

ENERGIEWENDE BAROMETER

2018



4	Einleitung
6	Das Barometer der Energiewende
10	Endenergiebedarf 2050
12	Windenergie
14	Photovoltaik
16	Ausgleichskraftwerke
18	Bioenergie
20	Power-to-Gas
22	Stationäre Batteriespeicher
24	Wärmesektor
26	Mobilitätssektor
28	Treibhausgas-Emissionen
30	Wirkung politischer Eingriffe
32	Investitionstätigkeit
36	Entwicklung der Investitionstätigkeit
38	Geschäftsmodell Energiewende
42	So funktioniert der Emissionsrechtesthandel
44	Quellen
47	Impressum





Die deutsche Energiewende ist – physikalisch gesprochen – an einer Phasengrenze angekommen

...und so, wie bei einem Phasenübergang der weitere Temperaturanstieg ins Stocken gerät, ist bei der Energiewende die weitere Ersetzung fossiler Energiequellen ins Stocken geraten. Die gegenwärtigen Installationsraten für die erneuerbaren Energiequellen werden absehbar nicht mehr den Verlust von Erzeugungsleistung durch die altersbedingt ausscheidenden Wind- und Solaranlagen überschreiten. Dabei hat aber gerade die gegenwärtig insgesamt installierte erneuerbare Leistung die Verbrauchsleistung überschritten. Das hat zur Folge, dass der Bedarf an Elektrizität an vielen Stunden im Jahr allein durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Bei einem weiteren Ausbau stünde aber der Erzeugung in immer mehr Stunden im Jahr kein Verbrauch mehr gegenüber, sodass ein wirtschaftlicher Betrieb immer weniger realisierbar würde.

Um diese kritische Schwelle der Energiewende zu überschreiten, muss etwas radikal Neues passieren. Ohne einen zündenden Impuls können die Installationsraten der erneuerbaren Energien nicht auf das Niveau einer CO₂-emissionsfreien Energiewirtschaft gehoben werden. Dieser zündende Impuls ist nicht mehr auf der Seite der erneuerbaren Erzeugung zu suchen, sondern auf der Seite des Verbrauchs. Durch die Elektrifizierung der bisher fossil versorgten Energiesektoren des Verkehrs und der Wärmeversorgung sowie einer Vielzahl von industriellen Prozessen kann man den gegenwärtigen Haltepunkt überwinden. Durch deren Elektrifizierung entstünden große Verlagerungspotenziale der Verbrauchsleistung, die notwendig sind, damit die hohen Leistungsspitzen der erneuerbaren Erzeugung ihren Absatz finden.

Die Elektrifizierung des Verbrauchs aber gilt es wirtschaftlich anzureizen.

Die notwendigen Technologien wie die Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen sind bereits vorhanden, weshalb eine Technologieförderung wie die frühe Marktanreizung im Stile des früheren EEG nicht mehr das richtige Mittel zu sein scheint. Es drängt sich auf, dass man in den Verbrauchssektoren zunehmend direkt an der CO₂-Emission angreifen muss. Am kritischen Phasenübergang der Energiewende gilt es also ein neues volkswirtschaftliches Instrument zu schaffen und auch richtig »zu stimmen«, um die komplexe Blockadesituation aufzulösen.

In den ersten drei Durchgängen unseres Kasseler Symposiums in den Jahren 2015 - 2017 ging es uns darum, der Finanzindustrie unsere Vorstellungen eines »Geschäftsmodells Energiewende« zur Prüfung vorzulegen. Unsere Überlegung war, dass die Investoren, Versicherer und Banken, wenn sie denn zu einer positiven Bewertung des »Geschäftsmodells Energiewende« kämen, die eigentlichen

»Game Changer« würden und dass die Blockade der Energiewende durch das Interesse der Finanzindustrie an einem stabilen und großvolumigen »Rendite-Objekt Energiewende« schließlich überwunden würde. Außerhalb Deutschlands, im weltweiten Markt, realisieren Finanzierer gegenwärtig ein hervorragendes Geschäft mit den Erneuerbaren. Das liegt daran, dass weltweit noch lange nicht diese Blockadesituation eingetreten ist, wie sie in Deutschland zu sehen ist. Das liegt daran, dass weltweit kein weiteres großes Industrieland relativ zu seinem Verbrauch so viel erneuerbare Energiequellen installiert hat. Erst wenn auch das weltweite Geschäft in diese Sättigung hineinkommen wird, würde die Motivation entstehen, dass die Finanzindustrie kollektiv politischen Druck ausüben würde, damit ein verstärktes Wachstum der Erneuerbaren durch neue Leitplanken angereizt wird.

Deshalb meinen wir, dass industrielle Interessenvertreter der Verbrauchsseite in unseren Dialog mit eingebunden werden müssen, damit Deutschland seine Vorreiterrolle im Energiewendegeschehen behält.

Mit der Energiewende kann es nur weitergehen, wenn die energieintensive Industrie für sich die Vorteile einer intensivierten Energiewende erkennen kann und damit ebenfalls zu einem Promotor der politisch notwendigen Entscheidungen wird. Es geht im Kern um die Entwicklung von neuen Lösungen, die es der energieintensiven Industrie erlauben, ihre CO₂-Emissionen sukzessiv zu reduzieren und dabei ihre Wettbewerbsfähigkeit nicht nur beizubehalten, sondern aufgrund des damit verbundenen Innovationsschubes sogar noch zu steigern. An dieses »heiße Eisen« haben wir uns im Kasseler Symposium 2018 herangewagt und die Transformationsszenarien des Fraunhofer IEE der Kritik der Vertreter der energieintensiven Industrie ausgesetzt. Die Ergebnisse dieser spannenden Auseinandersetzung haben wir Ihnen in diesem Report zusammengefasst. Den aktuellen Stand unseres Energiewende-Barometers, haben wir um einige neue »Barometer-Dimensionen« ergänzt: die Wirkung politischer Eingriffe und die Treibhausgasemissionen. Zusätzlich haben wir eine Informationsseite eingeschoben, die das Europäische Emissionshandelssystem (ETS) kompakt erklärt.

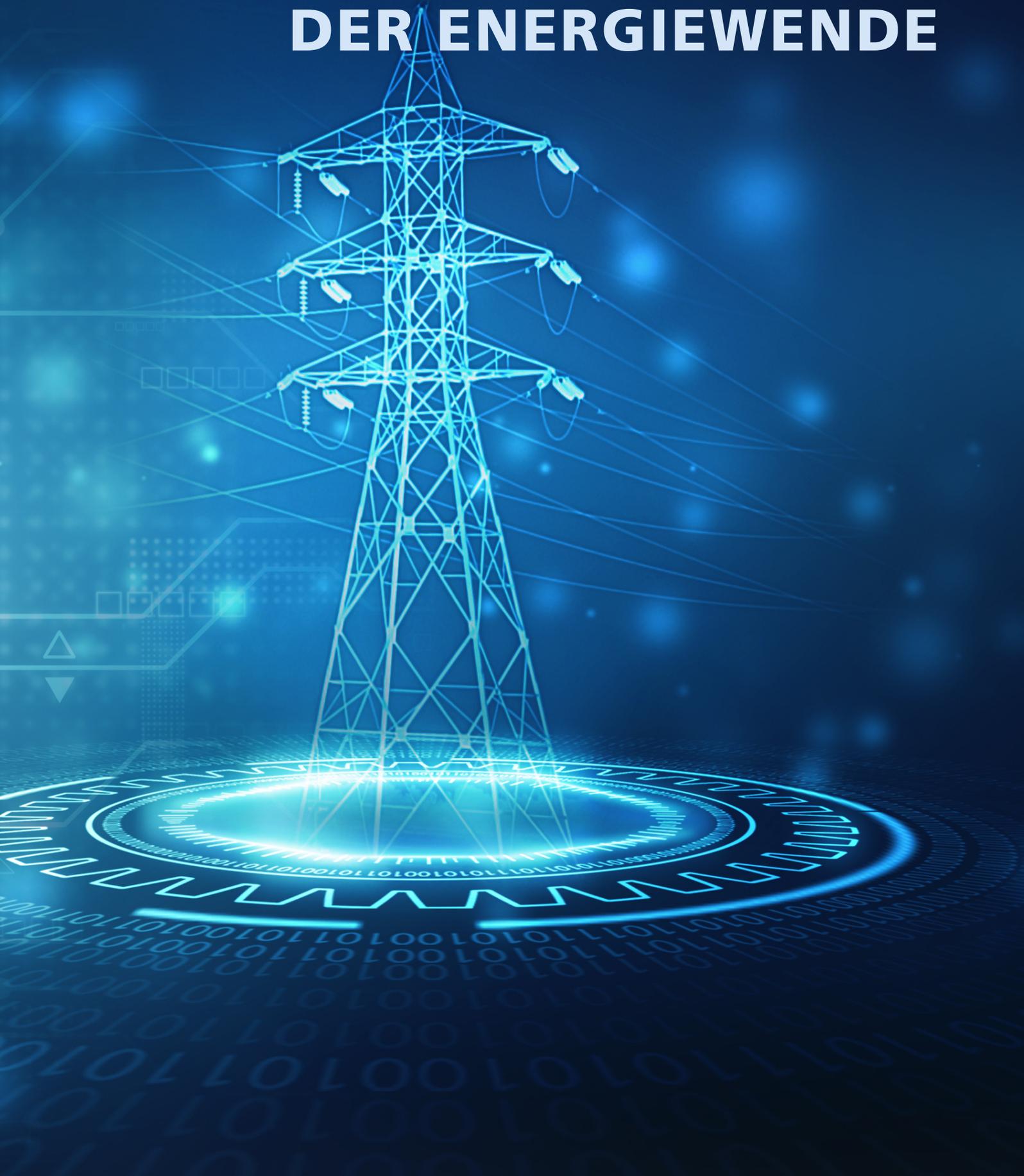
Wir hoffen sehr, dass Ihnen unser Report hilft, die gegenwärtig komplexe Lage der Energiewende besser zu verstehen und daraus Ihre eigenen strategischen Schlüsse zu ziehen. In diesem Sinne wünschen wir Ihnen dazu eine anregende Lektüre.

