleitungen an Hauptverkehrsadern nötig.

Der aktuelle Bundesverkehrswegeplan wurde vor dem Klimaschutzplan 2050 mit seinem 2030-Verkehrssektorziel beschlossen und enthält daher nicht diese notwendigen Investitionen. Es ist nötig, diesen nach Erstellung eines Verkehrswendekonzepts 2030 grundlegend zu überarbeiten.

4 Was kostet die Energiewende?

Die Frage, wie teuer die Energiewende wird, ist oft ein Streitpunkt in der Debatte. Während die Energiewende auf der einen Seite als nicht bezahlbar und als Gefahr für den Wirtschaftsstandort Deutschland gebrandmarkt wird, wird sie von der anderen Seite als kostengünstige Investition in die Zukunft gepriesen.

Die Kosten der Energiewende ergeben sich aus dem Vergleich mit einem Nicht-Energiewende-Szenario

Will man eine seriöse Antwort auf die Frage der Kosten der Energiewende geben, sind zwei Dinge wesentlich: Zum einen muss man unterscheiden zwischen den bisher aufgelaufen und den künftigen Kosten der Energiewende. Denn während die Förderkosten für die Erneuerbaren Energien in den ersten 15 Jahren des Erneuerbare-Energien-Gesetzes teilweise sehr hoch waren (insbesondere bei Photovoltaik- und Biogasanlagen), gilt dies nicht mehr für Neuanlagen. Das Problem ist, dass die hohen, über 20 Jahre währenden Förderzusagen der Altanlagen einen schweren Kostenrucksack gepackt haben. Dieser wird erst ab dem Jahr 2023 leichter, bis er im Jahr 2033 verschwunden ist. Der Blick auf diese Kostenvergangenheit darf daher nicht den Blick auf die zukünftige Entwicklung verstellen.

Zum anderen reicht es nicht, nur auf die Ausgabenseite zu schauen, um die Kosten der Energiewende abzuschätzen. Denn auch wenn ohne Energiewende, müssten Jahr für Jahr neue Kraftwerke gebaut, Häuser saniert, Brennstoffe eingekauft, Autos angeschafft und Netze erneuert werden. Entscheidend sind insofern nicht die Gesamtausgaben im Rahmen der Energiewende, sondern die Zusatzkosten im Vergleich zu einem kontrafaktischen Nicht-Energiewende-Szenario. Relevant sind zudem die aus den jeweiligen Investitionen resultierenden gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen, um die Effekte auf Wachstum und Beschäftigung zu betrachten. Dies kann nur modelltheoretisch berechnet werden – und die in diesem Zusammenhang getroffenen Annahmen bestimmen letztlich darüber, ob und wann die Energiewende für Wirtschaft und Gesellschaft Zusatz*kosten* oder Zusatz*nutzen* liefert.

Aktuelle Kosten und Nutzen der Energiewende

Die gesamten Energiekosten für die Endverbraucher in Deutschland (inklusive Steuern, Abgaben und Umlagen, aber ohne Mehrwertsteuer) betrugen im Jahr 2015 etwa 193 Milliarden Euro.[46] Davon entfielen etwa 72 Milliarden Euro auf Kraftstoffe, 69 Milliarden Euro auf Strom und 52 Milliarden Euro auf Wärme. Die Gesamtausgaben für Energie sind in den vergangenen Jahren relativ konstant geblieben, sogar leicht gesunken – so betrugen sie im Jahr 2011 etwa 204 Milliarden Euro, 2013 sogar 219 Milliarden Euro. Verschoben haben sich hingegen die Verhältnisse: Während die Ausgaben für Kraftstoffe und für Wärmeenergie sanken, stiegen die Ausgaben für Strom. Hintergrund sind hier auf der einen Seite die gesunkenen Weltmarktpreise für Öl und Gas sowie auf der anderen Seite die gestiegenen Kosten für den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Stromsektor.

Privathaushalte tragen 60 Prozent der Gesamtenergiekosten, etwa 117 Milliarden Euro im Jahr 2015. Dies entspricht dem Niveau von 2010 (115 Milliarden Euro) und liegt deutlich unter den Kosten des Jahres 2013 (132 Milliarden Euro).[47] Der Anteil der Energieausgaben der Privathaushalte an den Gesamtkonsumausgaben ist über die letzten Jahrzehnte bemerkenswert konstant. Verwendeten die Bürgerinnen und Bürger Deutschlands im Jahr 1991 ihre Konsumausgaben zu 7,3 Prozent für Strom, Wärme und Kraftstoffe, so lag dieser Wert im Jahr 2015 bei 7,6 Prozent.[48]

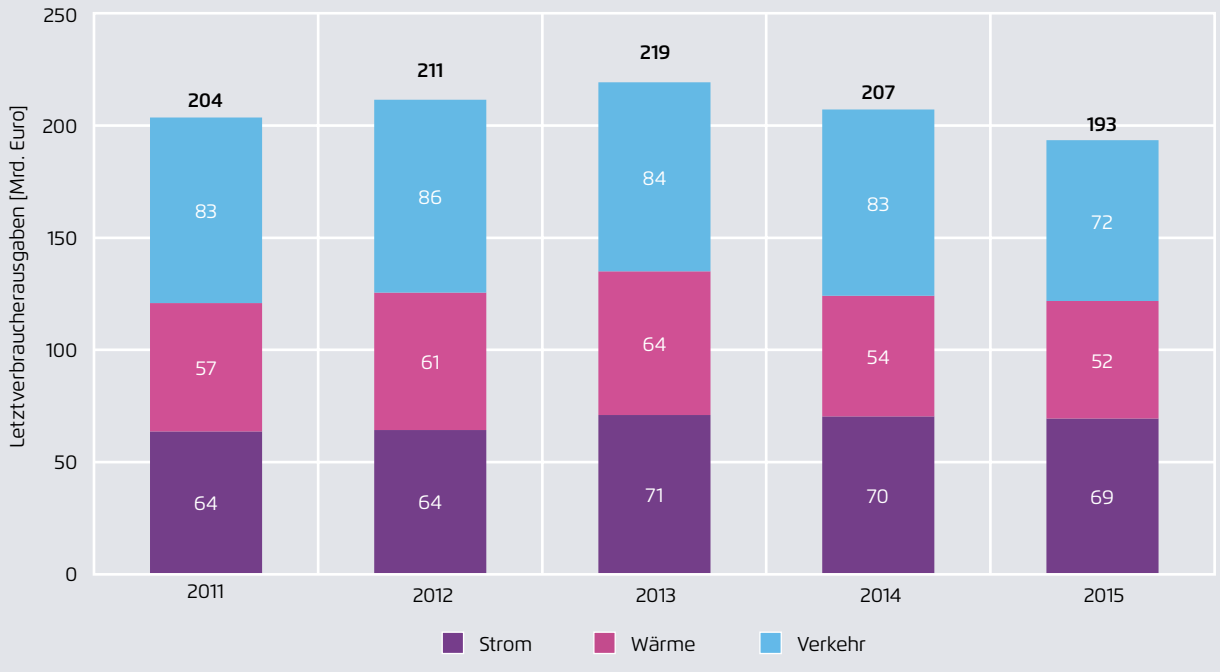
Industrie und Gewerbe tragen 40 Prozent der Gesamtenergiekosten, etwa 75 Milliarden Euro im Jahr 2015. Die Energiestückkosten der deutschen Industrie, das heißt der Anteil der Energiekosten an der Brutto-

wertschöpfung, liegen leicht unter dem europäischen Durchschnitt und betragen im Jahr 2015 im Schnitt 7 Prozent.[49] Sie sind seit 2008 um knapp 10 Prozent zurückgegangen, wobei sie in der energieintensiven Industrie deutlich stärker gefallen sind als insgesamt. Hintergrund sind die gesunkenen Börsenstrompreise bei gleichzeitig weitreichenden Ausnahmetatbeständen für die energieintensive Industrie im Bereich der Steuern, Abgaben und Umlagen. Insgesamt konnte so die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie gesichert werden: Zwischen 2000 und 2015 wuchs das Bruttoinlandsprodukt um 43 Prozent und die Industrieproduktion stieg um 25 Prozent.

Von den 193 Milliarden Euro Energiekosten des Jahres 2015 können grob etwa 20 Milliarden als Energiewendekosten im Stromsektor beziffert werden.[50] Ein großer Teil hiervon sind die oben genannten historischen „Rucksackkosten", die in der Zukunft so nicht anfallen werden. So würden die Vergütungen für Erneuerbare-Energien-Anlagen nur rund 10 statt heute 24 Milliarden Euro betragen, wenn die derzeit 32 Prozent Erneuerbare Energien auf Basis der aktuellen Wind- und Solarstromtarife finanziert würden statt wie tatsächlich zu den alten Vergütungssätzen.[51] Hinzu kommen die staatlichen Förderprogramme in den Bereichen Wärme und Verkehr in Höhe von etwa 2 Milliarden Euro.[52] Somit betragen die Mehrausgaben für die Energiewende im Jahr 2015 etwa 22 Milliarden Euro.

Die energiewendebedingten Mehrausgaben haben zusätzliche wirtschaftliche Impulse bei Anlagenbau, Handwerk und technischen Dienstleistungen ausgelöst. Die gesamtwirtschaftlichen Effekte dieser Mehrausgaben und Investitionen gegenüber einem kontrafaktischen Nicht-Energiewende-Szenario lassen sich modellhaft abschätzen. EWI/Prognos/

Die Letztverbraucherausgaben für Energie betrugen in den letzten Jahren kontinuierlich rund 200 Milliarden Euro — Abbildung 15



Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft" (2016)

GWS haben dies für die Energiewende der Jahre 2010 bis 2013 getan.[53] Sie beziffern die Effekte in diesem Zeitraum wie folgt: Wegen höherer Stromkosten lag die Inflation im Jahr 2013 um 0,25 Prozent über dem Niveau, das sie ohne Energiewende gehabt hätte. Gleichzeitig stieg aber wegen der zusätzlichen Investitionen auch das Wirtschaftswachstum, mit dem Effekt eines um 0,4 Prozent höheren Bruttoinlandsprodukts im Zeitraum 2010 bis 2013. Dies führte im Durchschnitt zu einem Beschäftigtenzuwachs von 70.000 Beschäftigten pro Jahr.

Kosten und Nutzen der Energiewende im Jahr 2030 und 2050

Eine umfassende und vergleichende Analyse der Energiewendezusatzkosten haben bisher fünf verschiedene Studien vorgenommen.[54] Dabei werden jeweils die Kosten eines *Business-as-usual*-Szenarios beziehungsweise eines Nicht-Energiewende-Szenario mit denen eines Energiewendeszenarios verglichen. Teilweise werden auch die gesamtwirtschaftlichen Effekte beziffert.

Eine vergleichende Analyse dieser Studien zeigt, dass es nicht eindeutig ist, ob die Energiewende Zusatzkosten oder Zusatznutzen für Wirtschaft und Gesellschaft mit sich bringt. Manche Studien kommen zu dem einen, andere zum gegenteiligen Ergebnis. Die Analyse ergibt vielmehr, dass die Antwort entscheidend von zwei Annahmensets abhängt:

- **Kostenannahmen für Brennstoffe, Technologien und Kapital:** Da die Energiewende bedeutet, durch Investitionen in neue Technologien den Verbrauch von Kohle, Öl und Gas zu vermeiden, sind zum einen die Preisannahmen für die fossilen Brennstoffe, zum anderen die erwarteten Kostenentwicklungen bei Energiewendetechnologien wie Windkraft, Solarenergie, Batterien, Netzen oder *Power-to-X*-Anwendungen zentral. Entscheidend sind auch die erwarteten Kapitalkosten zur Finanzierung von Neuinvestitionen.
- **Kostenannahmen für CO_2:** Was ist der Wert einer vermiedenen Tonne CO_2? Diese Annahme bestimmt ganz entscheidend, ob die Energiewende Zusatzkosten verursacht oder nicht. Denn je geringer die Kosten für CO_2 angesetzt werden, desto günstiger wird das Nicht-Energiewende-Szenario.

Folgende sechs Kernergebnisse können dennoch aus dem Studienvergleich herausdestilliert werden:

1. Die Energiewende bedeutet deutliche Zusatzinvestitionen, diese sind jedoch tragbar

Die Zusatzinvestitionen, die durch die Energiewende insgesamt pro Jahr notwendig werden, belaufen sich je nach Studie zwischen 15 und 40 Milliarden Euro pro Jahr. Zum Vergleich: Die Bruttoanlageinvestitionen Deutschlands betrugen 2015 rund 600 Milliarden Euro. Das bedeutet, dass die jährlichen Investitionen in einer Energiewendewelt im Mittel um +/- 5 Prozent gegenüber dem Status quo gesteigert werden müssen. Dies erscheint grundsätzlich tragbar.

2. Werden Klimaschäden mit 50 bis 60 Euro je Tonne CO_2 bepreist oder steigen die Rohstoffpreise, ist die Energiewende die kostengünstigere Option

In Szenarien mit hohen Preisen für Kohle, Öl und Gas führen die Zusatzinvestitionen nicht zu Zusatzkosten, sondern zu Zusatznutzen durch die Vermeidung der teuren Importe. Geht man von gleichbleibenden Rohstoffpreisen aus, hängt die Antwort auf die Frage „Kosten oder Nutzen?" davon ab, wie hoch der angesetzte CO_2-Preis ist. So beziffert etwa Fraunhofer ISE bei einem CO_2-Preis von null die Energiewendezusatzkosten auf 30 Milliarden Euro pro Jahr. Ab einem CO_2-Preis von etwa 50 bis 60 Euro pro Tonne verkehrt sich in den meisten Szenarien das Verhältnis und die Energiewende führt zu Zusatznutzen.[55]

3. Die Energiewende hat leicht positive gesamtwirtschaftliche Effekte, vor allem weil inländische Effizienzwertschöpfung den Import von Kohle, Öl und Gas ersetzt

In den Szenarien ergeben sich durch die Zusatzinvestitionen der Energiewende leicht positive Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt. Haupttreiber ist dabei die

zusätzliche inländische Wertschöpfung im Bereich der energetischen Gebäudesanierung, die den Import fossiler Energieträger (und damit den Abfluss von Mitteln ins Ausland) ersetzt. Der Wachstumseffekt ist größer, je mehr man von steigenden Kohle-, Öl- und Gaspreisen ausgeht: So erwarten EWI/Prognos/GWS bei Annahme konstanter Rohstoffpreise eine Steigerung des Bruttoinlandsprodukts durch die Energiewende im Jahr 2030 um 0,1 Prozent und im Jahr 2050 um 1,0 Prozent.[56] Bei Öko-Institut/Fraunhofer ISI betragen die Steigerungen unter der Annahme steigender Rohstoffpreise 2,5 Prozent im Jahr 2030 und 4,4 Prozent im Jahr 2050 (vgl. Abbildung 16).[57]

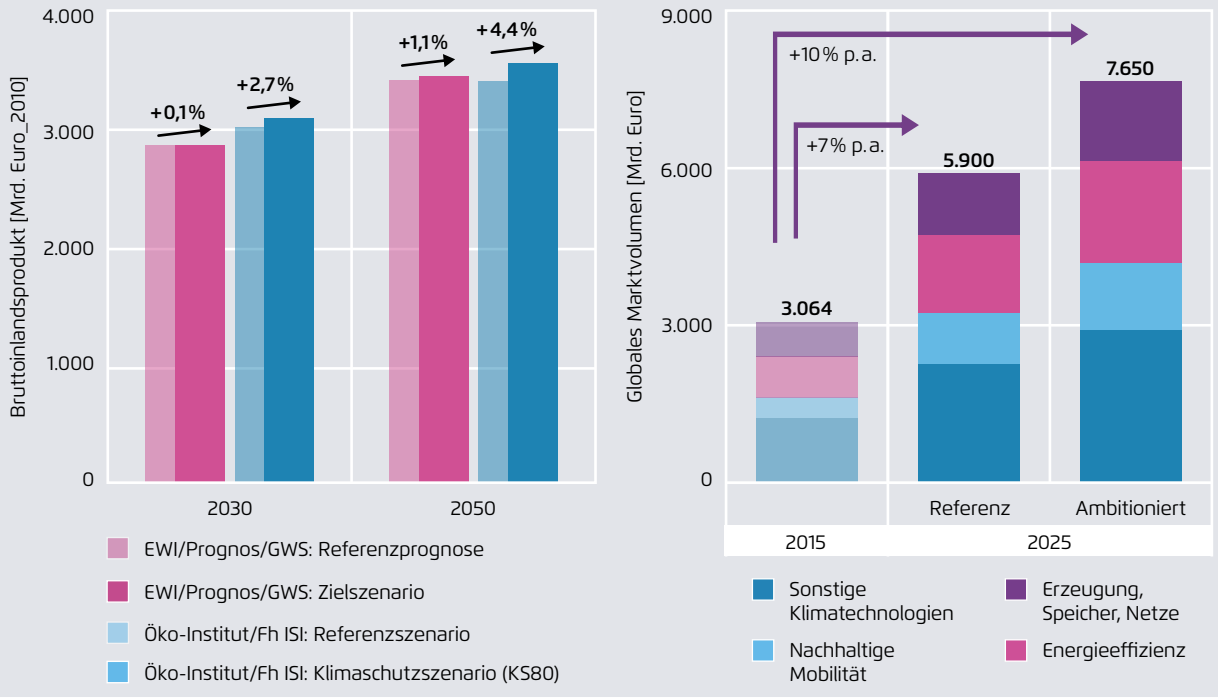
4. Zusatzeffekte durch steigende Exporte von Energietechnologien sind nicht berücksichtigt

Keine der Analysen hat angenommen, dass durch die Energiewende die Exportposition Deutschlands als Vorreiter in klimaschutzrelevanten Technologien ausgebaut wird. Gelingt es, auf den globalen Energiewende-Wachstumsmärkten stark zu sein (vgl. Abbildung 16), kommen diese Effekte noch hinzu.

5. Die Kapitalkosten bestimmen die Höhe der Gesamtkosten der Energiewende massiv

Da die Energiewende Zusatzinvestitionen bedeutet, sind die Finanzierungskosten für das eingesetzte Kapital zentral für die Höhe dieser Zusatzinvestitionen. In den Szenarien von Fraunhofer ISE und Fraunhofer IWES wird deutlich, dass letztlich die Kapitalverzinsung die Frage entscheidet, ob das Energiewendeszenario günstiger oder teurer ist als das Nicht-Energiewende-Szenario. Grund hierfür ist, dass die Energiewendetechnologien niedrige Betriebskostenanteile, aber hohe Investitionskostenanteile haben (vgl. Megatrend 6).

Die Energiewende hat leicht positive gesamtwirtschaftliche Effekte, hinzu kommen noch Zusatzeffekte durch steigende Exporte — Abbildung 16



Eigene Darstellung nach EWI/Prognos/GWS (2014a), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015), Roland Berger (2017)

6. Die Rucksackkosten der Erneuerbare-Energien-Markteinführung belasten die Verbraucher bis in den Zeitraum 2021–2023

Die Markteinführung bei Photovoltaik-, Biogas- und Wind Offshore-Anlagen hat jeweils eine Zeitlang hohe Kosten produziert – und aufgrund der 20-jährigen Vergütungszusagen verschwinden diese erst nach und nach aus dem System. Die neuen Wind- und Solaranlagen sind demgegenüber sehr günstig. Der Peak der EEG-Kosten wird daher voraussichtlich im Zeitraum 2021–2023 liegen und danach kontinuierlich sinken. Im Jahr 2030 liegt die Summe aus Börsenstrompreis und EEG-Umlage dann unter dem Niveau von 2015, obwohl sich der Erneuerbare-Energien-Anteil bis dahin etwa verdoppelt hat (vgl. Abbildung 17). Bis 2035 verstärkt sich dies nochmals deutlich, da im Zeitraum 2030–2034 viele Solaranlagen aus dem EEG fallen.