Prof. Dr. Clemens Hoffmann

2018



DAS BAROMETER DER ENERGIEWENDE



WIRTSCHAFTSMODELLE ANWENDEND

**Prof. Dr.
Clemens Hoffmann**

Institutsleiter Fraunhofer IEE

Helen Ganal

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
strategische Projekte Fraunhofer IEE

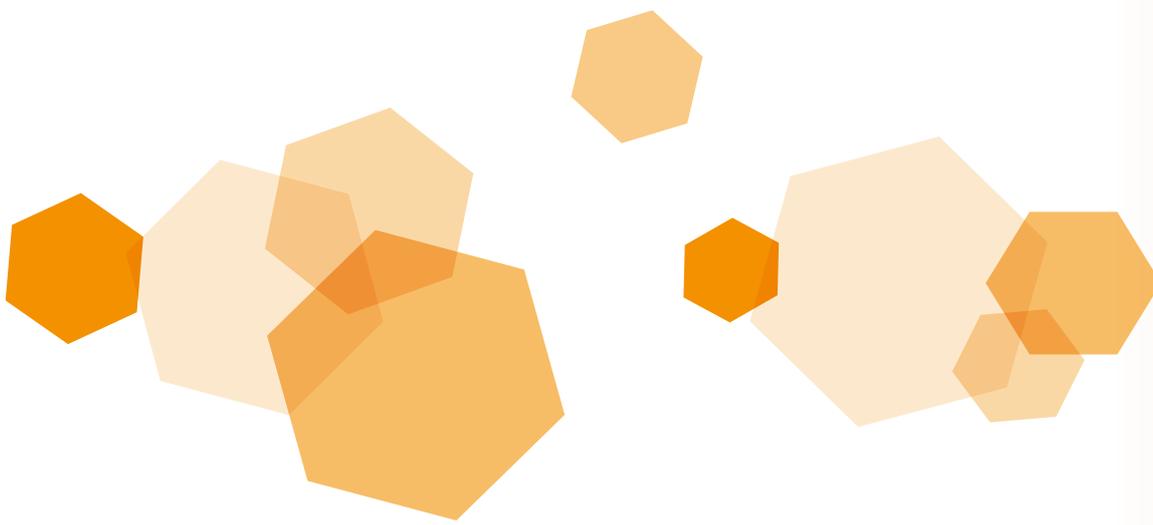
BAROMETER REPORT 2018

Im Barometer der Energiewende bewerten wir jährlich den Stand der deutschen Energiewende. Die hierfür ausgewählten Indikatoren beschreiben das Energiesystem in seinen verschiedenen technischen Dimensionen. Auf Basis aktueller Ist-Werte (Dezember 2017) werden mit Hilfe unserer Szenario-Modellierung Zielwerte für 2050 berechnet und Zielpfade aufgezeigt, die eine Transformation des Energiesystems hin zu einer 100 Prozent regenerativen Energieversorgung ermöglichen. Das Barometer ist in folgende Kapitel gegliedert:

- **Endenergiebedarf:** Prognosen über den zukünftigen Endenergiebedarf geben Aufschluss über die Energiemengen, die auf der Landesfläche Deutschlands, aber teilweise auch im Ausland aus Erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden müssen.
- **Windenergie:** Die Windenergie ist eine der beiden wichtigsten volatilen, erneuerbaren Erzeugungstechnologien in unserem zukünftigen Versorgungssystem.
- **Photovoltaik:** Sie ist die zweite wichtigste volatile Erzeugungstechnologie in unserem regenerativen Energiesystem der Zukunft.
- **Ausgleichskraftwerke:** Sie sichern eine durchgängige Leistungsdeckung und gleichen Defizite in der Erzeugung aus.
- **Bioenergie:** Aufgrund ihrer leicht zu speichernden Energieform ermöglicht die Bioenergie einen vielfältigen und flexiblen Einsatz.
- **Power-to-Gas:** Durch die Wandlung von elektrischem Strom in ein energiereiches Gas (Wasserstoff, Methan) lassen sich überschüssige Strommengen speichern und bei Bedarf wieder rückverstromen. Dies ermöglicht den Ausgleich von Leistungs- und Energieschwankungen auch über längere Zeiträume.

- **Batterien:** Kurzfristige Schwankungen der Residualleistung können durch Batterien ausgeglichen werden.
- **Wärmesektor:** Die zukünftig notwendige Entwicklung der installierten Leistung von Wärmepumpen wird als Indikator zur Bewertung der Sektorenkopplung von Wärme und Strom herangezogen.
- **Mobilitätssektor:** Elektroautos kommen als neue elektrische Verbraucher hinzu und bilden ein Bindeglied zwischen dem Mobilitäts- und Stromsektor.
- **Investitionstätigkeit und volkswirtschaftliche Bewertung:** Aktuelle und zukünftige Investitionsvolumina in die verschiedenen technischen Komponenten des Energiesystems und die volkswirtschaftliche Bewertung der Energiesystemtransformation.

Die Szenarien wurden mit dem Simulationsmodell SCOPE des Fraunhofer IEE berechnet. SCOPE berücksichtigt die Importe und Exporte in die europäischen Nachbarländer und garantiert, dass die Stromversorgung zu jedem Zeitpunkt und in jedem Land gewährleistet ist. Rahmenbedingung für die Optimierung ist eine CO₂-Reduktion gegenüber 1990 um 95 Prozent bis 2050. Außerdem wurde für den Strom eine ausgeglichene Netto-Importbilanz gewählt, wodurch sichergestellt wird, dass in Summe über ein Jahr der deutsche Strombedarf bilanziell in Deutschland erzeugt wird. Dieser Bedarf beträgt 1.000 TWh. Es wird zusätzlich angenommen, dass weitere 1.100 TWh an elektrischer Energie an sonnen- und windreichen Standorten außerhalb Deutschlands für die Herstellung flüssiger Treibstoffe regenerativ erzeugt werden. Dem Szenario liegen Wetterdaten aus dem Jahr 2011 zugrunde.



ENDENERGIEBEDARF 2050

Um die Frage nach der benötigten Energiemenge eines zukünftigen Energiesystems zu beantworten, müssen Verbrauchsentwicklungen prognostiziert werden. Soll der gesamte Energiebedarf in 2050 CO₂-neutral gedeckt werden, muss der gesamte Endenergiebedarf aus Strom, Wärme, Verkehr und stofflicher Nutzung bilanziert werden. Der Wärmebedarf gliedert sich in die Verbrauchsgruppen Gebäudewärme, GHD-Prozesswärme (Gebäude, Handel, Dienstleistung) und Industriewärme. Als Stromsektor wird der herkömmliche Stromverbrauch bezeichnet. Der Verkehrssektor wird in Straßen- und Bahnverkehr und Flug- und Schiffverkehr eingeteilt. Die stoffliche Nutzung von Energieträgern wird in der Kategorie »nicht energetischer Verbrauch« bilanziert. Die entsprechenden künftig zu erwartenden Energiemengen können der Grafik entnommen werden. Insgesamt wird ein Endenergiebedarf von 1.850 TWh prognostiziert [1 bis 3]. Die Art des Energieträgers hängt von der jeweiligen Endanwendung – Wärme, Strom, Gas, flüssige Treibstoffe – ab [4]. Im Vergleich zu heute werden zukünftig die Sektoren Wärme und Verkehr verstärkt in den Strompfad gelenkt werden. Durch diese Sektorenkopplung können den volatilen erneuerbaren Erzeugungsspitzen neue flexible, elektrische Lasten gegenübergestellt und so das Residuumsignal (Differenz von Verbrauchs- und Erzeugungsleistung) abgeflacht werden. Der Großteil unseres zukünftigen Energiebedarfs wird dann in Form von Strom anfallen.

Die Strombilanz zu unserem Energiebedarf in 2050 ist ebenfalls in der Grafik dargestellt. Der herkömmliche Stromverbrauch wird vollständig in der Strombilanz abgebildet [eigene Berechnungen]. Zur Deckung des Gebäudewärmebedarfs kann der benötigte Strombedarf aufgrund der Nutzung von Umweltwärme deutlich

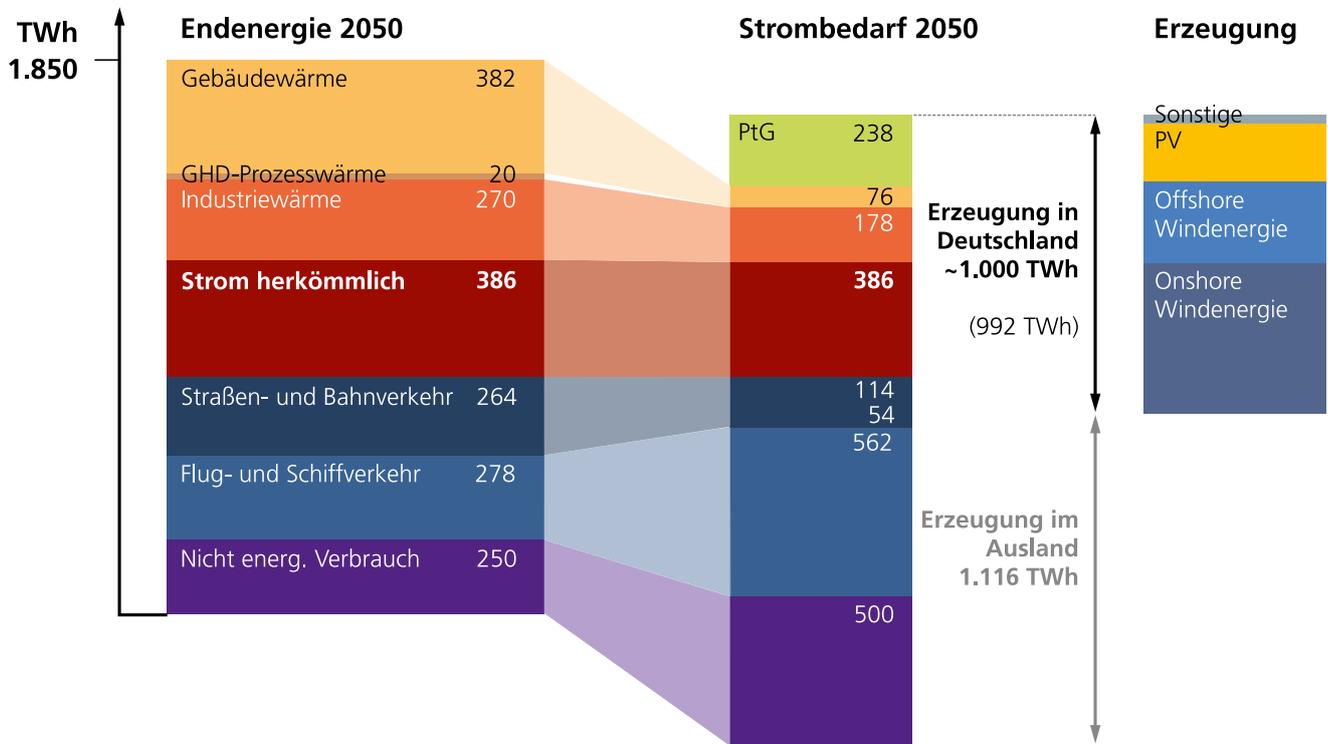
reduziert werden. Der Einsatz von Wärmepumpen bildet hier die entscheidende Koppeltechnologie für die Elektrifizierung des Wärmesektors. Aus einem Teil Strom können mit Hilfe von Umweltwärme vier Teile Wärme erzeugt werden.

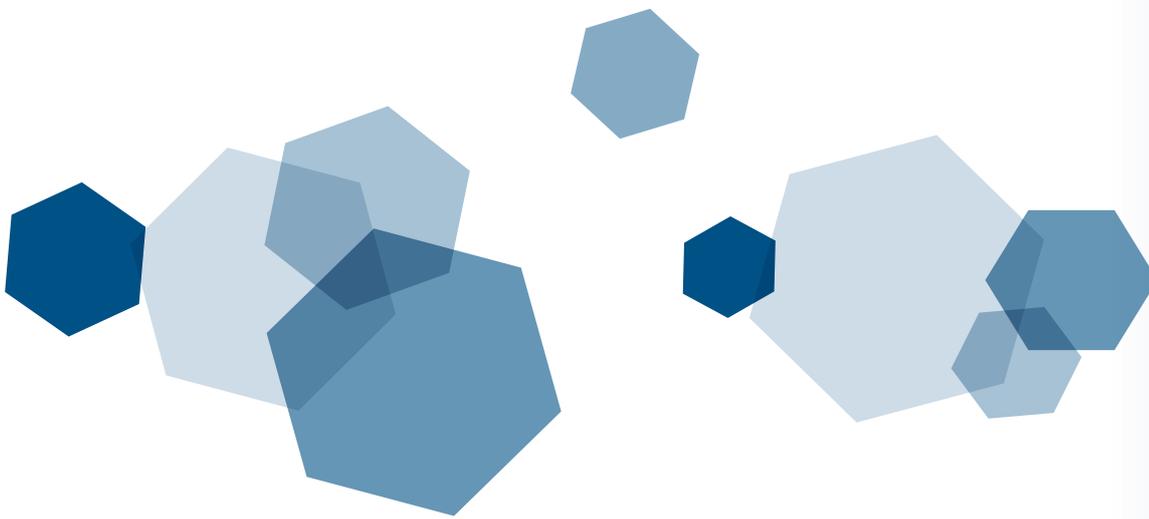
Im Verkehr kann der Energieverbrauch durch Elektromobilität in den Stromsektor überführt werden. Wir gehen in unseren Szenarien von einem hohen Grad an Elektrifizierung des Straßenverkehrs aus [5 bis 7]. Die übrigen Strecken werden mit Hybridfahrzeugen zurückgelegt, die über erneuerbar erzeugte Kraftstoffe angetrieben werden. Überschüssiger Strom kann mit Hilfe von Power-to-Gas (PtG) gespeichert werden. Die Wandlungsverluste und der Anteil, der als Gas eingesetzt wird, sind in der Grafik separat unter PtG ausgewiesen. Der rückverstromte Teil fließt wiederum in eine der Verbrauchergruppen ein und wird nicht separat ausgewiesen.

Der Bedarf für alle direkten Stromanwendungen sowie für PtG muss in Deutschland erzeugt werden (etwa 1.000 TWh). Flüssige Treibstoffe die überwiegend im Flug- und Schiffverkehr oder stofflich genutzt werden, sind leicht transportier- und speicherbar und können an besseren Standorten im Ausland produziert werden. Aufgrund von Wandlungsverlusten bei Power-to-Liquids ist der Strombedarf für die Herstellung der Treibstoffe größer als der flüssige Endenergiebedarf [8]. Im Ausland müssen dafür etwa 1.100 TWh Strom produziert werden.

Die Erzeugungsseite ist im rechten Balken dargestellt und zeigt die durch SCOPE optimierten Szenario-Ergebnisse. Knapp 800 TWh werden aus Windenergie gewonnen, etwa zwei Drittel davon onshore und ein Drittel offshore. 200 TWh werden durch Photovoltaik erzeugt.

» 2050 braucht Deutschland 1.000 TWh regenerativ erzeugten Strom.





WINDENERGIE

Für jede Dimension des Barometers der Energiewende wird ein repräsentativer Indikator gewählt, der ihre Entwicklung aufzeigen soll. Bei der Windenergie sind dies die installierten On- und Offshore-Leistungen. Das Monitoring der technischen Dimensionen wird in zwei Grafiken visualisiert. Der Barometerbalken zeigt den Füllstand der Entwicklung relativ zu seinem Zielwert an. Der Zielwert, der nach unserem Szenario bis 2050 erreicht werden muss, ist am rechten Ende als absolute Zahl aufgetragen. Der aktuelle Stand wird durch die Füllung dargestellt und der Stand im Referenzjahr 2011 durch die gestrichelte Linie.