Fazit: Die Energiewende bringt kostengünstigen Klimaschutz, wenn man sie richtig angeht

Als Fazit der Analysen dieses und des vorangegangenen Kapitels lassen sich die folgenden sechs Schlussfolgerungen für die Kosten der Energiewende ziehen:

1. Weder Hysterie noch Heilsversprechen: Die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Energiewende im Inland sind begrenzt

Bei stabilen Energiepreisen (vgl. Megatrend 3) verursacht die Energiewende je nach Höhe des angenommenen CO_2-Preises leichte Zusatzkosten oder einen leichten Zusatznutzen. Unabhängig davon sind die makroökonomischen Effekte für die deutsche Volkswirtschaft tendenziell positiv, da importierte Kohle und importiertes Öl und Gas durch heimische Wertschöpfung ersetzt werden. Insgesamt sind die Effekte jedoch in allen Analysen nicht sehr groß, da der Anteil der Energiewendeinvestitionen an den deutschen Gesamtinvestitionen im einstelligen Prozentbereich liegt. Letztlich kann die Energiewende als Versicherung gegen ein Szenario angesehen werden, in dem die Preise fossiler Rohstoffe doch deutlich steigen.

2. Starke Position auf den globalen Energiewende-Wachstumsmärkten sichern

Deutschland kann von deutlichen volkswirtschaftlichen Zusatzeffekte profitieren, wenn es als Technologievorreiter seine Position auf den globalen Energiewendemärkten sichert und ausbaut. Denn dieser Markt wird sich bis 2025 auf etwa 6 bis 7,5 Billionen Euro mehr als verdoppeln. Hierzu ist eine gezielte Energiewende-Industriepolitik nötig.

3. CO_2 braucht einen angemessenen Preis

Sobald die durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas verursachten Klimaschäden auch nur teilweise internalisiert werden, erweist sich die Energiewende auch unter Kostengesichtspunkten als sinnvoll. Die effizienteste Maßnahme für den Klimaschutz wäre daher die rasche Einführung einer angemessenen CO_2-Bepreisung. Denn das EU-Emissionshandelssystem mit seinem aktuellen Preis von 5 Euro pro Tonne CO_2 spiegelt die Kosten des Klimawandels in keiner Weise adäquat wider und im Nicht-Emissionshandelsbereich sind die Effekte der Öko-Steuerreformen von 1999 bis 2003 inzwischen verpufft. Aufgrund der zuletzt deutlich gesunkenen fossilen Brennstoffpreise ist eine angemessene CO_2-Bepreisung umso dringlicher – aber auch möglich, da ja die Verbraucherausgaben für Energie in den letzten Jahren deutlich gesunken sind.

4. Die Stromkosten vom Rucksack befreien

Die historischen Kosten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes belasten die Stromverbraucher noch in erheblichem Umfang, mit der Folge, dass die EEG-Umlage bis etwa 2023 noch weiter steigen und erst danach sinken wird (vgl. Abbildung 17). Zudem führen sie dazu, dass die Strompreise hoch sind, während die Heizöl-, Erdgas-, Benzin- und Dieselpreise aufgrund der stabil niedrigen fossilen Rohstoffpreise aktuell wieder auf das Niveau von 2005 gefallen sind. Da aber die Elektrifizierung von Wärme und Verkehr zentrale Klimaschutzstrategien sind (vgl. Kapitel 3), ist das Preisgefüge falsch gesetzt. Eine Reform der Abgaben auf Strom, Heiz- und Kraftstoffe, die diese Schieflage beseitigt, ist nötig.

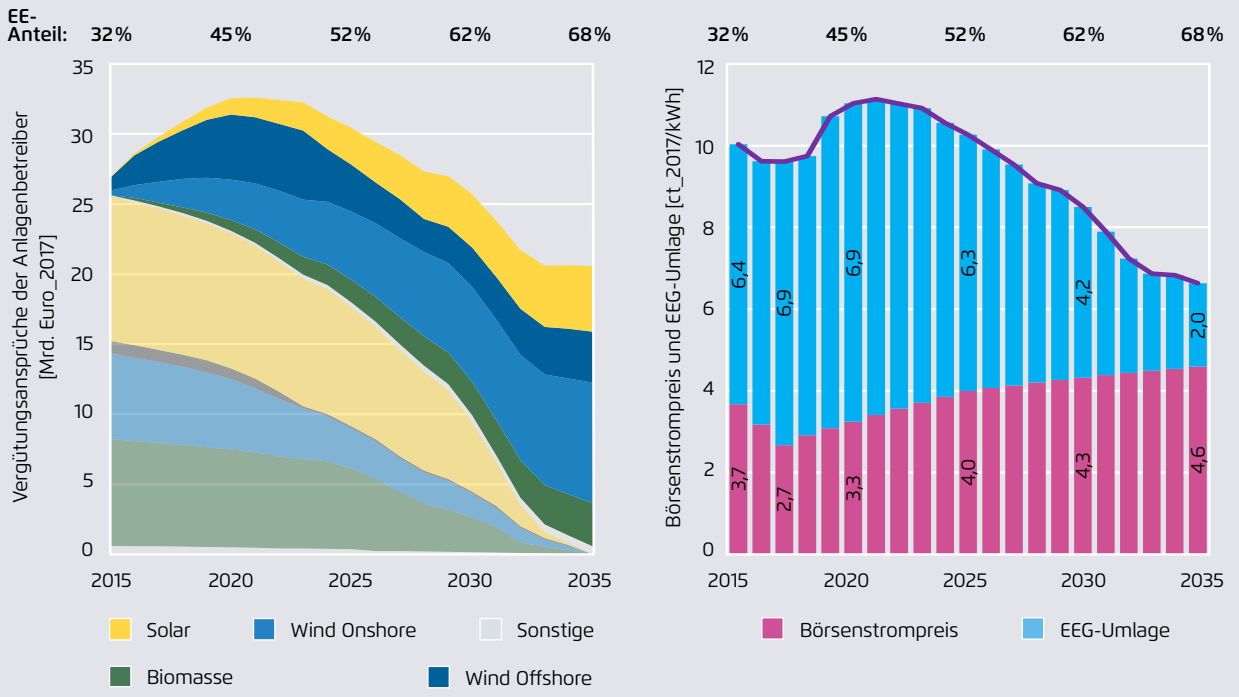
5. Entlastungen für energieintensive Betriebe und einkommensschwache Haushalte sind nötig

Die Energiekosten für Strom, Wärme und Verkehr liegen im Durchschnitt über alle Betriebe und alle Haushalte auf einem verträglichen Niveau. Dies wird auch in den kommenden Jahren aufgrund nur noch geringer Zusatzkosten der Erneuerbaren Energien so bleiben. Für im internationalen Wettbewerb stehende energieintensive Betriebe und einkommensschwache Haushalte sind jedoch Entlastungen nötig, da hier die Energiestückkosten beziehungsweise der Anteil der Energiekosten an den privaten Konsumausgaben deutlich über zehn Prozent liegen. Dies ist im Industriebereich über die EEG-Ausnahmen bereits gegeben, bei einkommensschwachen Privathaushalten jedoch noch nicht der Fall.

6. Bei der Umsetzung der Energiewende strikt auf Kosteneffizienz achten

Die jeweiligen Analysen sind davon ausgegangen, dass die Energiewende kostenoptimal gesteuert wird. Das bedeutet, dass die Energiewende entlang der in Kapitel 3 genannten Strategien fortentwickelt wird, mit einem klaren Fokus auf die günstigsten Technologien: Effizienz, Wind- und Solarenergie, Wärmepumpen und Elektromobilität. Sollte von dieser Strategie abgewichen werden, kann die Energiewende deutlich teurer werden. Damit die Energiewende also für die deutsche Volkswirtschaft Zusatznutzen statt Zusatzkosten entfaltet, ist eine strikte Ausrichtung an Kosteneffizienz notwendig. Zudem muss durch klare und verlässliche Rahmenbedingungen dafür gesorgt werden, dass die Kapitalkosten für die notwendigen Investitionen niedrig bleiben.

Die Kosten für den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Stromsektor steigen bis zum Zeitraum 2021–2023 weiter an und sinken dann bis 2035 deutlich — Abbildung 17



Hinweis (linke Abbildung): Transparente Fläche zeigen Bestandsanlagen, gefüllte Flächen zeigen Neuanlagen
Hinweis (rechte Abbildung): Börsenstrompreis steigt bis 2035 annahmebasiert auf 4,6 ct/kWh (real), entspricht 6,0 ct/kwh nominal.
Eigene Berechnung auf Basis Öko-Institut (2017a)

5 Was jetzt zu tun ist: Zehn Punkte für eine Agenda Energiewende 2030

Da die Transformation des Energiesektors nicht von heute auf morgen geschieht, werden die Weichen für die Energiewende 2030 in den kommenden Jahren gestellt. In diesem Kapitel wird skizziert, wie eine Agenda Energiewende 2030 aussehen könnte.

Ausgangspunkt sind die zentralen Megatrends, die die Energiewelt von morgen prägen werden. Diese Trends – die sieben Ds – wurden in Kapitel 1 identifiziert: die Degression der Kosten von Windkraft, Solarenergie und Batterien, die Dekarbonisierung, die Deflation der Preise für fossile Energien, die Dominanz der Fixkosten, die stärkere Dezentralität, die Digitalisierung und die Demokratisierung des Energiesystems.

Energiepolitik hat die Aufgabe, vor dem Hintergrund der Megatrends das Zieldreieck aus Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit zu erreichen. Das Zehn-Punkte-Programm für eine erfolgreiche Energiewende 2030 führt daher die in Kapitel 2 konkretisierten Energiewende-2030-Ziele zusammen: Minderung der Emissionen der Energiesektoren bis 2030 um etwa 60 Prozent unter das Niveau von 1990, Begrenzung der Energiekosten für Industrie und Privathaushalte auf einen Anteil unter 10 Prozent, Reduktion der Energieimportquote auf unter 60 Prozent und Begrenzung des Stromausfallindex SAIDI auf unter 20 Minuten pro Jahr. Diese Ziele lassen sich am besten erreichen, wenn Deutschland seine Energiewendestrategie europäisch einbettet und mit den Nachbarländern koordiniert agiert (vgl. Kapitel 2).

Um diese Energiewendeziele 2030 zu erreichen, braucht es eine kosteneffiziente Energiewendestrategie, deren Kernelemente wie folgt beschrieben werden können (vgl. Kapitel 3):

- **Massive Steigerung der Effizienz:** In allen Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr) ist Energieeffizienz ein Schlüssel zum Erfolg, da es jeweils hohe Energieeinsparpotenziale gibt, die zu geringen Kosten ausgeschöpft werden können. Insgesamt soll der Primärenergieverbrauch zwischen 2015 und 2030 um rund 30 Prozent sinken.
- **Ausbau der Erneuerbaren Energien:** Der Ausbau der Erneuerbarer Energien ist die zweite wichtige Säule der Energiewende. Bis 2030 soll der Anteil der Erneuerbaren am Primärenergieverbrauch auf mindestens 30 Prozent in etwa verdoppelt werden. Der Fokus liegt dabei auf Wind- und Solarstrom als mit Abstand kostengünstigste Erneuerbare Energien – und auf ihrem verstärkten Einsatz auch im Wärme- und Verkehrssektor.
- **Abschied von Kohle und Öl als CO_2-intensivste Energieträger:** In jedem der drei Energieverbrauchssektoren sollte primär jeweils der CO_2-intensivste Energieträger gemindert werden, da so pro reduzierter Kilowattstunde am meisten CO_2-Einsparung erfolgt. Der Kohle- und Ölverbrauch soll daher bis 2030 halbiert werden, während der Erdgasverbrauch nur um 20 Prozent zurückgeht.

Das im Folgenden beschriebene Zehn-Punkte-Programm zielt auf eine Agenda Energiewende 2030, die den volkswirtschaftlichen Nutzen der Energiewende maximiert und die Kosten minimiert (vgl. Kapitel 4). Dabei geht es jeweils darum, konkrete Politikmaßnahmen vorzuschlagen, um die Energiewende zum Erfolg zu führen.

5.1 Energiewenderahmen 2030: Verlässlichkeit und Planungssicherheit

1) Durch einen gesetzlichen Rahmen Verlässlichkeit schaffen und Planungssicherheit geben	
Wo wir heute stehen	→ Die Energiewende in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr stützt sich bis heute im Kern auf das Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 sowie auf eine Reihe von Einzelgesetzen. → Auf Bundesebene fehlt es – im Gegensatz zu etlichen Bundesländern – an einem institutionellen und prozessualen Handlungsrahmen, der das Erreichen aller drei Energiewendeziele (Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit) sicherstellt.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Die Generationenaufgabe Energiewende fußt auf einem rechtsverbindlichen Handlungsrahmen mit Stabilität bei den Zielen und Flexibilität bei der Umsetzung. → Bei Strom-, Wärme- und Verkehrswende haben alle beteiligten Akteure ausreichend Planungs- und Investitionssicherheit. → Zum Handlungsrahmen gehören ein regelmäßiges Monitoring und Überarbeiten der Maßnahmen und Einzelgesetze – unter aktiver Beteiligung aller relevanten Gruppen.
Was wir dafür tun müssen	→ Verabschiedung eines Energiewenderahmengesetzes in einem breiten parlamentarischen Konsens → Das Gesetz formuliert quantitative Umwelt-, Wirtschaftlichkeits- und Versorgungssicherheitsziele für 2030, 2040 und 2050, legt Prozesse zum regelmäßigen Beschluss und zur Überarbeitung von Maßnahmenplänen unter Beteiligung der betroffenen Akteure fest und beruft eine unabhängige Energiewendekommission für Monitoring und Kontrolle

Wo wir heute stehen

Das politische Fundament der Energiewende steht bisher in einem erheblichen Missverhältnis zur Größe des Vorhabens. Geplant ist nicht weniger als der komplette Austausch der energetischen Basis einer hochdifferenzierten und existenziell auf eine zuverlässige Energieversorgung angewiesenen Industriegesellschaft binnen einer Generation. Diese Transformation gründet jedoch lediglich auf einem im Jahr 2010 beschlossenen Energiekonzept der damaligen Bundesregierung und auf dem 2011 unter dem Eindruck der Reaktorkatastrophe von Fukushima erneuerten Beschluss zum Ausstieg aus der Kernenergie. Auch wenn Bundesregierung und Bundestag seither diese Ziele mehrfach bekräftigt haben – zuletzt im Klimaschutzplan 2050 –, ist dies deutlich zu wenig. So unterbleiben die nötigen Investitionen von Unternehmen und Privathaushalten bei Strom-, Wärme- und Verkehrswende. Das Verfehlen der Ziele ist vorprogrammiert.

Wo wir 2030 stehen wollen

Die Generationenaufgabe Energiewende hat einen überparteilich abgestimmten gesetzlichen Rahmen, der der Größe ihrer Herausforderung gerecht wird. Dieser Rahmen sichert auf der einen Seite das Erreichen der Ziele bei Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit ab und etabliert auf der anderen Seite über Legislaturperioden hinweg die hierfür notwendigen Managementprozesse und -strukturen. Dabei sollte der Entwicklungspfad zu den Zielen hinreichend offen gehalten werden für noch nicht absehbare technologische und gesellschaftliche Entwicklungen. Es geht also um Robustheit der Ziele einerseits und Flexibilität der Umsetzung andererseits. Beides zusammen ergibt das notwendige Maß an Planungssicherheit und Verlässlichkeit für alle Beteiligten in Wirtschaft und Gesellschaft.

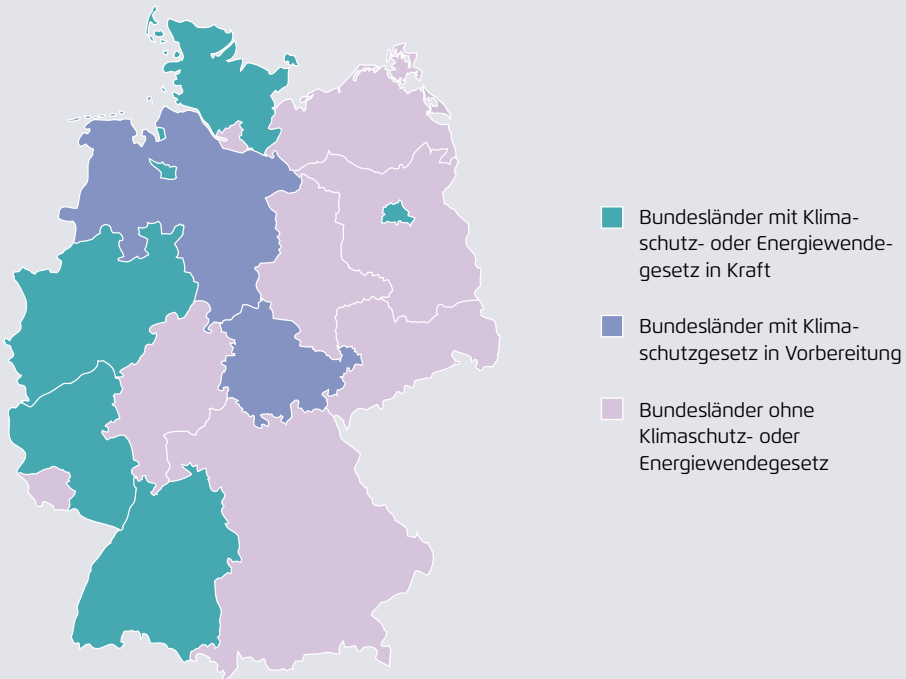
Was wir dafür tun müssen

Deutschland braucht ein umfassendes Klimaschutz- und Energiewenderahmengesetz, wie es in Großbritannien schon existiert und in Schweden ab 2018 in Kraft treten soll. Etliche Bundesländer in Deutschland haben beziehungsweise planen ebenfalls solche Gesetze. Dieses Rahmengesetz würde keine konkreten Einzelmaßnahmen beinhalten, sondern vielmehr in einem breiten parlamentarischen Konsens den institutionellen Rahmen für die Energiewende festlegen, der dann über Legislaturperioden hinweg tragen würde.

Kerninhalt des Gesetzes wäre, analog zu Kapitel 2, eine quantitative Konkretisierung des energiepolitischen Zieldreiecks (das heißt der Umwelt-, Wirtschaftlichkeits- und Versorgungssicherheitsziele, jeweils für 2030, 2040 und 2050) inklusive Einbettung dieser Ziele in den europäischen Kontext. Zudem würde das Gesetz die Verwaltung auf die Erfüllung dieser Ziele verpflichten sowie Verantwortlichkeiten, Managementverfahren und Monitoringprozesse definieren, die notwendig sind, um die Ziele umzusetzen. So sollte etwa jeweils zu Beginn einer Legislaturperiode in einem Energiewendeprogramm angekündigt werden, welche Maßnahmen in den kommenden vier Jahren beschlossen werden sollen. Wichtig sind dabei auch geeignete Beteiligungsprozesse, damit vor Beschluss konkreter Maßnahmen alle betroffenen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Akteure ihre Vorstellungen einbringen können.

Sinnvoll wäre hier die Einführung eines Nationalen Forums Energiewende, das jeweils für Strom (Forum Stromwende), Wärme (Forum Wärmewende) und Verkehr (Forum Verkehrswende) alle zentralen Akteure einbindet und die mittel- und langfristigen Ziele und Handlungsoptionen diskutiert.

In der Hälfte der Bundesländer sind Klimaschutz- oder Energiewenderahmengesetze in Kraft oder in Vorbereitung — Abbildung 18



Eigene Darstellung

5.2 Europa 2030: Eine europäische Energiewende

2) Europas Energiewende unterstützen, die deutsche Energiewende europäisch einbetten	
Wo wir heute stehen	→ Die EU-Treibhausgasemissionen liegen 2015 um 24 % niedriger als 1990. Das Niveau der Versorgungssicherheit ist in den letzten Jahren relativ konstant. Die Wettbewerbsfähigkeit variiert stark zwischen den Mitgliedstaaten. → Die EU hat sich 2014 zum Ziel gesetzt, bis 2030 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um mindestens 40 % zu senken und hierzu die Energieeffizienz um mindestens 27 % und den Erneuerbare-Energien-Anteil auf am Energieverbrauch auf mindestens 27 % zu steigern. Zudem sollen Europas Energiemärkte besser integriert werden. → Bislang fehlt ein klarer EU-Gesetzgebungsrahmen, der die Mitgliedstaaten bei der Erreichung der 2030-Ziele unterstützt.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Europa hat seine Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 50 % gesenkt. Hierzu wurde die Energieeffizienz um 30 % erhöht und der Erneuerbare-Energien-Anteil am Endenergieverbrauch auf 30 % angehoben. → Europas Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit sind 2030 jeweils besser als im Jahr 2015, die Mitgliedstaaten unterstützen einander bei der Energiesicherheit. → Strom- und Gasmärkte sind europäisch integriert, die transeuropäischen Netze für Strom, Gas und Schienenverkehr sind deutlich ausgebaut.
Was wir dafür tun müssen	→ Verabschiedung eines stabilen EU-2030-Klima- und Energierahmens für Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Marktdesign, Emissionshandel und *Just Transition* für die Kohleregionen → CO_2 braucht europaweit einen Preis mit Steuerungswirkung – sowohl im Emissionshandel als auch im Nicht-Emissionshandelsbereich. → Umsetzung der Strategie für eine emissionsarme Mobilität, inklusive überarbeiteter CO_2-Pkw- und CO_2-Lkw-Verordnungen, mit denen die Klimaschutzziele im Verkehr 2030 erreicht werden

Wo wir heute stehen

Deutschland ist mit seiner Energiewende nicht allein. Treibhausgasemissionen, Energieeffizienz und Erneuerbare Energien haben sich in Europa ähnlich wie in Deutschland entwickelt – so stieg etwa der Erneuerbare-Energien-Anteil am EU-Stromverbrauch zwischen 2005 und 2015 von 15 auf 29 Prozent, analog zur Entwicklung in Deutschland. Und auch europaweit ist der Verkehr der Sektor mit steigenden Emissionen. Zudem interagiert die deutsche Energiewende bereits heute stark mit den Energiesystemen seiner Nachbarn, da durch die hohe Zahl an Interkonnektoren die Strom- und Gasmärkte eng verflochten sind. Ein reger Handel mit Energie ist die Folge. Europa hat sich im Rahmen der Energieunion Ziele für 2030 gesetzt, die auf eine bessere Integration der Energiesysteme sowie auf eine Steigerung von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien abzielen. Alle drei Strategien dienen dem Ziel, Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit in Europa zu stärken. Das hierzu im November 2016 vorgelegte „*Clean Energy for All Europeans*"-Gesetzespaket soll bis Ende 2018 beschlossen werden.

Wo wir 2030 stehen wollen

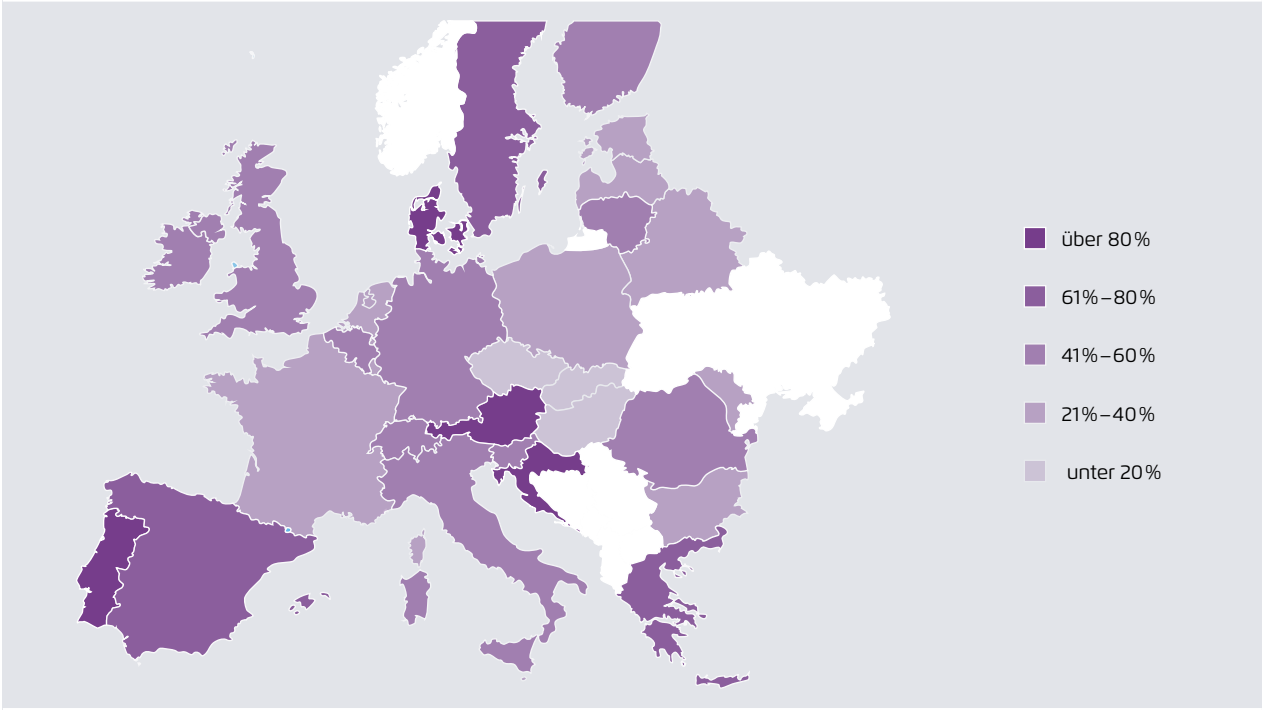
Bis 2030 sollte Europa seine Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um mindestens 50 Prozent reduzieren. Dies bedeutet eine Erhöhung der Effizienz- und Erneuerbaren-2030-Ziele um jeweils drei Prozentpunkte, also in beiden Fällen von 27 Prozent auf 30 Prozent.[58] Angesichts der drastisch fallenden Kosten für Erneuerbare Energien (vgl. Kapitel 1) und des hohen Werts der Energieeffizienz (vgl. Kapitel 3) ist dies auch für Wirtschaftlichkeit und Versorgungs-

sicherheit sinnvoll. Im Verkehrssektor bedeutet dies, dass bis 2030 europaweit die Energieeffizienz im Verkehr drastisch erhöht wird und etwa ein Viertel der Fahrzeugflotte aus Elektrofahrzeugen besteht. Für eine wirksame europäische Energiewende ist es nötig, die Integration der Energiesysteme über Ländergrenzen hinweg zu verstärken – und zwar auf drei Ebenen: in physikalischer Hinsicht durch den weiteren Ausbau von europäischer Infrastruktur vor allem bei Strom und Schiene, in ökonomischer Hinsicht durch die bessere Integration der Strom- und Gasmärkte sowie in politischer Hinsicht dadurch, dass jeder EU-Mitgliedstaat seine Energie- und Klimastrategien 2030 mit seinen Nachbarn abstimmt.

Was wir dafür tun müssen

Die von der EU-Kommission im *Clean-Energy*-Paket vorgeschlagenen Maßnahmen zur Harmonisierung der Energiesysteme in Europa sollten bis Ende 2018 verabschiedet werden. Das allein wird jedoch nicht reichen, gerade im Bereich der Erneuerbaren Energien müssen noch klare Ziele und verlässliche Rahmenbedingungen hinzukommen. Zentral sind zudem ein wirksamer CO_2-Preis im EU-Emissionshandel sowie zusätzliche Anstrengungen in den anderen Sektoren (Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft), um effizienten Klimaschutz anzureizen. Ein europaweiter CO_2-Mindestpreis sowohl innerhalb als auch außerhalb des Emissionshandels wäre hierfür eine geeignete Maßnahme. Zudem sind die Novellierungen der europäischen CO_2-Verordnungen für Pkw und Lkw zentrale Schlüssel dafür, Klimaschutz und Energieeffizienz im Straßenverkehr zu erreichen. So kann für europäische Autohersteller ein Heimatmarkt für Elektrofahrzeuge entstehen, der sie auch auf dem Weltmarkt wettbewerbsfähig macht. Und es braucht Unterstützung für die Regionen Europas, die einen Abschied vom Kohlebergbau organisieren müssen.

Nicht nur in Deutschland findet eine Energiewende statt: Ganz Europa wird 2030 einen Erneuerbare-Energien-Anteil am Stromverbrauch von mindestens 50 % haben — Abbildung 19



Eigene Darstellung nach E3MLab/IIASA (2017)

5.3 Effizienz 2030: *Efficiency First* als Leitprinzip

3) *Efficiency First* als Leitprinzip für Planungsprozesse und Investitionsentscheidungen verankern	
Wo wir heute stehen	→ Das Energiekonzept hat 2010 folgende Effizienzziele für 2020 formuliert: –10 % Stromverbrauch (gegenüber 2008), –20 % Wärmebedarf Gebäude (gegenüber 2008), –10 % Endenergieverbrauch des Verkehrs (gegenüber 2005). → Stand 2015 ist: Bruttostromverbrauch –4 %, Wärmebedarf Gebäude –11 %, Endenergieverbrauch Verkehr: +1 %. Die Flottenverbrauchsvorgaben für Pkws werden im Realbetrieb nicht erreicht, für Lkws existieren keine.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Der Stromverbrauch liegt 2030 in etwa auf dem Niveau von 2015, da sich Energieeffizienz und zusätzlicher Strombedarf aus Wärme und Verkehr ausgleichen. → Der gesamte Wärmeverbrauch sinkt bis 2030 gegenüber 2015 um 18 % (Gebäude –25 %, Industrieprozesse –10 %). → Der Endenergieverbrauch im Verkehr sinkt bis 2030 um ein Drittel gegenüber 2015. → Energieeffizienz und Flexibilität verschmelzen zu Flex-Efficiency.
Was wir dafür tun müssen	→ Verankerung von *Efficiency First* als maßgebliches Planungs- und Entscheidungsprinzip in allen energierelevanten Gesetzen → Verabschiedung eines Energieeffizienzgesetzes, das a) *Efficiency First* als zentrales Leitprinzip verankert, b) Ziele formuliert für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr, c) zentrale Maßnahmen (unter anderem Abschreibungen, Ausschreibungen, Standards) bündelt und d) diese Maßnahmen dauerhaft mit 5 Mrd. Euro pro Jahr finanziert

Wo wir heute stehen

Energieeffizienz ist zentral für das Gelingen der Energiewende. Alle Ziele der Energiewende – Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit – werden durch mehr Energieeffizienz befördert. Dies gilt auch in einer Welt mit sehr hohen Erneuerbare-Energien-Anteilen. Denn Effizienz bedeutet weit mehr als das Nichtverbrennen von Kohle, Öl und Gas: Energieeffizienz hat einen Systemwert. So spart jede nicht benötigte Kilowattstunde Strom etwa 11 bis 15 Eurocent – als Ergebnis nicht benötigter Brennstoffe, Erneuerbare-Energien-Anlagen, Back-up-Kraftwerke, Speicher und Netze.[59] Gerade angesichts knapper werdender Flächen und sinkender Akzeptanz für neue Netze und Windkraftanlagen ist dies ein zentraler Vorteil.

Allerdings hat die allgemein akzeptierte große Bedeutung der Energieeffizienz bisher kaum politische Folgen. Während bei Erneuerbare-Energien- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wirksame Gesetze und Regelungen existieren, ist dies bei der Energieeffizienz nicht der Fall. Die Folge: Die im Energiekonzept 2010 beschlossenen Effizienzziele für 2020 werden vermutlich alle verfehlt, wobei dies im Verkehrssektor am eklatantesten sein wird.

Wo wir 2030 stehen wollen

Zentral für eine erfolgreiche Energiewende ist es, *Efficiency First* als umfassendes Leitprinzip der Energiewende zu etablieren. Um die Energiewende in Strom, Wärme und Verkehr kostenminimierend umzusetzen, wird der jeweilige Systemwert der Energieeffizienz zum Maßstab. Ziel ist es, den Wärmeverbrauch bis 2030 um rund 18 Prozent und den Energieverbrauch im Verkehr um etwa 30 Prozent unter das Niveau von 2015 zu senken (vgl. Kapitel 3). Der Stromverbrauch soll bis 2030 in etwa konstant bleiben, was einer Senkung des traditionellen Stromverbrauchs um etwa 15 Prozent gegenüber 2008 entspricht, um im Gegenzug den zusätzlichen Stromverbrauch aus Wärmepumpen, *Power-to-Heat*-Anlagen,

Elektroautos und strombasierten Heiz- und Kraftstoffen zu decken.

Effizienz im Jahr 2030 verschmilzt mit Flexibilität zu *Flex-Efficiency*. Denn Effizienz bekommt eine zeitliche Komponente: Energieeinsparung ist dann besonders viel wert, wenn wenig Wind- und Solarstrom verfügbar ist. Insbesondere die neuen Stromverbraucher aus den Sektoren Verkehr und Wärme werden ihren Bedarf flexibel steuern. So profitieren sie von niedrigen Strompreisen in Zeiten von hoher Wind- und Solarstromproduktion und machen gleichzeitig das System insgesamt kostengünstiger.

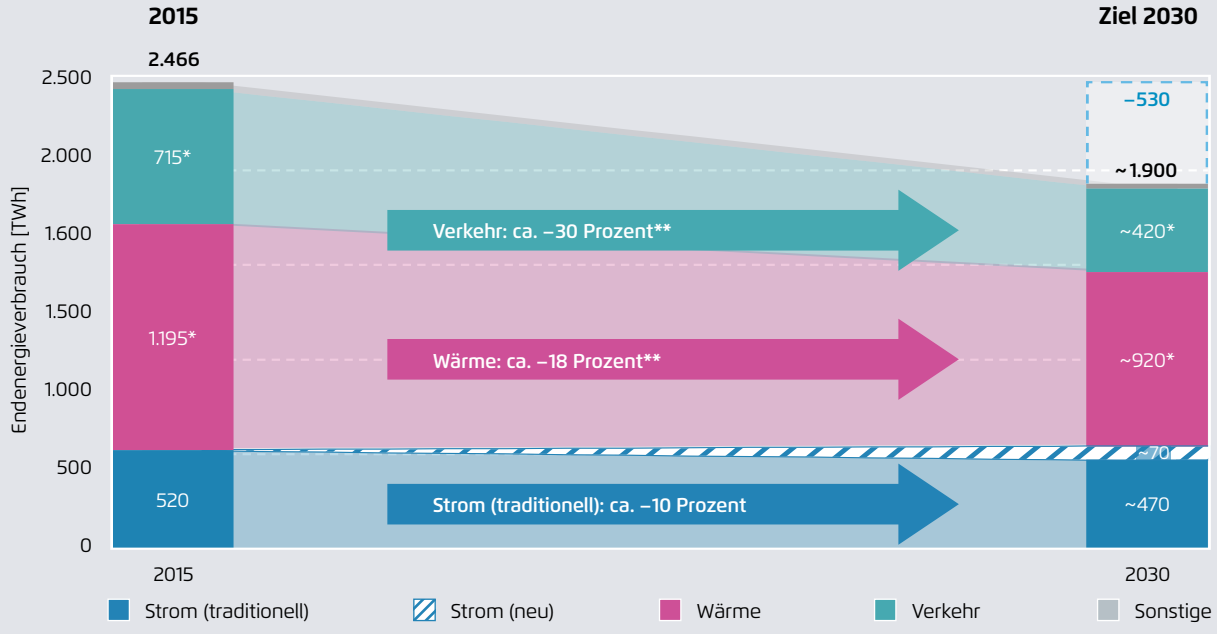
Was wir dafür tun müssen

Eine aktive Effizienzpolitik ist nötig. Denn die erwartbar moderaten Preise fossiler Rohstoffe (vgl. Kapitel 1) wirken Effizienzinvestitionen entgegen. *Efficiency First* in die Praxis umzusetzen, bedeutet daher:

- → der Energieeffizienz (beziehungsweise *Flex-Efficiency*) in allen Planungsprozessen, Abwägungen und Investitionsentscheidungen dann den Vorzug zu geben, wenn sie zu niedrigeren Systemkosten führt als andere CO_2-Vermeidungsoptionen (Erweiterung des Wirtschaftlichkeitsgebots);
- → die 2030-Energieeffizienzziele in allen drei Sektoren gesetzlich in einem Energieeffizienzgesetz zu verankern und mit effektiven Maßnahmen (unter anderem steuerliche Abschreibungen, Ausschreibungen, Bürgschaftsprogramme, Förderungen, Standards) zu unterlegen;
- → der Energieeffizienz auch finanziell den richtigen Stellenwert zu geben, das heißt, entsprechende Maßnahmen dauerhaft und verlässlich mit Mitteln von fünf Milliarden Euro pro Jahr zu finanzieren.