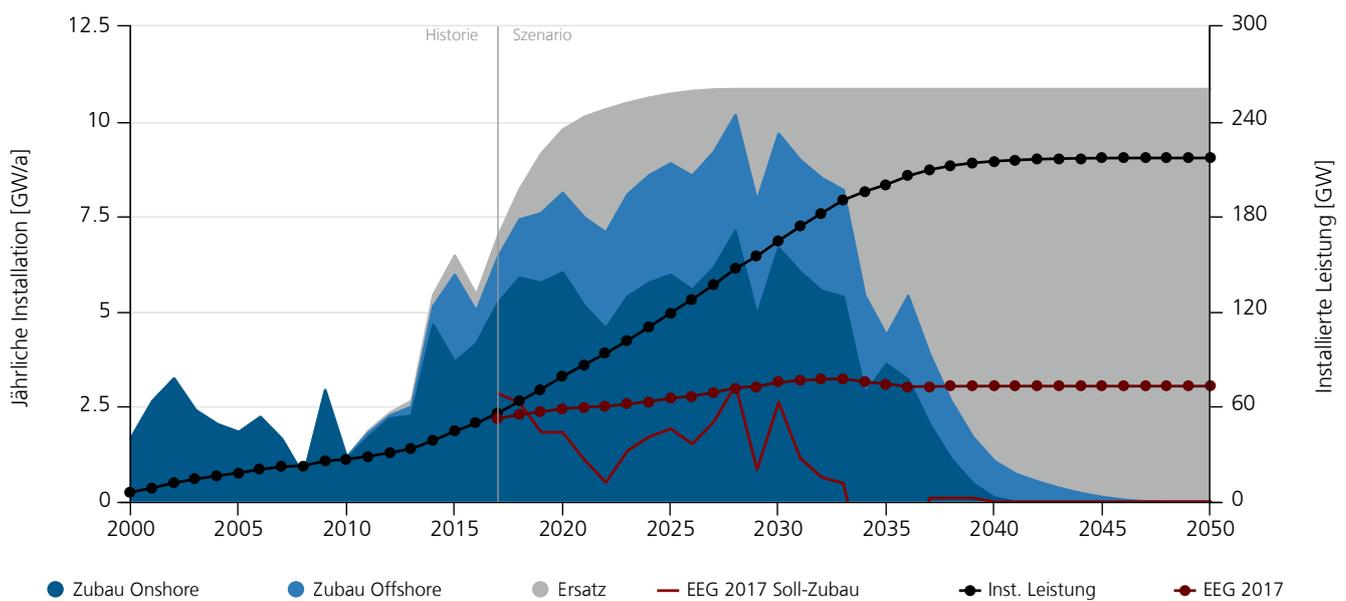
Die Grafik darunter stellt die zeitliche Entwicklung dar. Die Flächen zeigen den jährlichen Netto-Zubau sowie den Ersatz und sind auf der linken Achse aufgetragen. Der Übergang zwischen den historischen Ist-Werten [9] und unseren Szenario-Werten ist durch die graue Vertikale gekennzeichnet. Langfristig soll ein Brutto-Zubau von knapp 11 GW/a bei einer Anlagenlebensdauer von 20 Jahren [10] erreicht werden.

Die aktuellen Zubauraten sind gemessen an unseren Szenario-Rechnungen wesentlich zu niedrig. Die

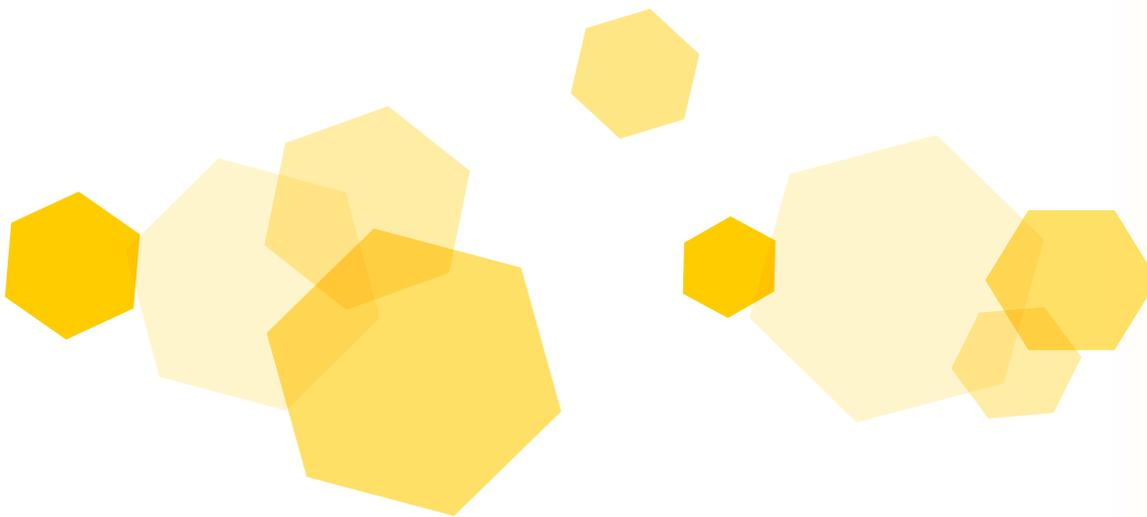
gepunkteten Markierungslinien zeigen die kumulierten installierten Leistungen. Sie sind auf der rechten Achse aufgetragen. Bis zum Jahr 2050 müssen laut unserer Szenario-Rechnung 217 GW installiert sein. Der Zubaupfad wurde nach dem Kriterium möglichst gleichmäßiger Installationsaktivitäten optimiert, die sich aus (Netto-)Zubau und dem Ersatz alter Anlagen zusammensetzen. Das bedeutet, dass die Schwankungen im Markt möglichst gering gehalten werden. Außerdem soll ein Rückgang der Installationsrate verhindert werden, um die betriebswirtschaftliche Belastung bei Herstellern und Installateuren durch ein Überschwingen des Markts zu vermeiden.

In rot ist der jährliche Netto-Zubau nach EEG 2017 und die jeweils daraus resultierende kumulierte Leistung (gepunktete Linie) eingezeichnet. Würden wir dem EEG-Zubau folgen, wären in 2050 nur 73 GW installiert [11]. Auf Basis unserer Szenarien sehen wir dies als deutlich zu gering an.

» Die politisch festgelegten Zubauraten sind wesentlich zu niedrig.



Fraunhofer IEE, 2018



PHOTOVOLTAIK

Der gewählte Indikator für die Photovoltaik ist die installierte Leistung. Der Barometerbalken zeigt den aktuellen Füllstand von 43 GW relativ zu unserem Szenario-Zielwert in 2050 von 187 GW. Die gestrichelte Linie zeigt den Stand der Installation in 2011 als Referenzwert.

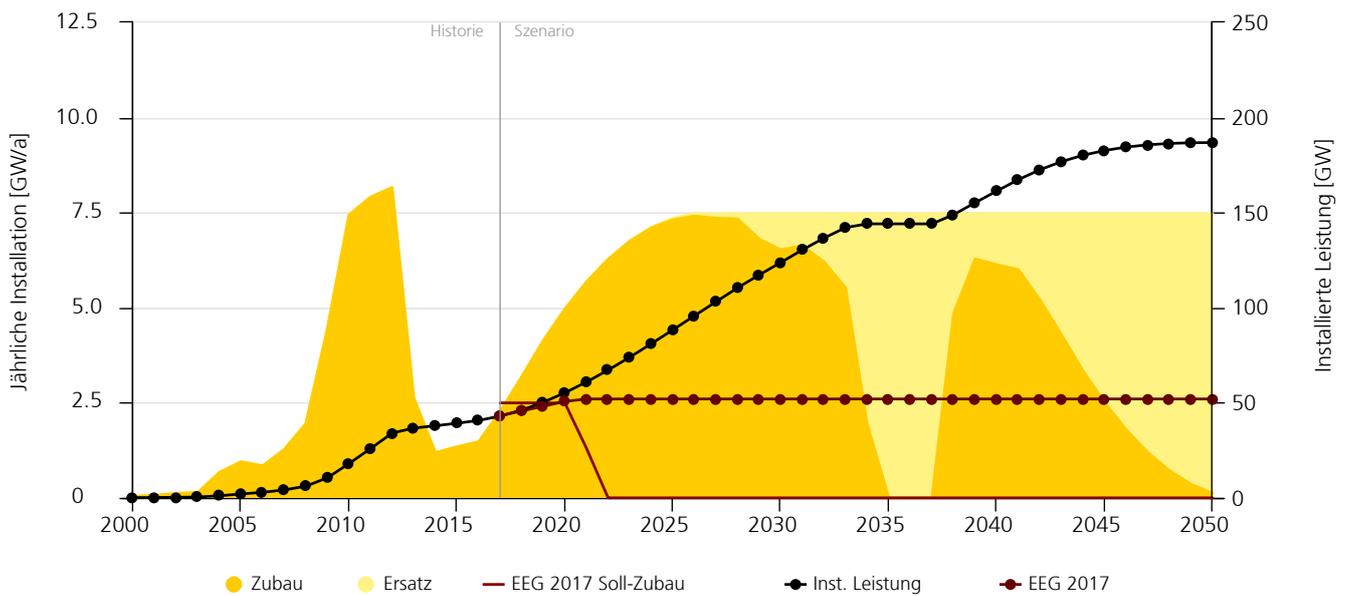
In der Grafik darunter ist die zeitliche Entwicklung dargestellt. Die historischen Werte stammen aus den vom BMWi veröffentlichten Zeitreihen [9] und sind durch die graue vertikale Linie von unseren zukünftigen Szenario-Werten getrennt. Die Flächen zeigen den jährlichen Zubau und sind auf der linken Achse aufgetragen. Der Netto-Zubau ist in dunkelgelb gekennzeichnet, der Ersatz in hellgelb. Langfristig müsste sich ein Marktvolumen von 7,5 GW pro Jahr einstellen, um bei einer Anlagenlebensdauer von 25 Jahren [12] die nach unserem Szenario notwendige Zielinstallation von 187 GW zu erreichen. In der Vergangenheit wurden bereits höhere jährliche Installationsraten erreicht [9]. Momentan sind die jährlichen Installationen jedoch deutlich zu gering.

Der Entwicklungspfad wurde nach denselben Kriterien wie bei der Windenergie optimiert (siehe Windenergie S. 14). Demnach sollten in Deutschland möglichst umgehend höhere Installationsraten erzielt werden, damit ein Überschwingen des Marktes noch verhindert werden kann.

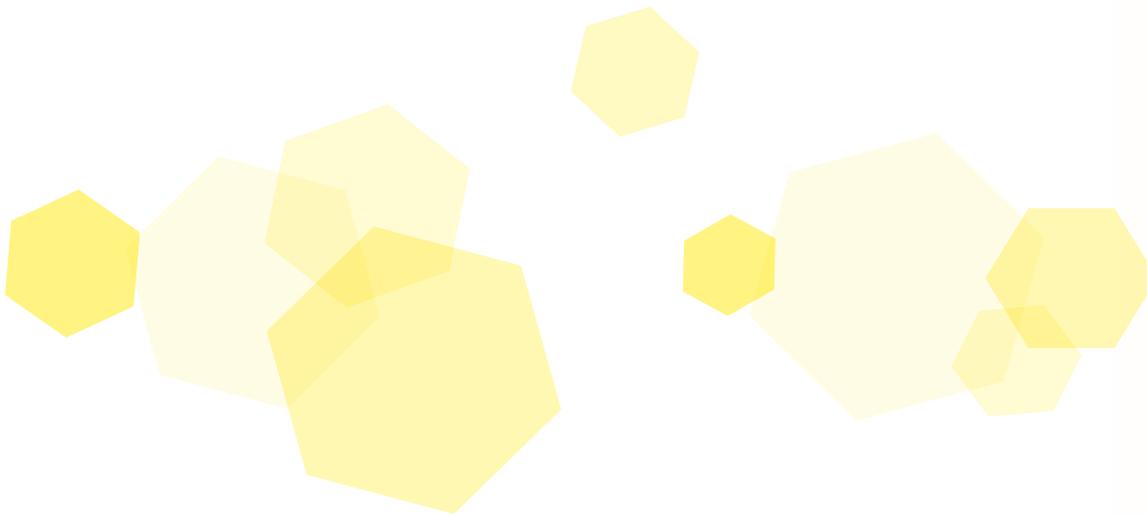
Die durchgezogenen gepunkteten Linien beziehen sich auf die rechte Achse. Sie zeigen die kumulierten Installationen und bilden damit das Integral der Fläche ab. Der Endwert entspricht dem Zielwert aus dem Barometerbalken und liegt laut unserem Szenario bei 187 GW. Auf dieser Basis ließen sich etwa 200 TWh Energie gewinnen.

In rot ist der Soll-Zubau nach EEG 2017 dargestellt [13]. Die im EEG festgelegte harte Grenze von 52 GW würde bereits im Jahr 2022 erreicht werden und einen weiteren Zubau verhindern. Wenn wir dem Soll-Zubau des EEG 2017 folgen, dann werden wir im Jahr 2050 nur 52 GW installiert haben., hätten wir im Jahr 2050 nur 52 GW installiert. Unser Szenario zeigt einen Bedarf an installierter Leistung, der etwa vier Mal so hoch ist.

» Der aktuelle Ausbau der Photovoltaik ist zu langsam.



Fraunhofer IEE, 2018



AUSGLEICHSKRAFTWERKE

Die Ausgleichskraftwerke sorgen dafür, dass auch bei Erzeugungsdefiziten ausreichend Leistung bereitgestellt werden kann, um den Bedarf zu jedem Zeitpunkt zu decken. Durch den steigenden Ausbau der volatilen erneuerbaren Energien nehmen Erzeugungsschwankungen zu. Einerseits kann durch Demand-Side-Management der flexible Verbrauch an die Erzeugung angepasst werden, andererseits müssen Ausgleichskraftwerke zur Verfügung stehen, um den nicht flexiblen Verbrauch zu jedem Zeitpunkt zu befriedigen. Der thermische Kraftwerkspark in Deutschland in 2016 ist im linken Balken dargestellt. Kernenergie- und Mineralöl-Kraftwerke stellen den kleineren, Kohle- und Gaskraftwerke den größten Anteil der installierten Leistung bereit [14].

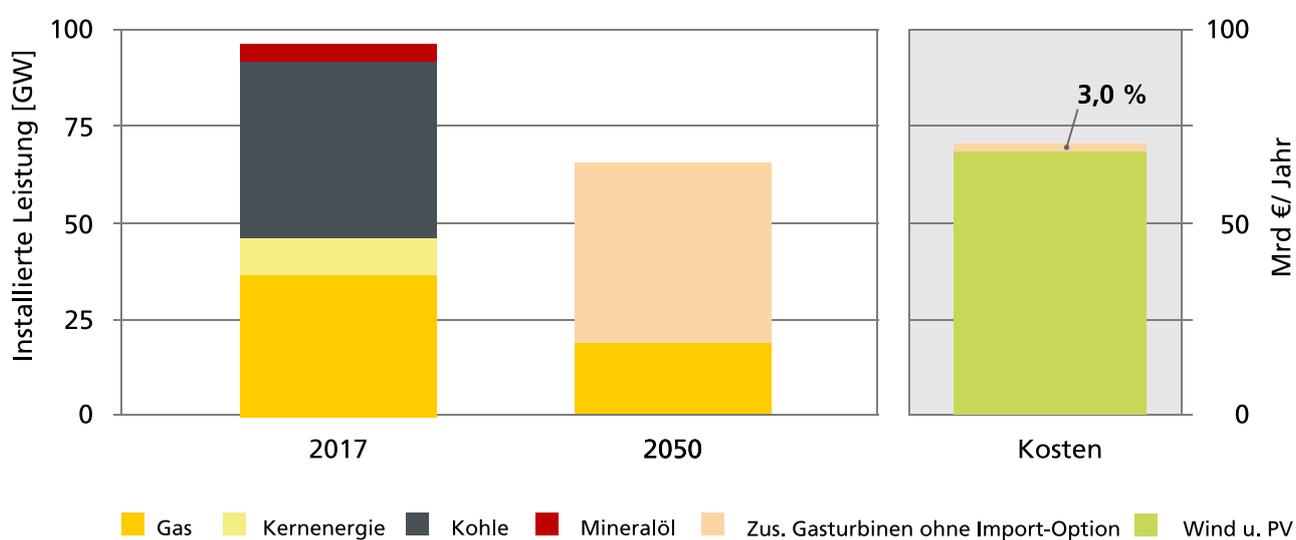
In 2050 sollen ausschließlich Gaskraftwerke installiert sein, die mit erneuerbar erzeugtem Gas betrieben werden. Die Frage nach der notwendigen Installationsleistung ist nicht einfach zu beantworten. Bei der Auslegung des Ausgleichskraftwerks geht es im Kern darum, die Wahrscheinlichkeit für einen signifikanten Einbruch (50 Prozent und mehr) der Erzeugungsleistung über einen längeren Zeitraum (Tage, Wochen) und über ein größeres Gebiet (Durchmesser 500 Kilometer und mehr) zu bewerten. Ein solches Ereignis ist bei dem durch die erneuerbare Erzeugung bestimmten Energieversorgungssystem ein sehr seltenes Wetterereignis. Aufgrund der angenommenen Großräumigkeit des Ereignisses ist dabei auch der Ausgleich des Leistungsdefizits über Ländergrenzen nicht möglich.