Durch die konsequente Umsetzung des Leitprinzips *Efficiency First* sinkt der Endenergieverbrauch bis 2030 in allen Sektoren deutlich

Abbildung 20



*exkl. Stromanteil; **inkl. Stromanteil
Die Endenergieverbräuche bei Wärme und Verkehr sind hier ohne den Stromanteil ausgewiesen. Dieser liegt im Wärme-/Kältesektor bei 2015 178 TWh und soll 2030 etwa 200 TWh betragen; der Stromanteil im Verkehr beträgt 2015 12 TWh und soll 2030 etwa 60 TWh betragen.
AGEB (2016a), eigene Berechnungen auf Basis Agora Energiewende (2016a), BMUB (2016), EWI/Prognos/GWS (2014a) Fraunhofer IWES/IBP 2017, UBA (2017c)

5.4 Erneuerbare Energien 2030: Mit Wind und Solar die Erneuerbaren Energien verdoppeln

4) Mit Wind- und Solarenergie die Erneuerbaren Energien im Stromsektor auf 60 % und am Primärenergieverbrauch auf 30 % steigern	
Wo wir heute stehen	→ Erneuerbare Energien haben sich von 2000 bis 2015 vervierfacht, ihr Anteil am Primärenergieverbrauch lag 2015 dennoch nur bei 13 %. → Wind- und Solarstrom haben den Technologiewettbewerb innerhalb der Erneuerbaren Energien gewonnen: Sie sind kostengünstig und haben das größte Potenzial. → Als Folge ist der Anteil der Erneuerbaren Energien in den Energiesektoren 2015 sehr unterschiedlich. Im Stromsektor liegt er bei 32 %, im Wärme/Kälte-Sektor bei 13 %, im Verkehrssektor bei 5 %.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Erneuerbare Energien stehen im Zentrum des Energiesystems. Sie stellen 60 % des Stromverbrauchs und 30 % des Primärenergieverbrauchs. → Wind- und Solarenergie sind die Leittechnologien nicht nur für Strom, sondern auch für Wärme und Verkehr. Sie stehen bei ausreichendem CO_2-Preis voll im Markt und erbringen Systemdienstleistungen zur Stabilität des Stromnetzes. → Benzin, Diesel, Heizöl und Erdgas haben zunehmend steigende Anteile von strombasierten Kraft- und Heizstoffen auf Basis von Wind- und Solarstrom.
Was wir dafür tun müssen	→ Anpassung des 2030-Ziels im Erneuerbare-Energien-Gesetz auf 60 %, damit neuer Stromverbrauch im Wärme- und Verkehrssektor vollständig CO_2-frei abgedeckt wird → Anpassung der Zubaumengen im Erneuerbare-Energien-Gesetz: Onshore-Windkraft: 2,5 GW pro Jahr netto; Offshore-Windkraft: 20 GW im Jahr 2030; Photovoltaik: 2,5 GW pro Jahr netto → Beimischung von *Power-to-Gas*- bzw. *Power-to-Liquid* zu Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel

Wo wir heute stehen

Erneuerbare Energien sind heute fester Bestandteil des Energiemixes. Ihr Anteil am Primärenergieverbrauch ist in den Jahren 2000 bis 2015 von 3 auf 13 Prozent gestiegen.[60] Dabei prägen sie die Energiesektoren sehr unterschiedlich: Bei Strom haben Erneuerbare inzwischen einen Anteil von 32 Prozent, bei Wärme/Kälte sind es 13 Prozent und bei Verkehr 5 Prozent.[61]

Ursache ist, dass Wind- und Solarstrom die kostengünstigsten und mit größtem Potenzial verfügbaren CO_2-freien Energieträger sind. Alle anderen Technologien – ob Kernenergie, CCS (*Carbon Capture and Storage*), oder andere Erneuerbare Energien – sind entweder deutlich teurer und/oder nur sehr begrenzt verfügbar. So lagen die jüngsten Auktionsergebnisse bei Windkraft (offshore und onshore) sowie Solarenergie in Deutschland bei nur noch fünf bis sechs Cent pro Kilowattstunde.

Wo wir 2030 stehen wollen

Erneuerbare Energien sind im Jahr 2030 die Leittechnologien des Energiesystems. Ihr Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch liegt 2030 bei 30 Prozent, wobei der Anteil am Stromverbrauch mit 60 Prozent am höchsten sein wird. Der Anteil Erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch steigt auf 30 Prozent, im Verkehrssektor auf 15 Prozent.

Mit Erzeugungskosten von drei bis fünf Cent pro Kilowattstunde sind Wind- und Solarstrom im Jahr 2030 extrem günstig und können sich – einen angemessenen CO_2-Preis vorausgesetzt – selbst am Strommarkt behaupten. Erneuerbare Energien, kom-

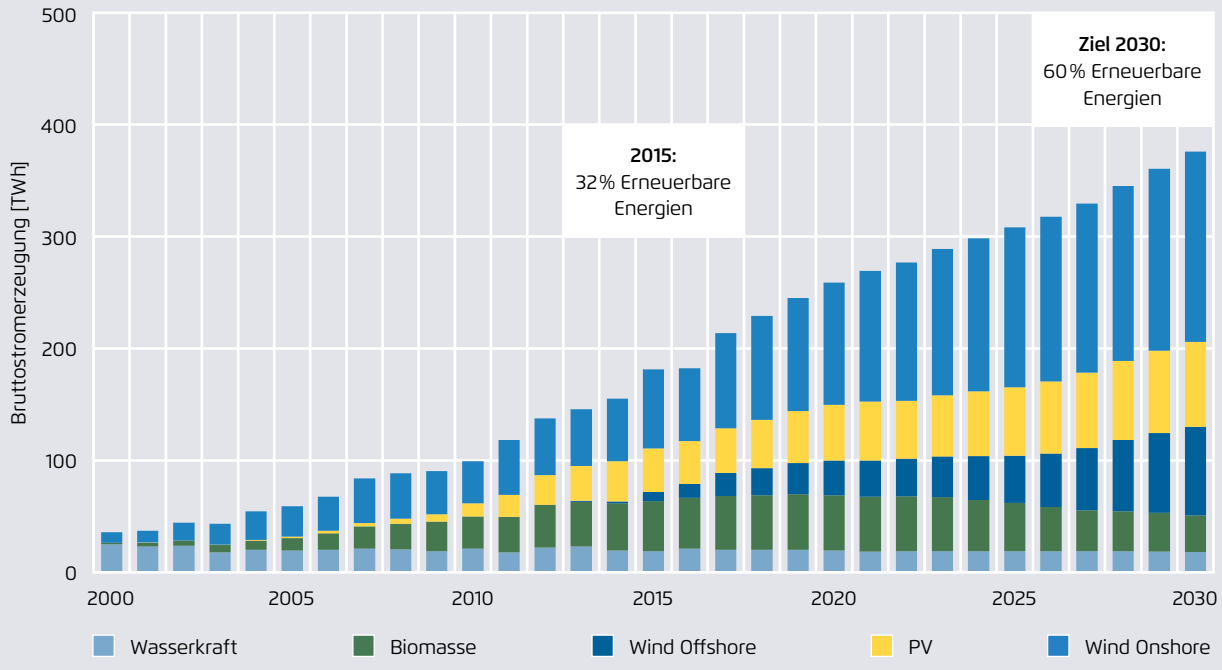
biniert mit Speichern, übernehmen zudem zusehends Systemdienstleistungen. Wind- und Solarstrom stellen 2030 die Hälfte der Stromerzeugung und wirken über Wärmepumpen, *Power-to-Heat*-Anlagen und Elektromobilität auch in den Wärme- und Verkehrssektor. Ergänzt wird dies durch weiteren Zubau bei Solar- und Geothermie. Dort, wo Wind- und Solarstrom nicht direkt genutzt werden kann (insbesondere Flug-, Schiffs-, Teile des Lkw-Verkehrs sowie Hochtemperaturprozesse in der Industrie und KWK-Anlagen), werden strombasierte Treib- und Heizstoffe im Zentrum stehen. Ihre Anteile werden sukzessive steigen.

Was wir dafür tun müssen

Das Ausbauziel des Erneuerbare-Energien-Gesetzes wird auf einen Erneuerbaren-Anteil von 60 Prozent am Stromverbrauch 2030 angepasst, damit die zusätzlichen Stromverbräuche aus Wärme und Verkehr CO_2-frei abgedeckt werden. Die jährlichen Zubaumengen (netto) werden daher bei Onshore-Windkraft und Photovoltaik auf 2,5 Gigawatt angehoben. Offshore-Windkraftanlagen sollen im Jahr 2030 einen Bestand von 20 Gigawatt haben.[62]

Zur Erhöhung der Erneuerbaren-Anteile im Wärmesektor wird ein Bundesprogramm „CO_2-freie Wärmeversorgung" aufgelegt, das die Wärmenetze auf Niedertemperaturnetze umrüstet und nach und nach mit höheren Erneuerbaren-Anteilen ausstattet. Zudem erfolgt eine flächendeckende Einführung von Elektroautos und von Wärmepumpen (entweder als reine Wärmepumpen oder als Hybridsysteme mit fossil betriebenen Kesseln). Um Heiz- und Kraftstoffe sukzessive CO_2-ärmer zu machen, werden PtG und PtL beigemischt. Diese strombasierten Heiz- und Kraftstoffe werden entweder im Inland hergestellt oder importiert.

Im Zentrum stehen Wind und Solar: Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien wird sich bis 2030 in etwa verdoppeln — Abbildung 21



AGEB (2017b), eigene Berechnungen auf Basis Öko-Institut (2017a)

5.5 Fossile Energien 2030: Kohle und Erdöl halbieren, *Power-to-Gas* und *-Liquid* einführen

5) Die CO_2-intensiven Energieträger Kohle und Öl halbieren, mit der Markteinführung strombasierter Heiz- und Kraftstoffe beginnen	
Wo wir heute stehen	→ Über 80 % Emissionen im Stromsektor stammen von Braun- und Steinkohlekraftwerken. → Im Wärmesektor verteilen sich die Emissionen wie folgt: Kohle 23 %, Erdöl 28 %, Erdgas 44 %. → Der Verkehr ist fast vollständig von Mineralöl abhängig, 99 % der Emissionen stammen aus Benzin und Diesel.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Die energiebedingten Treibhausgasemissionen liegen 60 % unter dem Niveau von 1990. Dies bedeutet eine Halbierung des Kohle- und Ölverbrauchs gegenüber 2015. → Energieeffizienz sowie Wind- und Solarstrom ersetzen Kohle und Öl, u. a. durch erfolgreiche Sanierung von 50 % der Gebäude, Senkung des Verbrauchs von Diesel- und Benzin-Pkw, den Einsatz von zehn bis zwölf Millionen E-Autos sowie fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen. → Strombasierte Kraft- und Heizstoffe durchdringen verstärkt den Markt für Benzin, Diesel, Heizöl und Erdgas. *(Power-to-Liquid* und *Power-to-Gas).*
Was wir dafür tun müssen	→ Intelligenter Instrumentenmix aus CO_2-Bepreisung, Standards, Förderprogrammen und Quotenregelungen → Im Jahr 2018 Vereinbarung eines Kohlekonsenses mit Reduktion der Kohlenutzung um 50 % bis 2030, gesetzlichem Ausstiegsfahrplan für Kraftwerke (3 GW pro Jahr) und Tagebaue sowie Strukturhilfen für betroffene Regionen → Im Jahr 2020 Vereinbarung eines Öl- und Gaskonsenses mit Reduktion der Ölnutzung um 50 % bis 2030, Elektromobilitäts- und Wärmepumpenoffensive sowie Markteinführungsstrategie für strombasierte Kraft-und Heizstoffe

Wo wir heute stehen

Die energiebedingten Treibhausgasemissionen sind unmittelbar an die Verbrennung fossiler Brennstoffe gekoppelt. Braun- und Steinkohle sind die CO_2-intensivsten Energieträger, gefolgt von Öl. So sind im Jahr 2015 82 Prozent der Treibhausgasemissionen im Stromsektor auf Kohle zurückzuführen, 51 Prozent der Emissionen im Wärmesektor auf Kohle und Erdöl und 99 Prozent der Emissionen des Verkehrssektors auf Erdöl.[63] Von diesen fossilen Energieträgern ist einzig die Braunkohle ein relevanter inländischer Wirtschaftsfaktor.[64]

Wo wir 2030 stehen wollen

Eine deutliche Reduktion des Verbrauchs der CO_2-intensivsten Energieträger ist die logische Konsequenz jeglicher kostenbewussten Klimapolitik, da CO_2-Abscheidung und -Speicherung weitaus teurer ist als Effizienz und Erneuerbarer Energien. Für den Kohle- und Erdölverbrauch bedeutet dies eine Reduktion um 50 Prozent bis 2030 gegenüber 2015. Der Kohleausstieg im Stromsektor ist damit etwa zur Hälfte vollzogen, der Ölausstieg im Wärmesektor zu zwei Dritteln und im Verkehr zu 40 Prozent. Erdgas wird als Brückentechnologie bis 2030 noch weiterhin eine wesentliche Rolle im Strom- und Wärmesektor spielen und daher weniger reduziert.

Dies bedeutet neben einer massiven Erhöhung der Energieeffizienz eine deutliche Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors auf Basis von Wind- und Solarstrom. Im Jahr 2030 werden zehn bis zwölf Millionen Elektroautos auf Deutschlands Straßen fahren und in den Häusern fünf bis sechs Millionen

Wärmepumpen für die Wärmeversorgung eingesetzt, die Hälfte davon als bivalente Heizungssysteme mit einem gas- oder ölbetriebenen Zusatzkessel.

Im Jahr 2030 spielen strombasierte Heiz- und Kraftstoffe bereits eine relevante Rolle. Zentrale Anwendungsfelder sind Hochtemperaturprozesse in der Industrie, Flug-, Schiffs- und Teile des Lkw-Verkehrs. Sie werden teilweise durch eigens installierte Offshore-Windparks produziert, teilweise aber auch importiert.

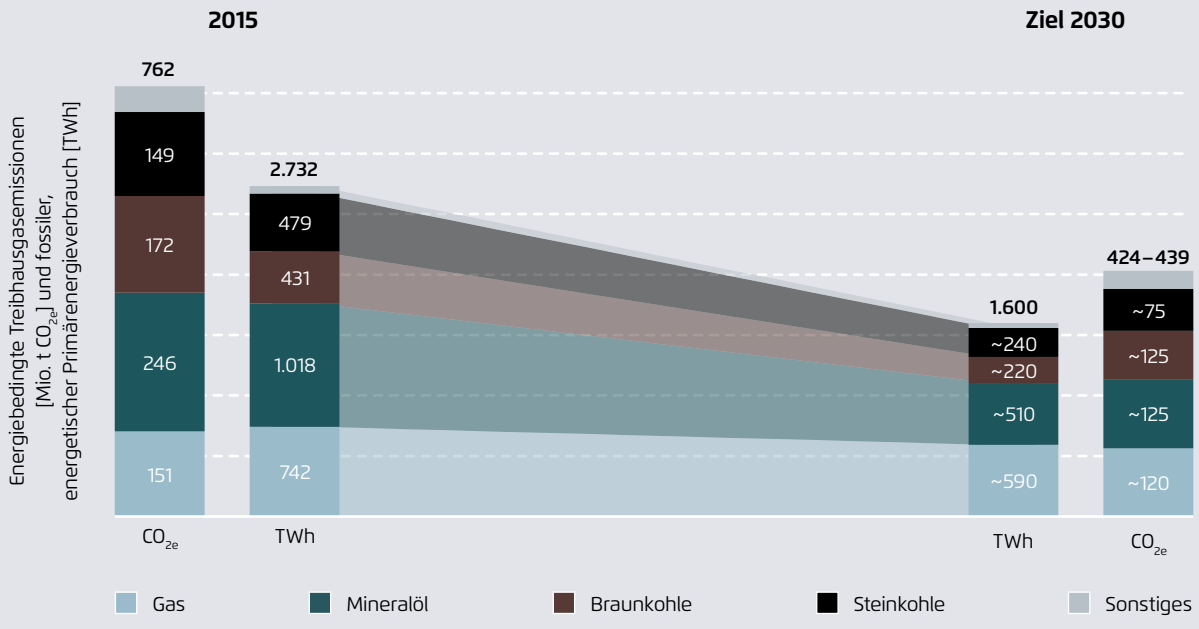
Was wir dafür tun müssen

Eine Reform der CO_2-Bepreisung (vgl. Programmpunkt 6) ist wesentlicher Bestandteil jeder effizienten 2030-Strategie. Begleitet wird dies durch Auktionen in Bereich Erneuerbare Energien und Energieeffizienz, intelligente Fördermaßnahmen (wie etwa überarbeitete Förderprogramme für Gebäudesanierung und erneuerbare Wärme), Ordnungsrecht (wie etwa ein Gebäudeenergiegesetz beziehungsweise novellierte CO_2-Pkw- und CO_2–Lkw-Verordnungen) und Quotenregelungen (denkbar etwa im Bereich der Kraft- und Heizstoffe zur Markteinführung von *Power-to-Liquid*- und *Power-to-Gas*).

Darüber hinaus steht zügig, das heißt noch 2018, im Stromsektor ein Kohlekonsens auf der Tagesordnung, der mit allen beteiligten Akteuren einen schrittweisen und sozial verträglichen Ausstieg aus den Braunkohletagebauen sowie den Braun- und Steinkohlekraftwerken vereinbart. Vergleichbares gilt für den Wärme- und Verkehrssektor: Hier ist 2020 ein Öl- und Gaskonsens nötig, gerade auch, um der Automobil- und Heizungsindustrie klare Signale für die künftige Strategie bei Elektrifizierung und strombasierten Kraft- und Heizstoffen zu geben.

Damit die energiebedingten Treibhausgasemissionen bis 2030 um rund 60 Prozent gegenüber 1990 zurückgehen, muss der Verbrauch von Kohle und Öl gegenüber heute halbiert werden

Abbildung 22



AGEB (2017a), UBA (2017a), eigene Berechnungen auf Basis EWI/Prognos/GWS (2014a)

5.6 Abgaben und Umlagen 2030: CO_2 endlich angemessen bepreisen

6) Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelte grundlegend reformieren	
Wo wir heute stehen	→ Deutschland hat aufgrund von historisch gewachsenen Abgaben und Umlagen die zweithöchsten Strompreise in Europa. → Heizöl ist im europäischen Vergleich sehr billig, während Erdgas, Benzin und Diesel im Durchschnitt liegen. → Aufgrund dieser Preisverzerrung kann kein effizienter Klimaschutz über die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr hinweg stattfinden. → Die Stromnetzentgelte sind in Deutschland zudem regional sehr ungleich verteilt.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ CO_2 hat einen wirksamen Preis in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Der Stromverbrauch wird dadurch günstiger, fossile Energien werden teurer. → Die Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelte auf Energie sind komplett umstrukturiert, sodass in allen Sektoren die jeweils kostengünstigste Klimaschutzoption zum Zuge kommt.
Was wir dafür tun müssen	→ Einführung eines CO_2-Mindestpreises im EU-Emissionshandel → Vereinheitlichung der klimarelevanten Abgaben (EEG-/KWK-Umlage sowie die Ökosteuern auf Strom, Heizöl, Erdgas, Benzin und Diesel) über Sektorengrenzen hinweg auf einer gemeinsamen CO_2-Basis → Stromnetzentgelte verursachergerecht umstrukturieren → Relevante Steuern bei Verkehr und Wärme (Kfz-Steuer, Dienstwagenbesteuerung, Grundsteuer, Grunderwerbsteuer) werden aufkommensneutral nach CO_2-Kriterien umgestaltet

Wo wir heute stehen

Das historisch gewachsene System von Strom- und Energiesteuern, Abgaben und Umlagen ist ein zentrales Hindernis für eine kosteneffiziente Energiewende. So trägt der Stromverbrauch hohe Steuern, Abgaben und Umlagen. Hingegen werden der Verbrauch von Heizöl und Erdgas kaum belastet und der Verbrauch von Benzin und Diesel nur mäßig. Im Ergebnis hat Deutschland die zweithöchsten Strompreise in Europa, liegt bei für Diesel, Benzin und Erdgas im Mittelfeld und bei Heizöl im untersten Drittel.