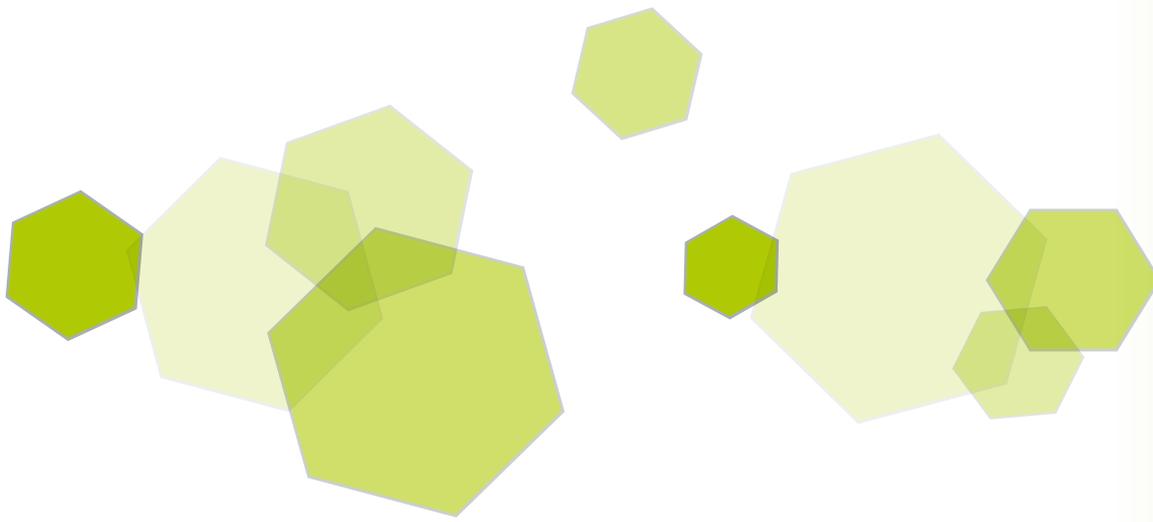
Die niedrige Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses ist in Beziehung zu setzen mit der Performanzgüte

des deutschen Energiesystems, die nur wenige Minuten Ausfall pro Person und Jahr beträgt. Bei der Bewertung der tolerierbaren Wahrscheinlichkeit für ein solch extremes und systemrelevantes Wetterereignis muss der Betrachtungszeitraum über 10 bis 100 Jahre gespannt werden. Methodisch kann die Bewertung solcher Ereignisse nicht aus den verfügbaren Zeitreihen, die nur für wenige Jahre in der jüngeren Vergangenheit zur Verfügung stehen, gewonnen werden. Sie muss aus grundsätzlichen Überlegungen zur Auftrittswahrscheinlichkeit meteorologischer und geologischer Extrem-Ereignisse resultieren.

Beantwortet man die Frage nach der notwendigen Ausgleichsleistung szenario-basiert unter Berücksichtigung lediglich eines Wetterjahres (hier 2011), zeigen die Szenario-Ergebnisse für Deutschland im europäischen Verbundnetz einen Bedarf an Ausgleichsleistung von 18 GW. Sind Leistungsimporte während der Defizitzeiten nicht möglich, ergibt sich ein Bedarf von 66 GW [15]. Es müssten dann zusätzlich 46 GW Leistung an Gaskraftwerken installiert werden, um unabhängig von Importmöglichkeiten den Leistungsbedarf in Deutschland selbst zu decken. Die Kosten, die durch diese zusätzlichen Gaskraftwerke von 46 GW entstehen würden, betragen etwa 2 Mrd € pro Jahr für Abschreibung der Investitionen und Betriebskosten [15]. Bezogen auf die jährlichen Kosten für den Ersatz und den Betrieb der Windenergie- und Photovoltaikanlagen in 2050, liegt der Anteil der Kosten für die zusätzlichen Gaskraftwerke bei gerade einmal 3 Prozent.

» In 2050 betragen die jährlichen Kosten für notwendige Ausgleichskraftwerke nur 3 % der Stromgestehungskosten von PV und Wind.





BIOENERGIE

Die Ableitung einer Zukunftsperspektive für die Bioenergie gestaltet sich ungleich schwieriger als dies für andere Arten erneuerbarer Energien der Fall ist. Hierfür gibt es mehrere Gründe:

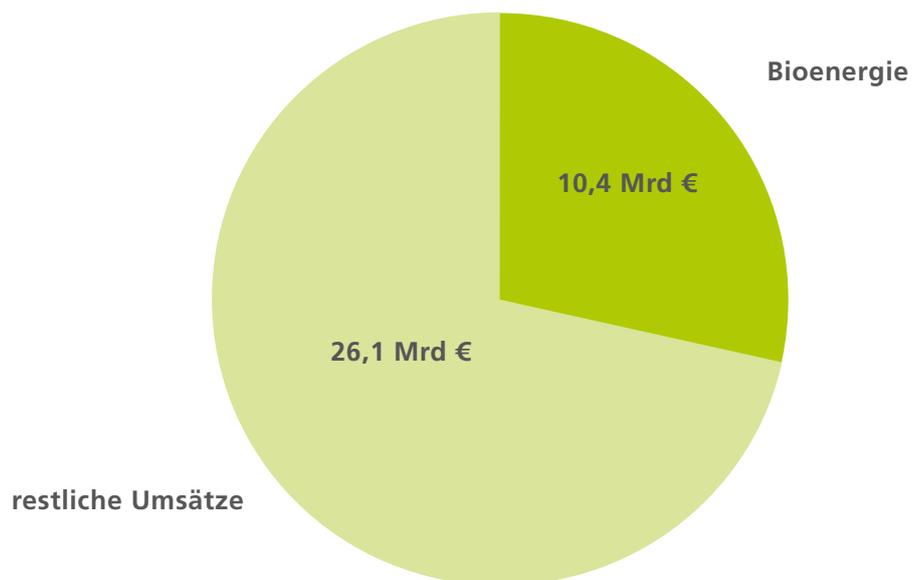
- Bioenergie kann multisektoral eingesetzt werden. Sie ist aber nicht hinreichend verfügbar, um einen, geschweige denn alle Energieverbrauchssektoren (Strom, Wärme, Verkehr) allein versorgen zu können. Aktuell wird diskutiert, Biomasse künftig verstärkt zum Ersatz fossiler Rohstoffe in der stofflichen Nutzung einzusetzen.
- Im Gegensatz zur praktisch rückkopplungsfreien Nutzung von Wind- oder Sonnenenergie auf ihre Ursprungssysteme hat die Nutzung von Biomasse stets eine Auswirkung auf die Systeme ihrer Herkunft, nämlich der Land-, Forst- und Abfallwirtschaft. Dies hat in der jüngsten Vergangenheit zu unerwünschten Effekten in den Ursprungssystemen geführt.
- Die Nutzung der Bioenergie bietet, richtig eingesetzt, zahlreiche Möglichkeiten positive Effekte in den Ursprungssystemen zu bewirken. So können beispielsweise Anbausysteme, die für mehr Biodiversität, Grundwasser- und Bodenschutz sorgen, durch die anschließende energetische Nutzung der hierbei anfallenden Biomasse-mengen kostengünstiger umgesetzt werden. Bioenergiesysteme können weiterhin zur ökonomischen Stabilisierung der Ursprungssysteme auf volks- und betriebswirtschaftlicher Basis beitragen.

Besonders der letzte Punkt führt zu dem Vorschlag, die energetische Nutzung von Biomasse nicht über den Einsatz im Energiesystem zu definieren, sondern diese zunächst so in ihre Ursprungssysteme zu integrieren, dass sie dort einen maximalen Systemnutzen erbringen. Die aus dieser Vorgehensweise zur Verfügung stehenden Biomasse-mengen können dann der jeweils passenden energetischen bzw. stofflichen Nutzung zugeführt werden.

Die Führungsgröße der Bioenergie wird daher die landwirtschaftliche Nutzung sein. Dargestellt ist der Beitrag der Bioenergie von 10,4 Mrd Euro [16] am jährlichen Gesamtumsatz der Landwirtschaft von 36,5 Mrd Euro [17]. Dies macht die energetische Biomasse-nutzung zu einer wichtigen wirtschaftlichen Säule für die Landwirtschaft vor dem Hintergrund der Ertragsvolatilität landwirtschaftlicher Erzeugnisse.

» Die energetische Nutzung der Bioenergie hat erheblichen Anteil am Umsatz des Landwirts: 28%

Umsatz Landwirtschaft 2017: 36,5 Mrd €





POWER-TO-GAS

Für das Monitoring von Power-to-Gas ist die installierte elektrische Leistung der Elektrolyseure die von uns gewählte Maßeinheit. Der Barometerbalken zeigt, dass wir uns noch in der Anfangsphase relativ zu dem Szenario-Zielwert von 66 GW befinden. Ende 2017 waren lediglich 0,03 GW installiert [18, eigene Recherche].

Die untere Grafik zeigt die zeitliche Entwicklung von Power-to-Gas. Die Flächen stellen den jährlichen Zubau dar und beziehen sich auf die linke Achse [eigene Datenbank, eigene Berechnungen]. Langfristig sollten 3,2 GW pro Jahr brutto (Ersatz (hellgrün), plus Neuinstallation (dunkelgrün)) zugebaut werden. Unser Zubaupfad wurde nach den gleichen Kriterien wie für die Windenergie optimiert (siehe Kapitel Windenergie). Die schwarze gepunktete Markierungslinie bildet die kumulierte installierte Leistung ab und bezieht sich auf die rechte Achse. Sie endet bei 66 GW, dies entspricht dem aus unserem Szenario errechneten Bedarf an PtG-Leistung im Jahr 2050.

Um auf die notwendige Installationsleistung zu kommen, müssen in Deutschland die Anfangsphase der Marktentwicklung überwunden und höhere jährliche Installationsraten erzielt werden. Dies kann zum einen über Technologieförderung, zum anderen über eine Marktanreizung erreicht werden.