Die aus ökonomischer Sicht effizienteste Strategie für den Klimaschutz, CO_2 einen (einheitlichen) Preis zu geben, scheitert damit eklatant. Das Ergebnis ist, dass Strom aus Wind- und Solarenergie etwa für Elektromobilität oder Wärmepumpen an der Steckdose sehr teuer gemacht wird, während fossile Energieträger kaum besteuert werden und dauerhaft billig bleiben. Darüber hinaus verhindert die Art der Erhebung der Abgaben, Umlagen und Netzentgelte, dass Stromverbraucher flexibel darauf reagieren, ob viel oder wenig Wind- und Solarstrom im Netz ist. Stattdessen finanzieren sich Eigenerzeugungsanlagen verstärkt darüber, dass sie staatlich veranlasste Preisbestandteile vermeiden. Die Netzentgelte sind zudem in den Regionen Deutschlands, in denen das Stromnetz ausgebaut wird, am höchsten, da die Netzkosten nur regional gewälzt werden.

Wo wir 2030 stehen wollen

Im Jahr 2030 hat CO_2 einen einheitlichen Preis über die Sektorengrenzen hinweg. Die jeweils effizienteste Klimaschutztechnologie setzt sich aufgrund

des Preiswettbewerbs durch. Im Ergebnis wird der Stromverbrauch, der immer stärker auf Erneuerbaren Energien basiert, günstiger und der Verbrauch fossiler Energien wird teurer.

Die Abgaben, Umlagen und Entgelte auf Strom werden dabei so erhoben, dass sie die Preissignale des Börsenstrommarkts möglichst wenig verzerren. Dies belohnt Flexibilität beim Stromverbrauch, sodass der Stromverbrauch in Zeiten hoher Wind- und Solarstromproduktion steigt und in Knappheitssituationen sinkt.

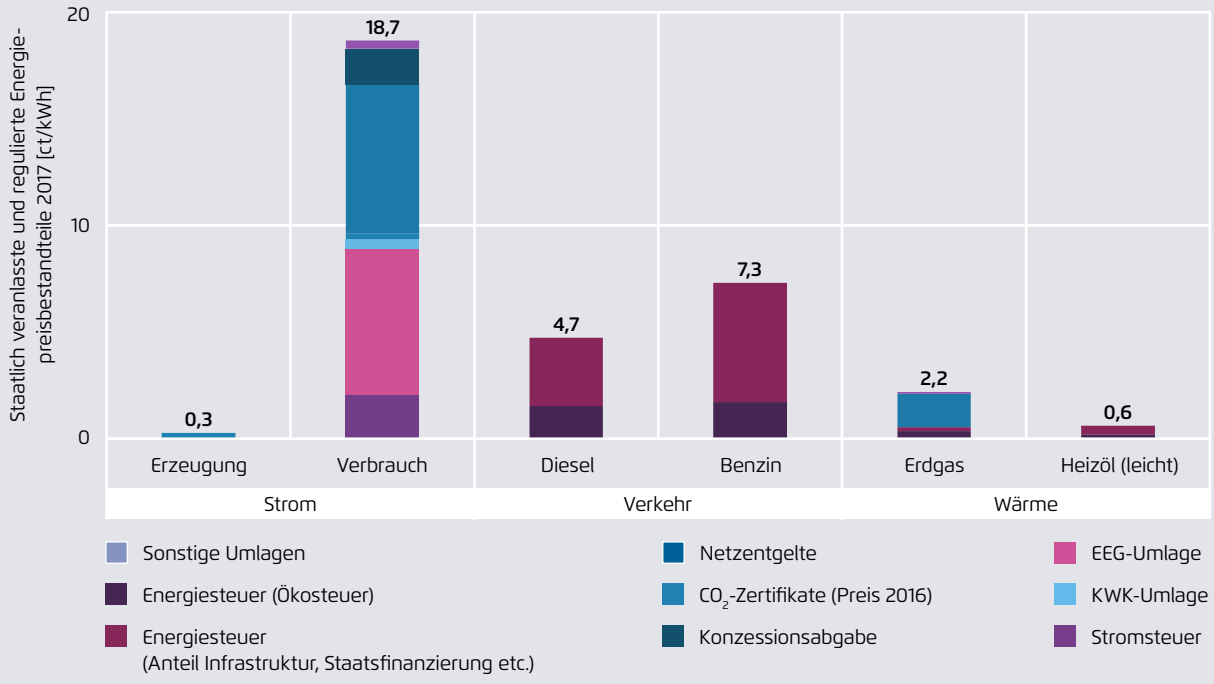
Was wir dafür tun müssen

Eine grundlegende Reform der Steuern, Abgaben und Umlagen auf Energie ist dringlich. Solange das Preisgefüge der Energieträger aus dem Lot ist, kann die Energiewende kaum gelingen. Am sinnvollsten ist es, den CO_2-Gehalt der Energieträger für die Festlegung der Steuern, Abgaben und Umlagen zugrunde zu legen. Kernelemente einer Reform sind daher:[65]

- → die Einführung eines CO_2-Mindestpreises im EU-Emissionshandel;
- → die Ökosteuern auf Strom, Heizöl, Erdgas, Benzin und Diesel (inklusive der EEG- und KWK-Umlage) so neu zu justieren, dass sie sich auf eine einheitliche CO_2-Bepreisung stützen;
- → die Netzentgelte auf Strom auf eine verursachergerechte Basis zu stellen.

Im Wärme- und Verkehrssektor sind noch andere steuerliche Regelungen einen wesentlich, etwa die Kraftfahrzeugsteuer, die Dienstwagenbesteuerung, die Grunderwerbsteuer und die Grundsteuer. Diese sollten aufkommensneutral nach CO_2-Kriterien umgestaltet werden und so die Wärme- und Verkehrswende ermöglichen.

Die Steuern, Abgaben, Umlagen und Entgelte im Energiesektor sind sehr ungleich verteilt – und der Stromverbrauch ist am stärksten belastet Abbildung 23



Agora Energiewende (2017a)

5.7 Netze 2030: Strom-, Wärme- und Verkehrsnetze ausbauen und modernisieren

7) Stromzielnetz bauen, Wärme- und Gasnetze modernisieren, Verkehr elektrifizieren	
Wo wir heute stehen	→ Stromnetz und -markt folgen dem Konzept der „Kupferplatte" und der einheitlichen Preiszone. → Der Stromnetzausbau ist stark umstritten und erfolgt bislang nur schleppend; von 7.700 beschlossenen neuen Übertragungsnetzkilometern sind bislang 1.400 genehmigt und 850 gebaut. → Gas- und Wärmenetze sind bislang von der Energiewende kaum betroffen und nach wie vor weitestgehend auf fossile Energieträger ausgelegt. → Im Verkehrssystem fehlt eine ausreichende elektrische Infrastruktur.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Auf Basis des beschlossenen Netzausbaus wird ein Zielnetz 2050 geplant, das ohne weitere Stromtrassen auskommt. Innovative Netzsteuerung, *Smart Markets* und mehr Kapazität in bestehenden Stromtrassen optimieren die Auslastung der Stromnetze. → Niedertemperaturwärmenetze nehmen die stetig steigenden Anteile von erneuerbarer Wärme auf. Gasnetze werden mit Blick auf einen sinkenden Wärmebedarf und steigende *Power-to-Gas*-Anteile neu ausgelegt. → Die Infrastruktur für mehr Bahnverkehr und mehr Elektromobilität steht.
Was wir dafür tun müssen	→ Novellierung der gesetzlichen Planung des Stromnetzausbaus mit Blick auf die Planung eines Zielnetzes 2050 sowie auf die Einführung innovativer Netzsteuerung und die Etablierung von regionalen *Smart Markets* → Flächendeckende Erarbeitung und Umsetzung von kommunalen Wärmestrategien 2050, um die Wärme- und Gasnetze kontinuierlich auf sinkenden Wärmebedarf und CO_2-arme Technologien umzurüsten → Ausbau und verstärkte Elektrifizierung der Schienennetze, Bau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur für Elektroautos, Installation von Oberleitungstrassen für Hybrid-Lkws an zentralen Autobahnen

Wo wir heute stehen

Das Stromsystem folgt dem Konzept der „Kupferplatte", sodass Netzengpässe innerhalb Deutschlands auf dem Strommarkt nicht berücksichtigt werden. Dieses Prinzip, das die Kosten des Stromsystems minimieren soll, sowie die Tatsache, dass der Windkraftzubau vor allem im Norden Deutschlands stattfindet, erzeugen einen Ausbaubedarf im Übertragungsnetz. Dieser stößt jedoch auf Widerstand – so sind von den beschlossenen 7.700 zusätzlichen Netzkilometern erst 850 Kilometer gebaut. Während bei den Stromnetzen über den Aus- und Umbau heftig diskutiert wird, ist dies bei den Wärme- und Gasnetzen kaum der Fall. Diese sind nach wie vor ausgelegt auf fossile Heiz(kraft)werke beziehungsweise importiertes Erdgas; der Erneuerbare-Energien-Anteil ist gering. Und bei den Verkehrsnetzen hat eine Beschäftigung mit der Frage, welche Infrastruktur im Zuge der Verkehrswende nötig wird, noch gar nicht richtig begonnen.

Wo wir 2030 stehen wollen

Im Jahr 2030 ist der heute beschlossene Übertragungsnetzausbau realisiert. Auf dieser Basis existiert ein Zielnetz 2050, das ohne neue Stromtrassen auskommt und das Prinzip der Kupferplatte aufgibt. Stattdessen wird der Stromtransportbedarf, der durch den Schritt von 60 auf 90 Prozent Erneuerbarer Energien entsteht, alternativ gelöst: durch innovative Netzsteuerung, eine Erhöhung der Kapazität auf bestehenden

Stromtrassen sowie regionale *Smart Markets*.[66] Um die Wärmeinfrastruktur langfristig CO_2-frei zu gestalten, sind 2030 alle Wärmenetze Niedertemperaturnetze, die viele CO_2-arme Wärmequellen einbinden (Solar- und Geothermie, Großwärmepumpen, Elektrodenkessel, Biomasseanlagen, Abwärme). Gasnetze werden neu ausgelegt auf einen sinkenden Wärmebedarf und auf steigende *Power-to-Gas*-Anteile.

Die Verkehrsnetze im Jahr 2030 haben einen hohen und stetig steigenden Elektrifizierungsgrad. Schienennetze sind ausgebaut und elektrifiziert, die Infrastruktur für zehn bis zwölf Millionen Elektroautos wurde geschaffen und auf zentralen Autobahnen in Deutschland sind Oberleitungs-Lkws inzwischen Standard.

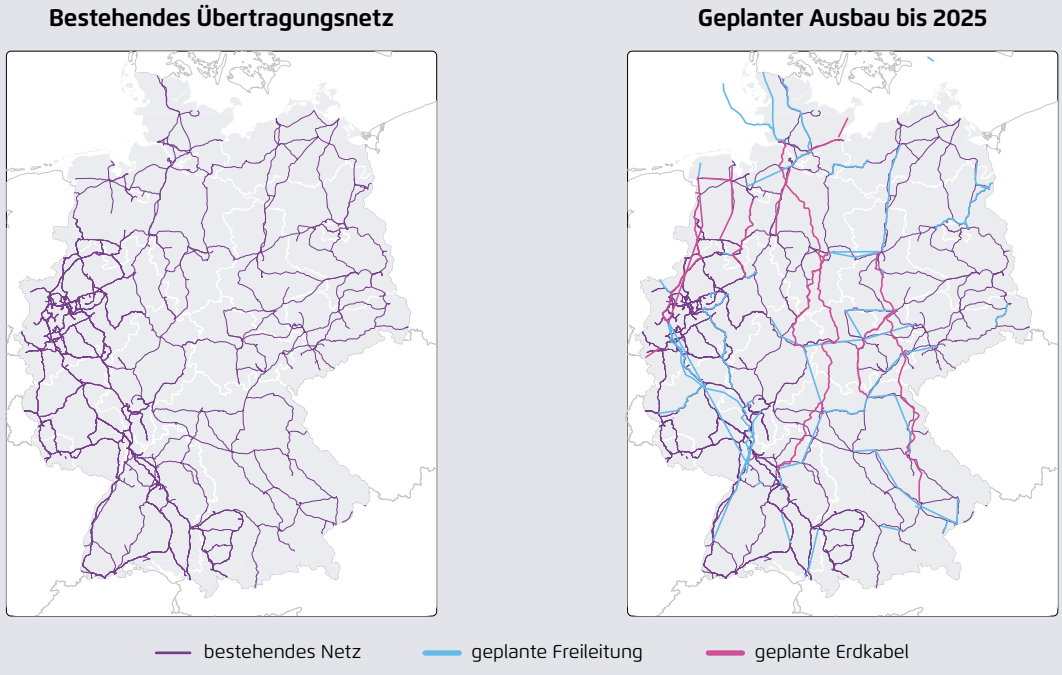
Was wir dafür tun müssen

Die gesetzliche Planung des Stromnetzausbaus wird grundlegend geändert, sodass statt zweijähriger Ausbaupläne auf Übertragungsnetzebene ein Zielnetz 2050 erarbeitet wird. Zudem wird im die automatisierte Systemführung als Standard der Netzsteuerung ab 2030 etabliert. Das Strommarktdesign wird so ergänzt, dass regionale *Smart Markets* etabliert werden.

Alle Kommunen erarbeiten mit finanzieller Unterstützung des Bundes kommunale Wärmestrategien 2050. Diese Strategien planen die Wärme- und Gasnetze in einer Welt mit sinkendem Wärmebedarf und stetig steigenden Erneuerbare-Energien-Anteilen.

Der Bundesverkehrswegeplan 2030 wird im Lichte einer Verkehrswendestrategie überarbeitet. Dabei werden Ausbau und Elektrifizierung der Schienennetze, der Bau der Ladeinfrastruktur für Elektroautos sowie die Installation von ersten Oberleitungstrassen für Hybrid-Lkws prioritär finanziert.

Derzeit sollen bis 2025 rund 7.700 km neue Leitungen gebaut werden – der Ausbau der Strom-Übertragungsnetze kommt jedoch nur schleppend voran — Abbildung 24



Eigene Darstellung auf Basis BNetzA (2016), Tennet (2017), Tennet (2017), TransnetBW (2017)

5.8 Strommarkt 2030: Digitalisierung, Flexibilität, verlässlicher Investitionsrahmen

8) Einen flexiblen und digitalen Strommarkt organisieren, der Investitionen anreizt	
Wo wir heute stehen	→ Der Strommarkt 2.0 ist mit einer liquiden Strombörse und vielen Anbietern und Produkten sehr wettbewerblich organisiert. Regelenergie und Flexibilität kommen aber meist von fossil betriebenen Kraftwerken. → Erneuerbare Energien finanzieren sich über Ausschreibungen im EEG, Back-up-Kraftwerke sollen sich am Strommarkt über Peakpreise refinanzieren. → Das Niveau an Versorgungssicherheit ist sehr hoch.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Der Strommarkt ist äußerst kurzfristig und digital. Alle Anbieter und Nachfrager sind vernetzt und liefern Flexibilität sowie Regelenergie. → Erneuerbare Energien, Back-up-Kraftwerke, Stromspeicher und Lastmanagement finanzieren sich weitestgehend über den Strommarkt. → Das Versorgungssicherheitsniveau ist so hoch wie heute.
Was wir dafür tun müssen	→ Flächendeckende Digitalisierung, inklusive Smart Metern und variablen Stromtarifen → Reform der Abgaben, Umlagen und Regelenergie, damit Nachfrage und Speicher flexibel am Markt agieren → CO_2-Mindestpreis von 30 bis 50 EUR/t, der einen marktgetriebenen Erneuerbare-Energien-Zubau ermöglicht → Auktionen auf Leistung sichern Ausbauziele bei den Erneuerbaren ab → Kapazitätsreserve gewährleistet Versorgungssicherheit und wird nur dann von Kapazitätsmarkt abgelöst, falls sie zu groß wird (z. B. >15 GW)

Wo wir heute stehen

Der Strommarkt ist geprägt von einer liquiden Strombörse. Kunden können aus einer Vielzahl von Stromvertrieben auswählen. Allerdings ist er in seinem Kern immer noch in der alten Welt: Die Flexibilität wird fast ausschließlich von Kohle- und Gaskraftwerken geliefert, Erneuerbare-Energien-Anlagen erhalten feste Vergütungen, und die meisten Stromnachfrager reagieren nicht flexibel auf die Schwankungen des Börsenstrompreises.

Das 2016 beschlossene Strommarktdesign reagiert hierauf:[67] Die Förderung von Erneuerbare-Energien-Anlagen erfolgt von nun an vor allem über Ausschreibungen. Stromhändlern drohen hohe Strafzahlungen (20.000 Euro je Megawattstunde), falls sie ihre Stromnachfrage nicht decken können. Um kein Risiko für die Versorgungssicherheit einzugehen, wurde eine Kapazitätsreserve geschaffen. Zudem sollen ab 2017 nach und nach alle Verbraucher *Smart Meter* erhalten.

Wo wir 2030 stehen wollen

In einer Welt mit 50 Prozent Wind- und Solarstromproduktion organisiert der Strommarkt in jeder Minute den optimalen Ausgleich zwischen dem schwankenden Stromangebot und der Stromnachfrage. Minutengenaue Abrechnungs- und Preismodelle binden digital alle Stromanbieter, -nachfrager und -speicher ein. Aktive Stromvertriebe bieten ihren Kunden individuelle Lösungen an, die je nach Situation (mit/ohne Solaranlage, Elektroauto, Wärmepumpe, Stromspeicher) Preis, Eigenverbrauch und Komfort optimieren. In diesem hochflexiblen Strommarkt finanzieren sich Erneuerbare Energien, Back-up-Kraftwerke, Stromspeicher und Lastmanagement weitestgehend am Markt. Staatliche Eingriffe redu-

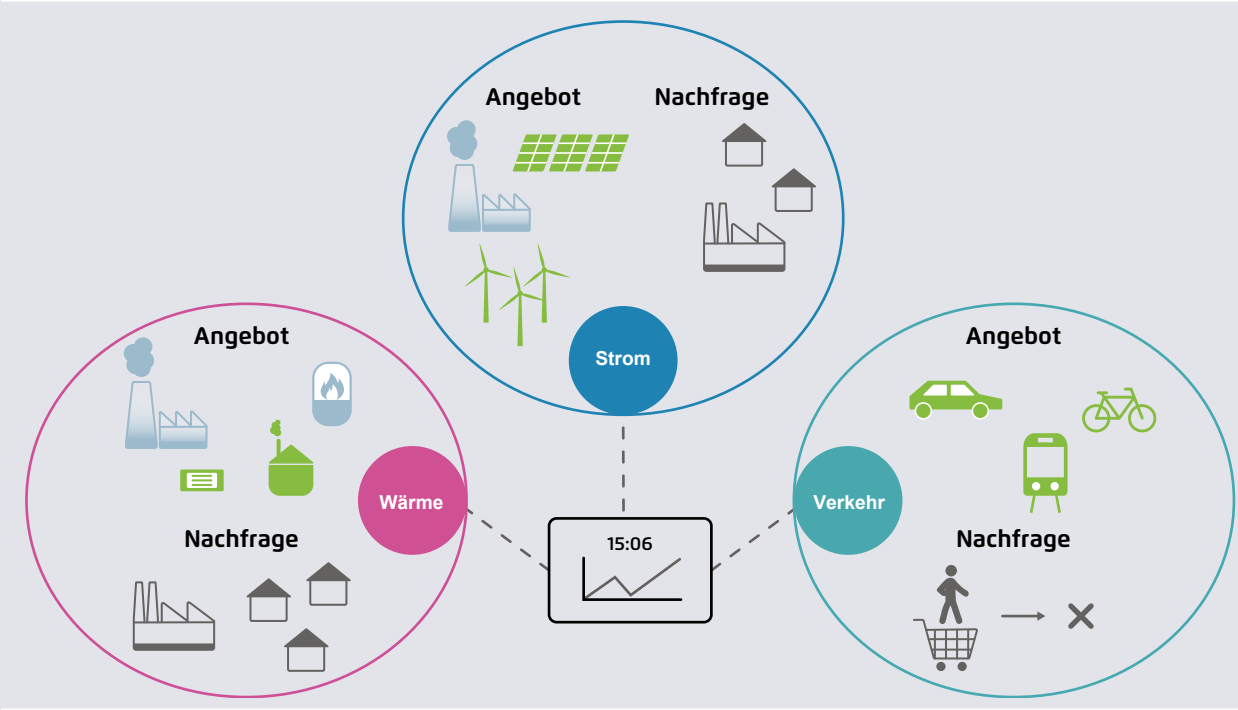
zieren sich auf ein Minimum, um die CO_2-Ziele und Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Was wir dafür tun müssen

Damit der Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage auf Minutenbasis funktioniert und sich Investitionen in Neuanlagen tragen, müssen folgende Schritte erfolgen:

- → Flächendeckende Einführung von *Smart Metern* und variablen Stromtarifen: Bis 2030 müssen alle Kunden mit variabler Last (Industriebetriebe, aber auch Privathaushalte mit Wärmepumpen, PV-Speichersystemen oder Elektroautos) durch eine minutengenaue Bepreisung des Stroms flexibel auf die Marktsituation reagieren können. Die Abgaben und Umlagen dürfen dabei nicht die Flexibilitätssignale des Strommarkts verzerren.
- → Einführung eines angemessenen CO_2-Preises, der nicht nur die Halbierung der Kohleverstromung bis 2030 unterstützt, sondern es auch Erneuerbare-Energien-Anlagen ermöglicht, in einer Welt niedriger Preise für fossile Brennstoffe mit Kohle- und Gasbestandskraftwerken zu konkurrieren.[68] Diese sollten jedoch von Kilowattstunden auf Kilowatt-Prämien umgestellt werden, damit Erneuerbare Energien ihren Einsatz am Strom- und Regelenergiemarkt effizient optimieren.
- → Es kommt regelmäßig zu einer ausreichenden Zahl von Stunden mit (potenziellen) Peakpreisen, um Back-up-Kraftwerken und Speichern zu refinanzieren. Geschieht dies nicht oft genug, dürften Kraftwerke stillgelegt und in die Kapazitätsreserve übernommen werden. Sollte die Kapazitätsreserve zu groß werden (z. B. >15 Gigawatt), ist es sinnvoller, sie von einem Kapazitätsmarkt abzulösen. Dieser dürfte dann jedoch nicht dem Kohleausstieg zuwiderlaufen.

Der kosteneffizienzte Strommarkt im Jahr 2030 ist digital, flexibel und gewährleistet ein hohes Maß an Versorgungssicherheit — Abbildung 25



Eigene Darstellung

5.9 Industrie 2030: Die Energiewende als industriepolitisches Projekt organisieren

9) Chancen nutzen, Risiken minimieren: Eine zukunftszugewandte Energiewende-Industriepolitik	
Wo wir heute stehen	→ Die deutsche Industrie ist international wettbewerbsfähig. Dies gilt auch im Bereich der Energiekosten, da hier für die betroffene Industrie ausreichende Ausnahmeregelungen geschaffen wurden. → In weiten Teilen der Industrie herrscht Verunsicherung über den weiteren Fortgang der Energiewende und den Fortbestand der Ausnahmeregelungen. → Die Automobilindustrie hat auf dem Zukunftsmarkt Elektromobilität eine starke globale Konkurrenz. → Global wird doppelt so viel in Erneuerbare wie in fossile Energien investiert.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Die Industrie ist in Deutschland auch bei einem Anteil von 60 Prozent Erneuerbaren im Stromsektor wettbewerbsfähig, insbesondere mit Blick auf Energiekosten und Versorgungssicherheit. → Moderne Fertigungsprozesse, die auf dem Konzept von Flex-Efficiency beruhen, sind Standard. → Die deutsche Industrie nutzt die Wachstumschancen, die die Energie- und Verkehrswende und die globalen Transformationen der Energie- und Automärkte bieten.
Was wir dafür tun müssen	→ Wirtschaft und Politik vereinbaren einen „Zukunftspakt Energiewende und Industriepolitik". Darin erkennt die Industrie die Klimaschutzziele an und unterstützt die Politik bei ihrer Umsetzung. Im Gegenzug garantiert die Politik in Deutschland dauerhaft wettbewerbsfähige Energiekosten. → Gezielte Anreize sorgen dafür, dass Produktionsprozesse effizienter und flexibler werden, eine gemeinsame Forschungsagenda sorgt für die notwendigen Innovationen und Investitionen am Industriestandort Deutschland. → *„Energy Transition made in Germany"* wird zum Markenkern einer Exportoffensive.

Wo wir heute stehen

In den letzten 15 Jahren stieg der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung von 6 auf über 30 Prozent und die deutsche Industrieproduktion um 25 Prozent. Bisher verliefen also Energiewende und industrielle Entwicklung weitgehend parallel. Ein Grund hierfür ist, dass die deutschen Börsenstrompreise wettbewerbsfähig sind und dass bei Abgaben, Umlagen und Steuern für die Industrie ausreichende Ausnahmeregelungen geschaffen wurden.

Teile der deutschen Industrie stehen der Energiewende dennoch skeptisch gegenüber. Eine Ursache ist die Unsicherheit, ob diese wettbewerbssichernden, Ausnahmeregelungen über mehrere Legislaturperioden hinweg bestehen bleiben. Diese Unsicherheit kann Investitionen hemmen und die positive Gestaltung der Energiewende verzögern.

So entsteht das Risiko, dass die deutsche Industrie an dem global stetig wachsenden Energiewende- und Verkehrswendemarkt nicht ausreichend partizipiert. Im Jahr 2015 wurden weltweit 260 Milliarden US-Dollar in Erneuerbare Energien investiert – doppelt so viel wie in neue fossile Kraftwerke. Eine ähnliche Entwicklung steht im Bereich der Elektromobilität bevor.

Wo wir 2030 stehen wollen

Auch bei einem Anteil von 60 Prozent Erneuerbaren Energien im Stromsektor ist die Industrie in

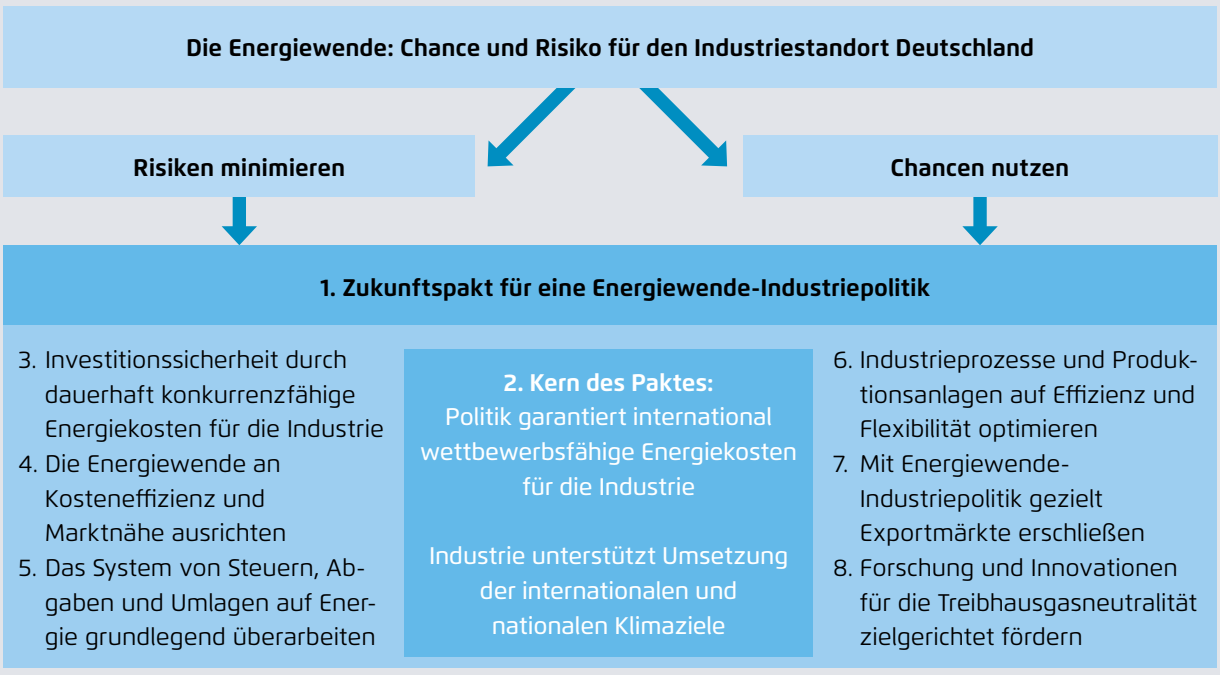
Deutschland wettbewerbsfähig, insbesondere mit Blick auf Energiekosten und Versorgungssicherheit. Sie hat moderne Produktionsanlagen, die auf dem Konzept von *Flex-Efficiency* beruhen, das heißt, sie sind sowohl auf niedrigen Stromverbrauch als auch auf Flexibilität optimiert.[69] Die deutsche Wirtschaft nutzt im Jahr 2030 die vielfältigen Wachstumschancen, die die Energie- und Verkehrswende bieten. Insbesondere die Automobilindustrie hat die mit der Verkehrswende verbundenen Herausforderungen gemeistert und bietet global erfolgreich CO_2-arme Fahrzeuge und Mobilitätsdienstleistungen an.

Was wir dafür tun müssen

Politik und Wirtschaft vereinbaren einen „Zukunftspakt Energiewende und Industriepolitik",[70] der die Chancen der Energiewende nutzt und die Risiken vermeidet. Dieser verlangt auf der einen Seite von der Politik die Garantie, dass die Industrie, insbesondere die energieintensiven Branchen, auch während der Transformation wettbewerbsfähige Energiekosten vorfinden wird. Auf der anderen Seite identifiziert sich die Industrie mit dem Pariser Klimaschutzabkommen und unterstützt die Politik bei dessen Umsetzung in Deutschland durch die Klimaziele von Bundesregierung und Bundestag, insbesondere für die Zieljahre 2030, 2040 und 2050.

Gemeinsam vereinbaren Industrie und Politik einen Aktionsplan, um der deutschen Wirtschaft im global wachsenden Energiewendemarkt eine gute Position zu sichern. Unter anderem konkretisiert dieser Aktionsplan die Kernelemente des Zukunftspakts, treibt Effizienz und Flexibilität bei neuen industriellen Produktionsanlagen voran, entwirft eine Forschungsagenda für *Low-Carbon*-Technologien in der Industrie und forciert die Exportoffensive „Energy Transition made in Germany".

Mit einer Charta für eine Energiewende-Industriepolitik die Energiewende auch industriepolitisch zu einem Erfolg machen — Abbildung 26



Agora Energiewende/Roland Berger (2017)

5.10 Gemeinschaftswerk 2030: Mit der Energiewende das Gemeinwesen stärken

10) Die Energiewende als Gemeinschaftswerk umsetzen	
Wo wir heute stehen	→ Die Energiewende im Stromsektor ist bei Bürgerinnen und Bürgern fest verankert. Bei Wärme- und Verkehrswende fehlt bislang ein entsprechender Konsens. → Akteursvielfalt und innovative Konzepte bei Strom, Wärme, Verkehr haben deutlich zugenommen. → Nach Jahren des Anstiegs sinken die Energiekosten für Privathaushalte seit 2013 wieder. → Landschaftseingriffe durch die Energiewende in Gestalt von Windrädern und Stromtrassen sind unübersehbar und vielen Menschen ein Dorn im Auge.
Wo wir 2030 stehen wollen	→ Die Energiewende als Stromwende, Wärmewende und Verkehrswende genießt hohe Zustimmungsraten und schafft Mehrwert vor Ort. → Die breite Akteursvielfalt bleibt erhalten, Stadtwerke werden zu Dienstleistern einer sektorübergreifenden Energiewende in den Kommunen. → Die Energiekosten für Privathaushalte, gerade auch für einkommensschwache Haushalte, sind verträglich. → Konflikte bei Landschaftseingriffen aufgrund von Netzen und Windparks sind minimiert.
Was wir dafür tun müssen	→ In der Energie- und Verkehrsregulierung den Stellenwert von Akteursvielfalt, *Prosumer*-Lösungen sowie Vor-Ort-Stromerzeugung und -nutzung erhöhen → Reform der Abgaben und Umlagen auf Energie; Effizienzstrategie mit Fokus auf einkommensschwache Haushalte → Bei Netzen und Windparks findet eine kluge Öffentlichkeitsbeteiligung statt; Kommunen erhalten Konzessionseinnahmen bei neuen Windparks

Wo wir heute stehen

Die Energiewende wird von einer breiten Mehrheit der Bevölkerung kontinuierlich unterstützt: Seit 2012 halten bei einer jährlich wiederholten Umfrage 90 Prozent der Befragten die Energiewende für „wichtig" oder „sehr wichtig". Bemerkenswert ist auch, dass sich viele Bürger an der Energiewende beteiligt haben – durch Solaranlagen auf den eigenen Dächern, durch Bürgerenergiegenossenschaften oder mittelbar über kommunale Stadtwerke.

Gleichzeitig verändern neue Stromleitungen und Windparks das Landschaftsbild, was vor Ort regelmäßig zu Protesten führt. Zudem wird unter der Energiewende vor allem die Stromwende verstanden. Das Bewusstsein, dass zu einer vollständigen Energiewende auch die Wärme- und Verkehrswende gehören, ist bislang noch nicht weit verbreitet.

Wo wir 2030 stehen wollen

Im Jahr 2030 ist die Energiewende ein Gemeinschaftswerk der ganzen Gesellschaft in allen drei Bereichen: Strom, Wärme und Verkehr. Hierfür wird die Nähe des neuen Energiesystems zu den Menschen dazu genutzt, dass jeweils vor Ort ein Mehrwert entsteht. Eigenstromerzeugung ist Standard auf Einfamilien- und Mietshäusern. Neue Mobilitätskonzepte, die öffentlichen und privaten Verkehr durch intelligente Technik kombinieren, machen den Verkehr in den Städten leiser und komfortabler. Eine Vielzahl von Akteuren – Bürger, innovative Start-ups bis hin zu den Stadtwerken – trägt zu einer vernetzten und sektorenübergreifenden Energieversorgung

vor Ort bei und schafft so lokale Wertschöpfung. Die Energiekosten für die Verbraucher haben auch im Jahr 2030 einen Anteil von weniger als zehn Prozent an den Konsumausgaben. Bei einkommensschwachen Haushalten gilt die 10-Prozent-Grenze für die Strom- und Wärmeausgaben. Neue Öffentlichkeitsbeteiligungskonzepte bei der Planung neuer Infrastruktur sowie die finanzielle Beteiligung von Kommunen an neuen Windparks haben dazu geführt, dass die Konflikte rund um neue Netze und Windkraftanlagen minimiert wurden.

Was wir dafür tun müssen

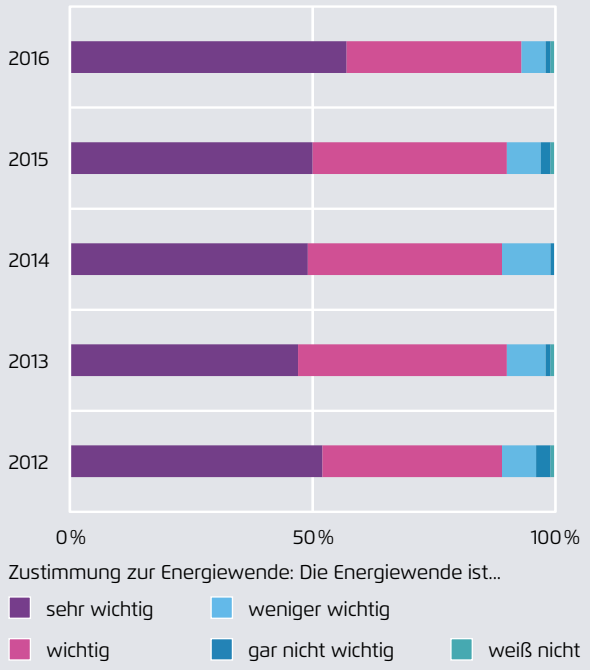
Damit die Energiewende als Gemeinschaftswerk funktioniert, sind drei Maßnahmen notwendig:

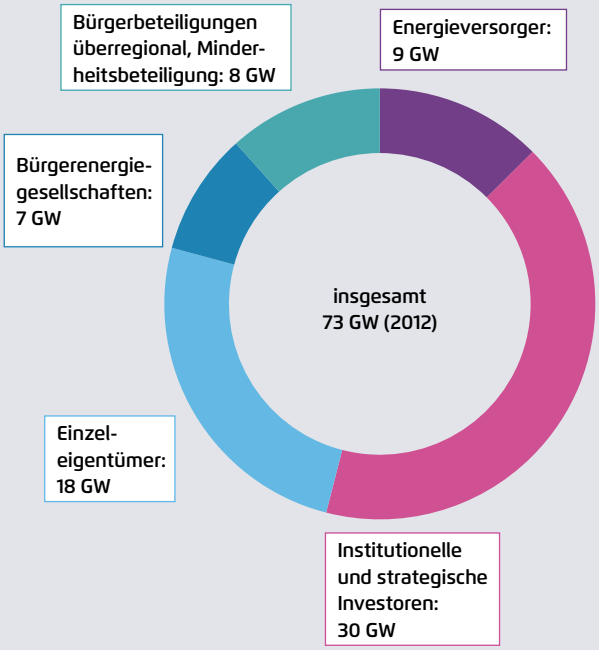
→ Bei der Weiterentwicklung des Energie- und Verkehrsrechts wird der Akteursvielfalt und Vor-Ort-Versorgungslösungen ein großer Stellenwert beigemessen. Dies bedeutet insbesondere, Selbstversorgung, Mieterstrommodelle und *Shared-Mobility*-Konzepte durch einen klaren Ordnungsrahmen zu ermöglichen. Stadtwerke werden bei Stromnetzen, Fernwärme und ÖPNV zu kommunalen Energiewendedienstleistern.

→ Um die Energiekosten für die Verbraucher zu begrenzen, ist eine Reform der Abgaben und Umlagen auf Energie notwendig, in deren Zuge manche Kostenbestandteile aus dem Staatshaushalt finanziert werden. Zudem sollten spezielle Effizienzprogramme den Energieverbrauch bei einkommensschwachen Haushalten deutlich senken.

→ Eine Reform der Öffentlichkeitsbeteiligung bei neuen Windparks und Stromnetzen ermöglicht es den Betroffenen vor Ort, bei den Planungs- und Genehmigungsprozessen aktiv mitzuwirken. Zudem wird eine neue Konzessionsabgabe für Windanlagen beschlossen, die Kommunen lokalen Mehrwert durch neue Windparks beschert.