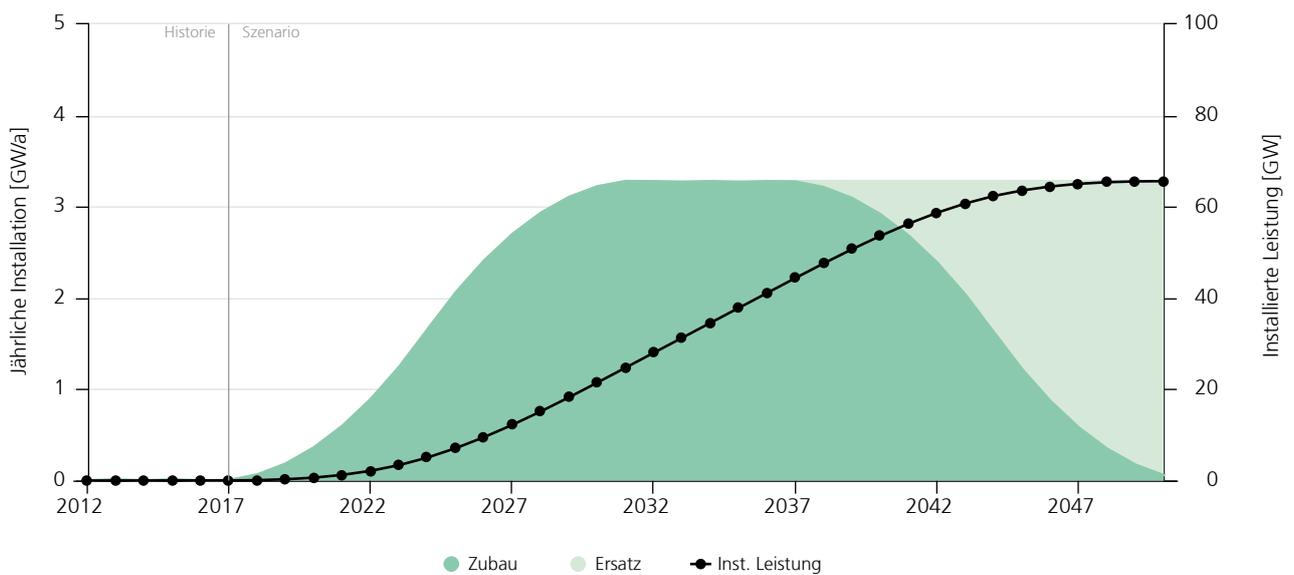
Technologieförderung halten wir weiterhin für notwendig, um die Entwicklung funktionierender Geschäftsmodelle für Power-to-Gas zu ermöglichen und dadurch das Interesse der Industrie zu wecken. Power-to-Gas

Forschung ist typischerweise sehr anwendungsorientiert und bedarf einer engen Zusammenarbeit mit der Industrie. Deswegen müssen Benachteiligungen abgeschafft werden, um Power-to-Gas Anlagen einen Rahmen für heutige Geschäftsmodelle zu bieten. Sie werden sowohl durch hohe Strombezugskosten aufgrund von Abgaben und Umlagen als auch durch fehlende Belohnung für Systemdienstleistungen benachteiligt. Fehlende Vorteile bei der Nutzung von nicht-integrierbaren Strommengen erschweren ebenfalls die Wirtschaftlichkeit. Folgende Maßnahmen könnten unmittelbar umgesetzt werden, um eine Marktgängigkeit von PtG-Anlagen zu erreichen:

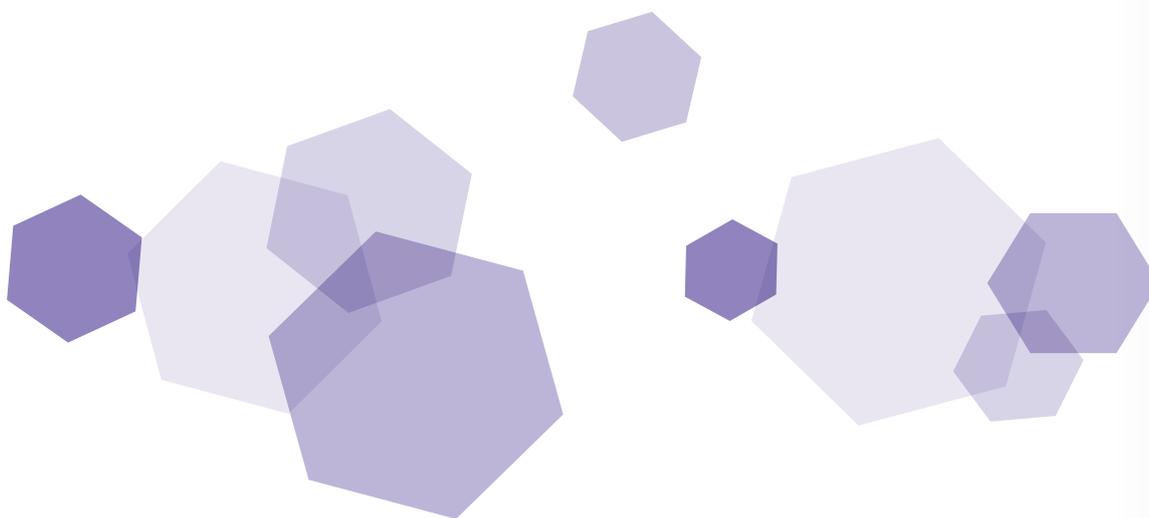
1. PtG-Produkte als Energiespeicher anerkennen,
2. steigenden Flexibilitätsbedarf im Strommarkt teilweise durch Power-to-Gas decken und
3. den Einsatz zur Netzentlastung ermöglichen,
4. nicht integrierbaren Strom (Einspeisemanagement) für PtG nutzen,
5. PtG-Produkte als Biokraftstoff anerkennen,
6. Emissionsminderungsmöglichkeiten von PtG im Rahmen des EU ETS (European Union Emissions Trading System) anerkennen,
7. Technologieentwicklung vorantreiben mit dem Ziel der Kostenreduktion, Effizienzsteigerung, etc. [19].

Des Weiteren kann eine Marktanreizung als geeignetes Instrument eingesetzt werden. Hilfreich könnte die Beschränkung auf Nischenmärkte sein. Dadurch könnte mit Hilfe einer Marktanreizung zwar früher positive Geschäftsmodelle erreicht, aber gleichzeitig eine Überförderung der Technologie vermieden werden.

» Power-to-Gas braucht Technologieförderung und Marktanreizung, um früher positive Geschäftsmodelle zu erreichen.



Fraunhofer IEE, 2018



STATIONÄRE BATTERIESPEICHER

Als zweite Speichertechnologie monitoren wir die Batteriespeicher. Die Messgröße ist die installierte Kapazität aller stationären System- und PV-Batterien. Ende 2017 waren 0,8 GWh Speicherkapazität in Deutschland installiert, wie im Barometerbalken zu sehen ist [20, 21, eigene Annahmen]. Bis 2050 müssten unserer Szenario-Rechnung zufolge 60 GWh installiert werden, um unseren Speicher- und Ausgleichsbedarf zu decken.

Aus der unteren Grafik kann die zeitliche Entwicklung der Batteriespeicher entnommen werden. Historische Werte werden durch die graue Vertikale von unseren Szenario-Werten getrennt. Die Flächen zeigen den jährlichen Netto-Zubau an Kapazität. Der optimierte Zubaupfad beruht auf den gleichen Kriterien wie die Windenergie (siehe Kapitel Windenergie). Dadurch soll ein möglichst marktfreundlicher Zubau erreicht werden, bei dem die Änderungen der jährlichen Installationsrate möglichst gering sind und sowohl ein Überschwingen des Marktes als auch ein Rückgang der Installationsraten vermieden werden sollen. Die gepunktete Linie zeigt die jeweils kumulierte installierte Leistung. Sie bildet somit das Integral der jährlichen Netto-Installation, die als violette Flächen dargestellt sind.

Aus energiesystemtechnischer Sicht sehen wir zukünftig einen steigenden Bedarf an Batterien. Allerdings ist die Schwankungsbreite bei der Festlegung des Zielwerts

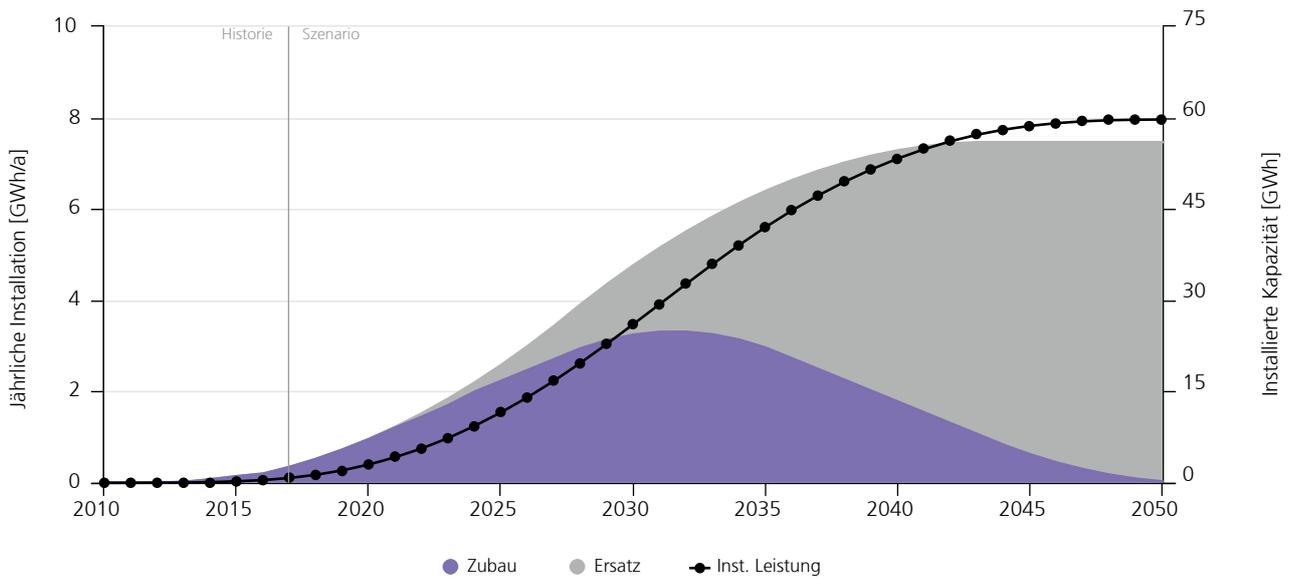
relativ groß. Die Batteriekapazität kann leicht durch andere Verschiebungstechnologien wie beispielsweise Elektrolyseure, Wärmepumpen, Ausgleichskraftwerke oder Elektromobilität verdrängt werden.

Tendenziell sinken die notwendigen Kapazitäten in unseren Szenarien. Hauptanwendungsfeld werden netzdienliche Systemdienstleistungen sein.

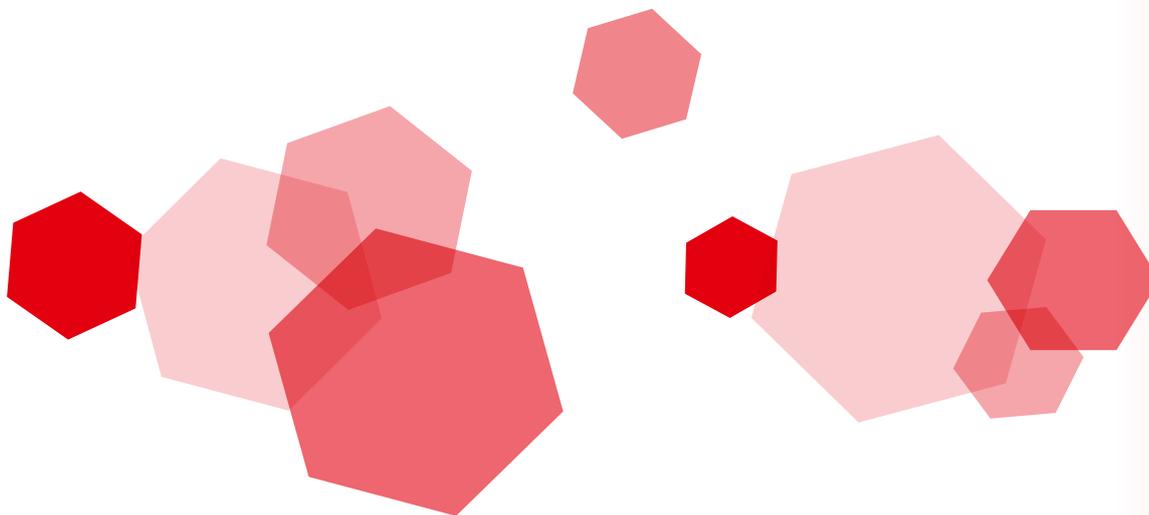
Aus Investmentsicht stellt sich die Frage, wie sich stationäre und PV-Batteriekapazitäten zu den Batteriekapazitäten in der Elektromobilität verhalten.

Aktuell übersteigt die Batteriekapazität der Elektromobilität die Installation von stationären und PV-Batterien um etwa das Vierfache. Ende 2017 waren in Deutschland 3,1 GWh Batteriekapazität im Bestand der Elektroautos und in Plug-In-Hybriden verbaut [22, eigene Marktrecherche]. Für 2050 erwarten wir eine installierte Batteriespeicherkapazität im Mobilitätssektor von etwa 2.400 GWh [eigene Annahmen, eigene Berechnungen]. Dies entspricht dem 40-fachen des errechneten Bedarfs an Batteriekapazität aus unserem Szenario von 60 GWh. Marktbestimmend werden also die Batterien für Elektrofahrzeuge und nicht die stationären Batterien sein. Aus dem gigantischen Potenzial für Batterien folgt die wichtige industriepolitische Forderung nach der Errichtung von Produktionsstätten für Batterien in Deutschland und in Europa.

» Die E-Mobilität dominiert den Batteriemarkt. Die Batteriekapazität der E-Mobile übersteigt den Bedarf an stationären Batteriespeichern um ein 40-faches.



Fraunhofer IEE, 2018



WÄRMESSEKTOR

Der Wärmesektor ist von allen Sektoren der größte Emittent von CO_2 . Somit ist hier das CO_2 -Verringerungspotenzial am größten und dessen Effizienzsteigerung hier besonders wichtig. Die Dekarbonisierung ist sowohl auf Verbraucher- als auch auf Erzeugerseite notwendig. Auf Verbraucherseite bedeutet dies Effizienzmaßnahmen wie beispielsweise die energetische Gebäudesanierung, auf Erzeugerseite die Überführung der Heizaggregate in den Strompfad, in der Hauptsache durch die Installation von Wärmepumpen. Beide Entwicklungen sind nicht entkoppelt voneinander zu betrachten. Eine bessere Gebäudedämmung erlaubt eine Verringerung der Vorlauftemperatur für das Heizungssystem, was sich positiv auf den Wirkungsgrad der Wärmepumpe und somit die benötigten Installationsleistungen auswirkt.

Repräsentativ für das Monitoring des Wärmesektors wurde die installierte elektrische Leistung von Wärmepumpen gewählt. Mit diesem Indikator wird nicht der gesamte Sektor erfasst, aber er bildet eine Messgröße, über die wir abschätzen, wie sich die Sektorenkopplung und die Elektrifizierung des Wärmebedarfs in Deutschland entwickeln.

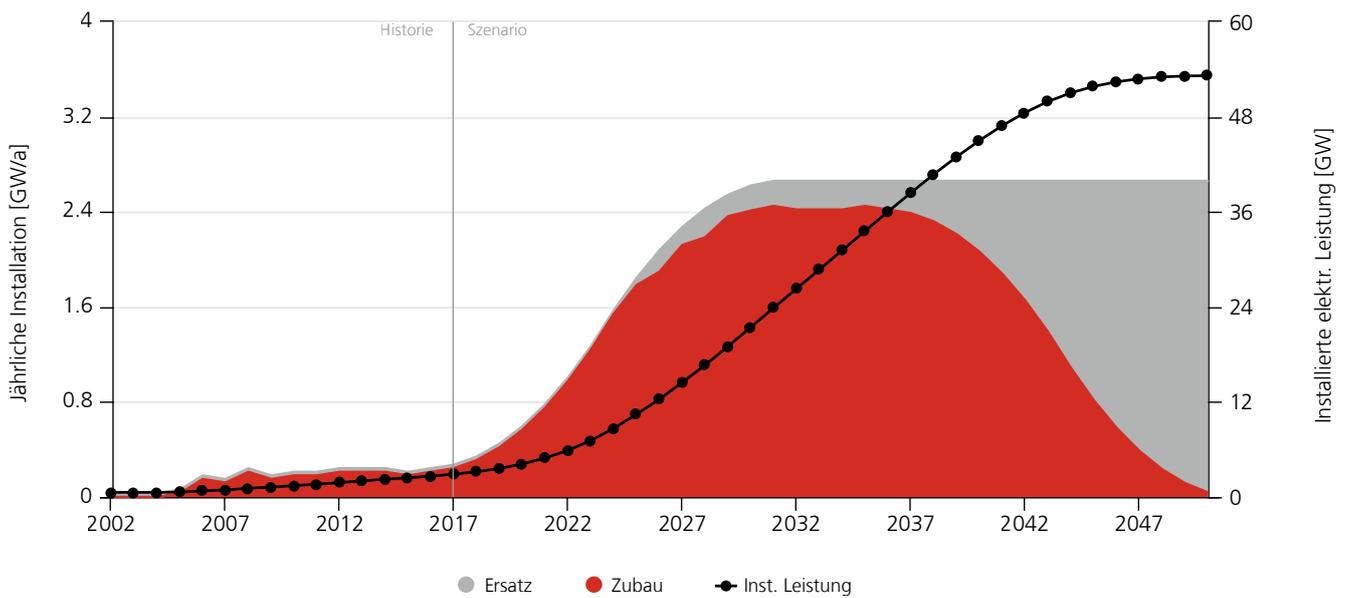
Der Barometerbalken zeigt den Zielwert aus unserem Szenario von 53 GW installierter elektrischer Leistung in

2050. Ende 2017 waren in Deutschland etwa 2,9 GW installiert [9].