Die Energiewende genießt kontinuierlich große Zustimmung bei den Bürgerinnen und Bürgern – viele sind auch direkt beteiligt durch eigene Anlagen — Abbildung 27





BDEW (2016), trend:research/Leuphana Universität Lüneburg (2013)

Fazit

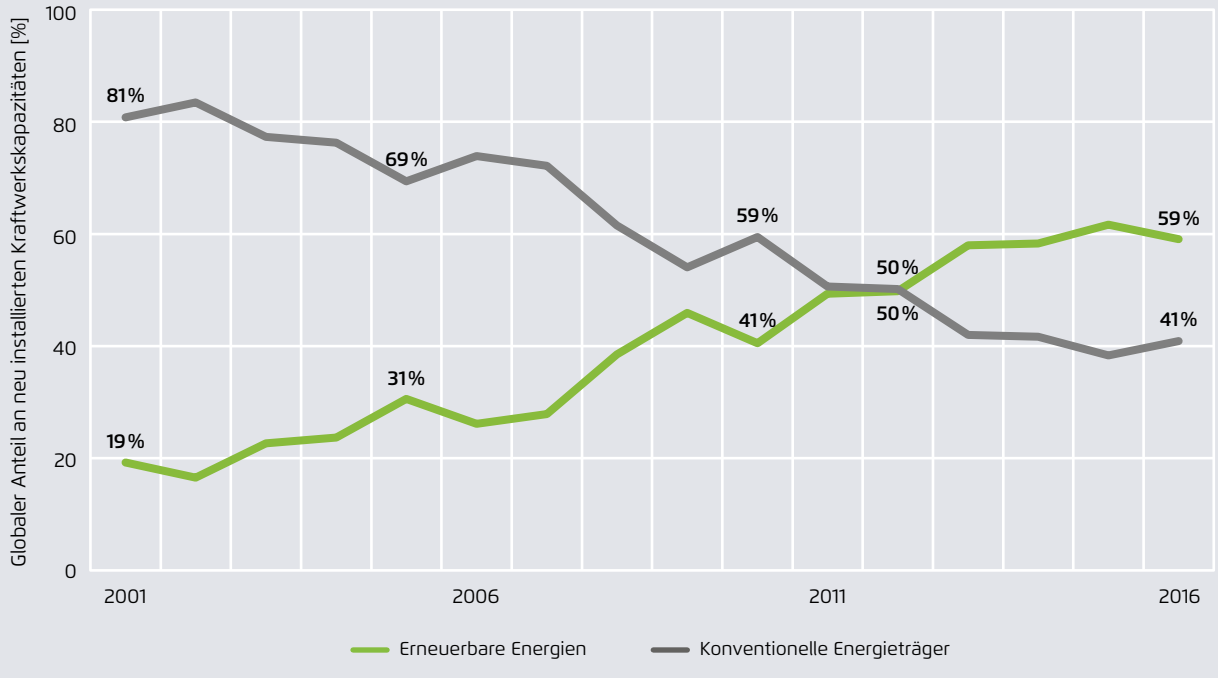
Die Energiewende weg von Kohle, Erdöl und Erdgas hin zu Erneuerbaren Energien und Energieeffizienz ist in den vergangenen Jahren zu einer weltweiten Entwicklung geworden, die mit großer Dynamik immer mehr Anhänger gewinnt. Inzwischen werden etwa 60 Prozent der jährlich neu installierten Kraftwerkskapazität von Erneuerbaren Energien gedeckt (vgl. Abbildung 28). Fast im Monatsrhythmus werden neue Tiefstpreisrekorde bei neuen Windkraft- oder Solarenergieprojekten überall auf der Welt gemeldet (vgl. Abbildung 29).

Deutschland sieht sich als Vorreiter bei Energiewende und Klimaschutz. Und weil es die erste Phase der Energiewende bereits absolviert hat, kann Deutschland einen Startvorteil für die zweite Phase verbuchen. Doch andere Länder holen beim Zubau von Erneuerbare-Energien-Anlagen auf; und im Bereich der Elektromobilität gehört Deutschland eher zu den Nachzüglern als zu den Vorreitern. Umso mehr gilt es, den noch bestehenden Startvorteil zu nutzen – für das eigene Land ebenso wie für den globalen Erfolg der Energiewende.

Die zweite Phase der Energiewende, die von heute bis 2030 reicht, ist gleichzeitig einfacher *und* schwieriger als die erste Phase, die sich von 2000 bis heute erstreckte: Sie ist *einfacher,* weil mit den Energiewendemegatrends – den sieben Ds (vgl. Kapitel 1) – die technologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen jeglicher Energiepolitik relativ klar beschrieben werden können. So haben sich Windkraft und Solarenergie als die Sieger des Technologiewettbewerbs herausgestellt: Sie sind heute nicht nur die kostengünstigsten CO_2-freien Energieträger, sondern in immer mehr Regionen der Welt auch günstiger als Strom aus Kohle, Öl und Gas. Die Energiewende bei Strom, Wärme und Verkehr wird insofern auf Wind- und Solarstrom basieren – entweder direkt durch die Nutzung dieser fluktuierenden

Seit 2013 wird jährlich mehr Leistung Erneuerbare Energien installiert als alle konventionellen Technologien zusammen

Abbildung 28



IRENA (2014), IRENA (2015), FS UNEP (2017)

Stromerzeugung in Echtzeit oder indirekt über Batteriespeicher und *Power-to-X*-Technologien. Daneben werden Dezentralität, Digitalisierung und Demokratisierung ebenfalls zentrale Faktoren der künftigen Energiewirtschaft darstellen.

Schwieriger ist die zweite Phase der Energiewende aber gleichzeitig auch, weil nun die Transformation des Energiesystems ansteht. Konnte in den vergangenen Jahren der Zuwachs an Erneuerbaren Energien (sowohl bei Strom als auch bei Wärme und Verkehr) relativ einfach in das bestehende Energiesystem integriert werden, übernehmen Wind- und Solarstrom im Zeitraum bis 2030 die Rolle der Leittechnologien des Energiesystems und werden im Stromsystem sogar mehr als die Hälfte der Versorgung decken. Zudem muss die Energieeffizienz, die bisher in der Energiepolitik nur eine Nebenrolle gespielt hat, jetzt im Rahmen des *Efficiency-First*-Prinzips ins Zentrum der Energiewende rücken.

Es ist daher wichtig, einen klaren Kompass zu haben, um die Energiewende sicher durch die kommende Phase zu navigieren. Mit der quantitativen Konkretisierung des bekannten energiepolitischen Zieldreiecks Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit für das Jahr 2030 (vgl. Kapitel 2) hat Agora Energiewende hierfür einen konkreten Vorschlag vorgelegt. So sollen die energiebedingten Emissionen bis 2030 um 60 Prozent unter das Niveau von 1990 sinken; die Energiekostenanteile bei Privatverbrauchern und in der Industrie sollen unter 10 Prozent bleiben; die Stromausfallquote soll weiterhin unter 20 Minuten pro Kunde und Jahr liegen; und die Importquote bei den Primärenergieträgern soll auf unter 60 Prozent sinken.

Diese Ziele kosteneffizient zu erreichen, resultiert letztlich in drei Strategien bis 2030 (vgl. Kapitel 3): die Energieeffizienz so zu steigern, dass der Energieverbrauch um etwa 30 Prozent gegenüber 2015 sinkt, die Nutzung der Erneuerbaren Energien gegenüber 2015 fast zu verdoppeln (bei Strom auf 60 Prozent zu erhöhen und beim gesamten Primärenergieverbrauch auf 30 Prozent) und die Nutzung von Kohle und Erdöl gegenüber 2015 zu halbieren.

Andere Pfade, wie etwa die verstärkte Nutzung von strombasierten Heiz- und Kraftstoffen, sind nach heutigem Kenntnisstand deutlich teurer als die skizzierten Strategien. Damit die Energiewende insgesamt für die Volkswirtschaft mehr Nutzen als Kosten bietet (vgl. Kapitel 4), stehen daher bis 2030 Effizienztechnologien, der Ausbau von Wind- und Solarenergie sowie die verstärkte Elektrifizierung von Wärme und Verkehr über Wärmepumpen und Elektromobilität im Zentrum der Energiewende. Da *Power-to-Gas*- und *Power-to-Liquid*-Technologien aber in der dritten Phase der Energiewende ab 2030 eine wesentliche Rolle spielen werden, sollten in der Zeit bis dahin Forschungs- und Markteinführungsprogramme dafür sorgen, dass die Kosten dieser Technologien noch stärker sinken.

Diese Ziele und Strategien verwirklichen sich nicht von allein. Die Zehn-Punkte-Agenda für die Energiewende 2030 (vgl. Kapitel 5) beschreibt zehn konkrete Handlungsfelder der Energiepolitik, um die Energiewende zum Erfolg zu führen. Hierzu gehören neue oder novellierte Gesetze (unter anderem zu den Energiewendezielen, zum Ausbau der Erneuerbaren Energien und zur Energieeffizienz), der Bau einer neuen Infrastruktur, Änderungen bei den Steuern, Abgaben und Umlagen, aber auch Konsensvereinbarungen mit den betroffenen Regionen und Industrien zum schrittweisen Rückgang des Einsatzes von Kohle, Erdöl und Erdgas. Nicht zuletzt geht es darum, die Energiewende gemeinsam mit der Industrie und gesellschaftlichen Akteuren zu einem industriepolitischen Erfolg zu machen, der auch von der Gesellschaft als Gemeinschaftswerk verstanden wird.

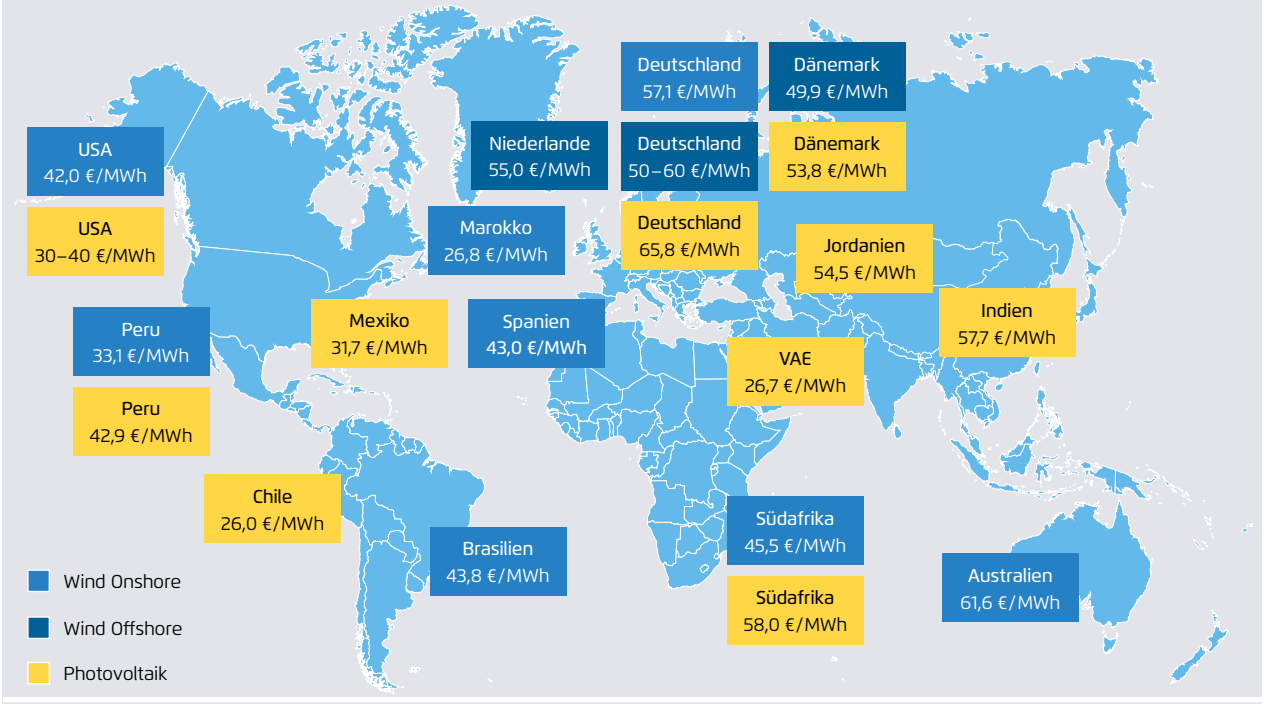
Die Energiewende ist nicht allein Sache der Energiepolitik. Sie ist auch eine Gemeinschaftsaufgabe, die die Lebenswelt der Bürgerinnen und Bürger verändert. Auf der einen Seite werden durch Windkraftanlagen und neue Stromtrassen Landschaften verändert, oft zum Ärger betroffener Anwohner. Hierfür sind neue Konzepte notwendig, die die Landschafts-

eingriffe minimieren und dort, wo sie nötig sind, die negativen Auswirkungen durch bessere Öffentlichkeitsbeteiligung möglichst gering halten. Auf der anderen Seite liefert die Energiewende, besonders im Bereich der Wärme- und Verkehrswende, einen umfassenden Beitrag für eine bessere Lebensqualität. Vor allem in den Städten werden die Beeinträchtigungen durch schlechte Luftqualitäten und hohe Lärmbelastung dank Elektromobilität und *Shared Mobility* spürbar verbessert. Aber auch im individuellen Bereich werden *Smart-Home*-Technologien dafür sorgen, dass die Solarstromerzeugung auf dem Dach, die Strom- und Wärmeversorgung im Haus sowie die Einbindung von Elektromobilität und Wärmepumpen optimal gesteuert werden, sodass die Bewohner höchstmöglichen Komfort genießen können.

Zukunftsoptimismus gilt gemeinhin nicht als Kernbestandteil der deutschen Kultur. Doch beim Thema Energiewende ist sie durchaus angebracht: Alle Technologien und Konzepte, die notwendig sind für die zweite Phase der Energiewende, sind vorhanden. Es ist möglich, die Energiewende bis 2030 so voranzutreiben, dass nicht nur das Klima etwas davon hat, sondern auch der Industriestandort Deutschland und die Bürgerinnen und Bürger vor Ort. Dies ist aber auch nötig, denn der Klimawandel schreitet weiter voran (so betrug die Erderwärmung im Jahr 2016 bereits 1,1 Grad Celsius) und die Konkurrenz für den Industriestandort Deutschland im Bereich der Energiewendetechnologien ist stark.

Richtig ist: Deutschland trägt mit seinen Treibhausgasemissionen zur globalen Klimabelastung nur noch etwas mehr als zwei Prozent bei. Doch die Energiewende in Deutschland bleibt für andere eine Richtschnur. Auch deshalb muss sie erfolgreich bleiben – im wohlverstandenen eigenen Interesse, im Interesse anderer Länder und im Interesse künftiger Generationen.

Weltweit sinken die Kosten für Strom aus Wind und Sonne auf Rekordwerte — Abbildung 29



Dargestellt sind Auktionsergebnisse bzw. PPA aus 2016/2017
Fortum (2016), eigene Zusammenstellung

Anhang

Datenübersicht

	2015*	Ziel 2030**
	TWh	TWh
Primärenergieverbrauch	**3.683**	**~ 2.600**
Energetischer Verbrauch	3.418	~ 2400
Steinkohle	479	~ 240
Braunkohle	431	~ 220
Mineralöl	1.018	~ 510
Gas	742	~ 590
Kernenergie	278	0
Erneuerbare	457	~ 820
Sonstige	61	~ 40
Strom	–48	0
Nicht-energetischer Verbrauch	265	~ 200
Stromsektor	TWh	TWh
Bruttostromerzeugung	**647**	**~ 610**
Erneuerbare	187	~ 370
Kernenergie	92	0
Braunkohle	155	~ 80
Steinkohle	118	~ 60
Erdgas	62	~ 70
Sonstige	34	~ 30
Stromverbrauch	**647**	**~ 610**
Endenergie Strom (traditionell)	520	~ 470
Endenenergie Strom (neu)	0	~ 70
Verluste/Pumparbeit	38	~ 40
Kraftwerkseigenverbrauch	36	~ 30
Exporte	54	0
Wärmesektor	TWh	TWh
Endenergieverbrauch	**1.373**	**~ 1.100**

Kohle		126	~ 60
Mineralöl		205	~ 90
Gas		588	~ 450
Fernwärme		115	~ 100
Erneuerbare Energien		139	~ 200
Sonstige		21	~ 20
Strom		178	~ 200
Verkehrssektor		TWh	TWh
Endenergieverbrauch		**727**	**~ 500**
Mineralölkraftstoffe (inkl. Gas)		685	~ 410
Biokraftstoffe		30	~ 30
Strom		12	~ 60
Treibhausgasemissionen		Mio. t CO_{2e}	Mio. t CO_{2e}
Energiebedingt		**762**	**435 (424–439)**
nach Energieträgern	Steinkohle (nur CO_2)	149	~ 75
	Braunkohle (nur CO_2)	172	~ 85
	Mineralöl (nur CO_2)	246	~ 125
	Gas (nur CO_2)	151	~ 120
	Sonstige	46	~ 30
nach Sektoren	Strom	312	~ 165 (159–166)***
	Wärme	289	~ 170 (170–175)***
	Verkehr	161	~ 95 (95–98)***
Nicht-energiebedingt		**140**	**~ 130 (119–123)*** **
Summe		**902**	**~ 560 (543–562)**

* AGEB (2016a), AGEB (2017a), UBA (2016), UBA (2017a), UBA (2017b), eigene Berechnungen nach BMUB (2016), UBA (2017c)
** eigene Berechnungen auf Basis Agora Energiewende (2016), BMUB (2016), EWI/Prognos/GWS (2014a), Fraunhofer IWES/IBP (2017), UBA (2017a), UBA (2017c)
*** Werte in Klammern stellen die Bandbreiten entsprechender Sektorziele für Strom, Wärme und Verkehr im Einklang mit dem Klimaschutzplan 2050 dar (eigene Berechnung auf Basis BMUB (2016), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015), UBA (2017a), UBA (2017c))

Endnotenverzeichnis

1. Auch die Null-Cent-Gebote bei den Auktionen für Offshore-Windparks Anfang 2017 gehen von Börsenstrompreisen von 5 bis 6 Cent je Kilowattstunde aus.
2. Agora Energiewende (2015)
3. WMO (2017)
4. McGlade und Ekins (2015)
5. Fixkosten beinhalten Investitions- und Kapitalkosten sowie die fixen Betriebskosten.
6. Agora Energiewende (2017c)
7. Dies bedeutet nicht, dass das neue Energiesystem ausschließlich dezentral strukturiert sein wird. Sowohl bei der Erzeugung (zum Beispiel in Offshore-Windparks) als auch in der Steuerung des Systems (zum Beispiel mittels Leitwarten) spielen zentralistische Elemente nach wie vor eine Rolle.
8. Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015)
9. Eigene Berechnungen auf Basis BMUB (2016), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015). Dabei wurden die Sektorziele für Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr sowie der Energie-Anteil des Industrie-Sektorziels betrachtet.
10. Statistisches Bundesamt (2016a)
11. Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft" (2016)
12. BMWi (2017)
13. SAIDI = System Average Interruption Duration Index
14. BNetzA (2017)
15. Es wird in der Fachliteratur kritisch diskutiert, ob der SAIDI-Wert ein geeigneter Maßstab für die Versorgungssicherheit ist. Da aber ungeplante Stromausfallzeiten ein zentrales Problem der Versorgungssicherheit sind und vermutlich auch andere Stromqualitätswerte mit dem SAIDI positiv korrelieren, wird hier auf diesen Wert zurückgegriffen.
16. Versorgungssicherheit im Stromnetz ist als Quasi-Kollektivgut (Allmendegut) nicht vollständig privatisierbar, da es im Falle einer Unterdeckung im Stromnetz nicht möglich ist, genau diejenigen Kunden abzuschalten, deren Vertriebe keine ausreichenden Stromlieferverträge für ihre Stromnachfrage abgeschlossen hatten.
17. consentec/r2b (2015)
18. (Europäischer Rat 2014). Die EU-Kommission hat im November 2016 als Teil des „Clean Energy for all Europeans"-Gesetzespakets vorgeschlagen, das Effizienzziel auf 30 Prozent zu erhöhen.
19. Knopf et. al (2015), Europäische Komission (2014)
20. CE Delft/Microeconomix (2016)
21. Rund 7 Prozent des Primärenergieverbrauchs werden stofflich genutzt. Dabei handelt es sich insbesondere um Erdöl in der Chemieindustrie.
22. Bezogen auf den energetischen Primärenergieverbrauch AGEB (2017a).
23. UBA (2017a)
24. Bezogen auf den energetischen Primärenergieverbrauch (AGEB 2017).
25. Bei den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr handelt es sich aufgrund der bereits bestehenden Verflechtungen nicht um trennscharfe Sektoren. So wird etwa ein Teil des Stroms letztlich zur weiteren Wärme-/Kälteerzeugung (zum Beispiel Kochen, Warmwasser, Klimatisierung etc.) genutzt. Die Angaben zur Größe der einzelnen Sektoren dienen somit lediglich der groben Orientierung.
26. vgl. insbesondere EWI/Prognos/GWS (2014a), Fraunhofer ISE (2013), Fraunhofer IWES et. al (2015), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015)
27. Der energiebedingte Primärenergieverbrauch sinkt dabei um rund 29 Prozent, der nichtenergiebedingte Primärenergieverbrauch um etwa 24 Prozent.
28. Eigene Berechnungen auf Basis BMUB (2016), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015), UBA (2017c)
29. Prognos/IAEW (2015)
30. Der Wärmesektor umfasst hier sämtliche Endenergie, die in den Sektoren Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD), Industrie und Verkehr für die Anwendungen Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, Klimakälte und Prozesskälte genutzt wird (inklusive Fernwärme).
31. AGEB (2016a). Davon wurden 178 Terawattstunden durch Strom bereitgestellt.
32. Neben der Modernisierung von Heizungsanlagen spielt hier insbesondere die stärkere Nut-

zung von Fernwärme und die damit einhergehende bilanzielle Verlagerung der Emissionen aus dem Gebäudesektor in die Energiewirtschaft eine Rolle.

33. Entsprechend AGEE-Stat (2017) wird zur Berechnung des EE-Anteils im Wärme-/Kältesektor der EE-Anteil des Stroms sowie der Stromverbrauch nicht berücksichtigt.
34. AGEB (2016a)
35. Eigene Berechnungen auf Basis BMUB (2016), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015)
36. AGEB (2016a). Der Energieverbrauch des Verkehrs enthält auch den Kerosinverbrauch des internationalen Flugverkehrs dessen Emissionen in der Bilanzierung für 2015 sowie für das Ziel 2030 nicht enthalten sind.
37. UBA (2017b)
38. Destatis (2016b)
39. TNO/ICCT (2016)
40. BMUB (2016). Das entspricht einer Reduktion von 40 bis 42 Prozent gegenüber 1990.
41. Agora Verkehrswende (2017)
42. Andere Technologien, wie etwa Kernfusion, Osmose- und Gezeitenkraftwerke oder Biokraftstoffe der zweiten Generation sind derzeit noch so sehr im Forschungsstadium, dass nicht zu erwarten ist, dass sie bis 2030 – wenn überhaupt – ihre Kosten so sehr reduzieren könnten, dass sie konkurrenzfähig zu Windkraft und Solarenergie werden würden.
43. Frontier Economics (2017)
44. Wird im Wärme- und Verkehrssektor nur die Hälfte der angestrebten Verbrauchsreduktion erreicht (ca. 240 TWh), sind bei einem angesetzten PtL-/PtG-Gesamtwirkungsgrad von 50 Prozent zusätzliche Strommengen aus Erneuerbaren Energien in Höhe zu rund 480 TWh erwarten.
45. Aufgrund der zwischenzeitlich abgesenkten Eigenkapitalverzinsung wurde mit niedrigeren Netzentgelten gerechnet BNetzA (2015).
46. Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft" (2016)
47. Destatis (2016a). Der größte Teil der privaten Energieausgaben des Jahres 2015 entfällt dabei auf Kraftstoffe (43 Prozent beziehungsweise 51 Milliarden Euro), gefolgt von Strom (31 Prozent beziehungsweise 36 Milliarden Euro) und Wärme (26 Prozent beziehungsweise 31 Milliarden Euro).
48. Destatis (2016a). Der Mittelwert seit 1991 beträgt ebenfalls 7,6 Prozent, wobei die Energiekostenanteile an den Gesamtausgaben durchaus schwankten: Das Maximum lag bei 9 Prozent im Jahr 2013 und das Minimum bei 6,5 Prozent im Jahr 1998.
49. Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft" (2016)
50. Grob kalkuliert: 22 Milliarden EEG-Differenzkosten zuzüglich 0,6 Milliarden KWKG-Kosten, abzüglich *Merit-Order*-Effekt (1,0 ct/kWh, entspricht 4,5 Milliarden Euro), zuzüglich EE-bedingte Netzkosten (circa 2 Milliarden Euro).
51. Eigene Berechnungen auf Basis BMWi (2016a), BMWi (2016b), Öko-Institut (2017c),
52. Diese Summe wächst laut den Haushaltsplänen der Bundesregierung ab 2017 auf etwa 3 Milliarden Euro jährlich an.
53. EWI/Prognos/GWS (2014b)
54. EWI/Prognos/GWS (2014b), Fraunhofer ISE (2015a), Fraunhofer IWES (2015), Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015), Öko-Institut (2017a)
55. Die externen Kosten des CO_2 liegen weit oberhalb dieser volkswirtschaftlichen Vermeidungskosten von 50–60 EUR/t CO_2. Das Umweltbundesamt empfiehlt (vgl. Umweltbundesamt (2013)), hier kurzfristig einen mittleren Wert von 80 EUR/t CO_2 und für das Jahr 2030 einen mittleren Wert von 145 EUR/t CO_2 anzusetzen.
56. (EWI/Prognos/GWS 2014b)
57. (Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015). Die Unterschiede in den Ergebnissen haben neben den unterschiedlichen Brennstoffannahmen auch eine Ursache in unterschiedlichen Modellierungslogiken; so sind die Investitions-Multiplikatoreffekte im Fraunhofer-ISI-Modell generell größer als im GWS-Modell.
58. Das aktuelle EU-Klimaschutzziel von 40 Prozent Emissionsminderung bis 2030 gegenüber 1990 stellt angesichts des Stands von minus 24 Prozent im Jahr 2015 keinen glaubwürdi-

gen Zwischenschritt auf einem stetigen Pfad hin zum europäischen 2050-Ziel (Reduktion um 80 bis 95 Prozent) dar. Denn während von 2015 bis 2030 jährlich nur ein Prozentpunkt Emissionsreduktion anstünde, müssten die Klimaschutzaktivitäten von 2030 bis 2050 dann schlagartig mindestens verdoppelt werden (2,0 bis 2,75 Prozentpunkte Emissionsreduktion pro Jahr nach 2030).

59. Prognos/IAEW (2015)
60. AGEB (2017a)
61. AGEE-Stat (2017)
62. Eine alternative Verteilung der Zubaumengen zwischen Wind Onshore, Wind Offshore und Photovoltaik ist ebenso denkbar. Entscheidend ist, dass die jährliche, zusätzliche Nettostromerzeugung aus diesen Anlagen im Mittel etwa 12 Terawattstunden pro Jahr beträgt.
63. Eigene Berechnungen auf Basis von AGEB (2017a), BMUB (2016), UBA (2016), UBA (2017a),
64. Öko-Institut (2017b)
65. Agora Energiewende (2017a)
66. Ecofys/Fraunhofer IWES (2017)
67. Agora Energiewende (2016b)
68. Dies ist auch die Annahme der Anbieter, die bei den Offshore-Windkraft-Auktionen ein Angebot von „Null-Marktprämie" geboten haben. Da die Projekte erst im Jahr 2025 realisiert werden müssen, setzen die Anbieter darauf, dass die Politik bis dahin einen angemessen hohen CO_2-Preis durchgesetzt hat, der die Refinanzierung von Erneuerbaren Energien auf Basis von Marktpreisen ermöglicht.
69. Ecofys (2016)
70. Agora Energiewende/Roland Berger (2017)

Literaturverzeichnis

AGEB – AG Energiebilanzen (2016a): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren 2013 bis 2015.

AGEB – AG Energiebilanzen (2016b): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2015.

AGEB – AG Energiebilanzen (2017a): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2015.

AGEB – AG Energiebilanzen (2017b): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern.

AGEE-Stat. – Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (2017): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland.

Agora Energiewende (2015): The Integration Cost of Wind and Solar Power.

Agora Energiewende (2016a): Elf Eckpunkte für einen Kohlekonsens. Konzept zur schrittweisen Dekarbonisierung des deutschen Stromsektors (Langfassung).

Agora Energiewende (2016b): Energiewende – was bedeuten die neuen Gesetze?

Agora Energiewende (2017a): Neue Preismodelle für Energie. Grundlagen einer Reform der Entgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen auf Strom und fossile Energieträger.

Agora Energiewende (2017b): Wie sieht ein effizientes Energiesystem in Zeiten der Sektorkopplung aus?

Agora Energiewende (2017c): Energiewende und Dezentralität. Zu den Grundlagen einer politisierten Debatte.

Agora Energiewende/Roland Berger (2017): Entwurf einer Charta für eine Energiewende-Industriepolitik.

Agora Verkehrswende (2017): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende.

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2016): Energiemonitor.

BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016): Klimaschutzplan 2050.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016a): Erneuerbare Energien in Zahlen 2015.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016b): EEG in Zahlen: Vergütungen, Differenzkosten und EEG-Umlage 2000 bis 2017.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Energiedaten - Gesamtausgabe.

BNetzA – Bundesnetzagentur (2015): Bericht zur Netzentgeltsystematik Elektrizität.

BNetzA – Bundesnetzagentur (2016): Leitungsvorhaben nach Bundesbedarfsplangestez (BBPlG) und Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) (Stand: Dezember 2016).

BNetzA – Bundesnetzagentur (2017): Versorgungsqualität - SAIDI-Werte 2006–2015.

CE Delft/Microeconomix (2016): Refining Short-Term Electricity Markets to Enhance Flexibility. Study on behalf of Agora Energiewende.

consentec/r2b (2015): Versorgungssicherheit in Deutschland und seinen Nachbarländern: länderübergreifendes Monitoring und Bewertung.

Department of Energy (2016): Revolution ... Now.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2016a): Private Konsumausgaben und verfügbares Einkommen. Beiheft zur Fachserie 18 der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2016b): Verkehr im Überblick 2015. Fachserie 8, Reihe 1.2.

Destatis – Statistisches Bundesamt (2017): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Lange Reihen.

E3MLab/IIASA (2017): Technical Report on Member State results of the EUCO policy scenarios – Corrected version dated 25 January 2017.

Ecofys (2016): Flex-Efficiency. Ein Konzept zur Integration von Effizienz und. Flexibilität bei industriellen Verbrauchern. Studie im Auftrag von Agora Energiewende.

Ecofys/Fraunhofer IWES (2017): Smart-Market-Design in deutschen Verteilnetzen.

Europäische Kommission (2014): Impact Assessment accompanying the document "A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030".

Europäischer Rat (2014): Schlussfolgerungen der Tagung des Europäischen Rates vom 23./24. Oktober 2014.

EWI/Prognos/GWS – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln/Prognos AG/Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung mbH (2014a): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose.

EWI/Prognos/GWS – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln/Prognos AG/Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung mbH (2014b): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende. 2014.

Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft" (2016): Stellungnahme zum fünften Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2015.

Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher/Energy Brainpool (2015): Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für die Energiewende in Deutschland.

Fortum (2016): View on the Future Energy Market and Strategic Choices.

Fraunhofer ISE (2013): Energiesystem Deutschland 2050.

Fraunhofer ISE (2015): Was kostet die Energiewende?

Fraunhofer IWES et al. – Fraunhofer IWES/Fraunhofer IBP/IFEU/Stiftung Umweltenergierecht (2015): Interaktion Strom, Wärme und Verkehr.

Fraunhofer IWES (2015a): Geschäftsmodell Energiewende.

Fraunhofer IWES (2015b): Wie hoch ist der Stromverbrauch 2015? Energiepolitische Zielszenarien 2050 – Rückwirkungen auf den Ausbau von Windenergie und Photovoltaik.

Fraunhofer IWES (2015c): The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits. An Analysis with a Focus on the Pentalateral Energy Forum Region. Analysis on behalf of Agora Energiewende.

Fraunhofer IWES/IBP – Fraunhofer IWES/Fraunhofer IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende.

Frontier Economics (2017): Aktuelle und künftige Kosten von *Power-to-Gas* und *Power-to-Liquid*.

Studie im Auftrag von Agora Energiewende und Agora Verkehrswende (erscheint Herbst 2017).

FS UNEP – Frankfurt School UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance (2017): Global Trends in Renewable Energy Investment 2017.

FS UNEP (2017): Global Trends in Renewable Energy Investment

IEA/NEA – International Energy Agency/Nuclear Energy Agency (2015): Projected Cost of Generating Electricity.

IEA – International Energy Agency (2016): World Energy Outlook 2016.

IRENA (2014): Rethinking Energy

IRENA (2015): Green Quality Dialogue

Knopf, et al. – Knopf, Brigitte/Nahmmacher, Paul/ Schmid, Eva (2015): The European renewable energy target for 2030 – An impact assessment of the electricity sector. in: Energy Policy, 2015, 85, S. 50–60.

McGlade/Ekins - McGlade, Christopher/Ekins, Paul (2015): The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C. in: Nature, 517, S. 187–190.

MunichRE (2016): NatCatSERVICE.

Öko-Institut (2017a): Erneuerbare vs. fossile Stromsysteme: ein Kostenvergleich. Studie im Auftrag von Agora Energiewende.

Öko-Institut (2017b): Die deutsche Braunkohlenwirtschaft. Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen. Studie im Auftrag von Agora Energiewende und der European Climate Foundation (ECF).

Öko-Institut (2017c): EEG-Rechner. Berechnungs- und Szenarienmodell zur Ermittlung der EEG-Umlage. Erstellt im Auftrag von Agora Energiewende.

Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht.

Prognos (2013): Ermittlung der Wachstumswirkungen der KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren.

Prognos/IAEW – Prognos AG/Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (2015): Positive Effekte von Energieeffizienz auf den deutschen Stromsektor. Studie erstellt im Auftrag von Agora Energiewende, RAP und ECF.

Roland Berger (2017): Abschlussbericht Dialog Energiewende und Industriepolitik. Erstellt im Auftrag von Agora Energiewende.

Tennet (2017): Südostlink Vorschlagskorridor.

TNO/ICCT (2016): From Laboratory to road. A 2016 Update of official and 'real-world' fuel consumption and CO_2 values for passenger cars in Europe 2016.

TransnetBW (2017): Ultranet. 2017

trend:research/Leuphana Universität Lüneburg (2013): Definition und Marktanalyse von Bürgerenergie in Deutschland.

UBA –Umweltbundesamt (2013): Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr.

UBA – Umweltbundesamt (2016): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 –2015.

UBA – Umweltbundesamt (2017a): CO_2-Emissionen aus der Brennstoffnutzung.

UBA – Umweltbundesamt (2017b): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen.

UBA – Umweltbundesamt (2017c): Klimaschutz im Stromsektor 2030.

WMO – World Meteorological Organization (2017): WMO confirms 2016 as hottest year on record, about 1.1 °C above pre-industrial era.

World Bank (2017a): Commodity Price Data (The Pink Sheet).

World Bank (2017b): Market Price Forecast January 2017.

Publikationen von Agora Energiewende

AUF DEUTSCH

Die deutsche Braunkohlenwirtschaft
Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen

Charta für eine Energiewende- Industriepolitik
Ein Diskussionsvorschlag von Agora Energiewende und Roland Berger

Neue Preismodelle für Energie
Grundlagen einer Reform der Entgelte, Steuern, Abgaben und Umlagen auf Strom und fossile Energieträger

Smart-Market-Design in deutschen Verteilnetze
Entwicklung und Bewertung von Smart Markets und Ableitung einer Regulatory Roadmap

Energiewende und Dezentralität
Zu den Grundlagen einer politisierten Debatte

Wärmewende 2030
Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor

Eigenversorgung aus Solaranlagen
Das Potenzial für Photovoltaik-Speicher-Systeme in Ein- und Zweifamilienhäusern, Landwirtschaft sowie im Lebensmittelhandel

Elf Eckpunkte für einen Kohlekonsens
Konzept zur schrittweisen Dekarbonisierung des deutschen Stromsektors (Lang- und Kurzfassung)

Erneuerbare vs. fossile Stromsysteme: ein Kostenvergleich
Stromwelten 2050 – Analyse von Erneuerbaren, kohle- und gasbasierten Elektrizitätssystemen

Der Klimaschutzbeitrag der Stromsektors bis 2040
Entwicklungspfade für die deutschen Kohlekraftwerke und deren wirtschaftliche Auswirkungen

Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2016
Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2017

Wie hoch ist der Stromverbrauch in der Energiewende?
Energiepolitische Zielszenarien 2050 - Rückwirkungen auf den Ausbaubedarf von Windenergie und Photovoltaik

Ein Kraftwerkspark im Einklang mit den Klimazielen
Handlungslücke, Maßnahmen und Verteilungseffekte bis 2020

Publikationen von Agora Energiewende

Transparenzdefizite der Netzregulierung
Bestandsaufnahme und Handlungsoptionen

Die Entwicklung der EEG-Kosten bis 2035
Wie der Erneuerbaren-Ausbau entlang der langfristigen Ziele der Energiewende wirkt

Netzentgelte in Deutschland
Herausforderungen und Handlungsoptionen

Stromspeicher in der Energiewende
Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz

12 Thesen zur Energiewende
Ein Diskussionsbeitrag zu den wichtigsten Herausforderungen im Strommarkt, (Lang- und Kurzfassung)

AUF ENGLISCH

Flexibility in thermal power plants
With a focus on existing coal-fired power plants

The Cost of Renewable Energy
A critical assessment of the Impact Assessments underlying the Clean Energy for All Europeans-Package

Future Cost of Onshore Wind
Recent auction results, long-term outlook and implications for upcoming German auctions

The Energiewende in a nutshell
10 Q & A on the German energy transition

Energy Transition in the Power Sector in Europe: State of Affairs in 2016
Review on the Developments in 2016 and Outlook on 2017

Assessing the Winter Package in Light of the Energy Union Objectives

FAQ EEG – Energiewende: What do the new laws mean?
Ten questions and answers about EEG 2017, the Electricity Market Act, and the Digitisation Act

12 Insights on Germany's Energiewende
A Discussion Paper Exploring Key Challenges for the Power Sector

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

117/01-I-2017/DE

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

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

Agora Energiewende

Agora Energiewende ist eine gemeinsame Initiative der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation.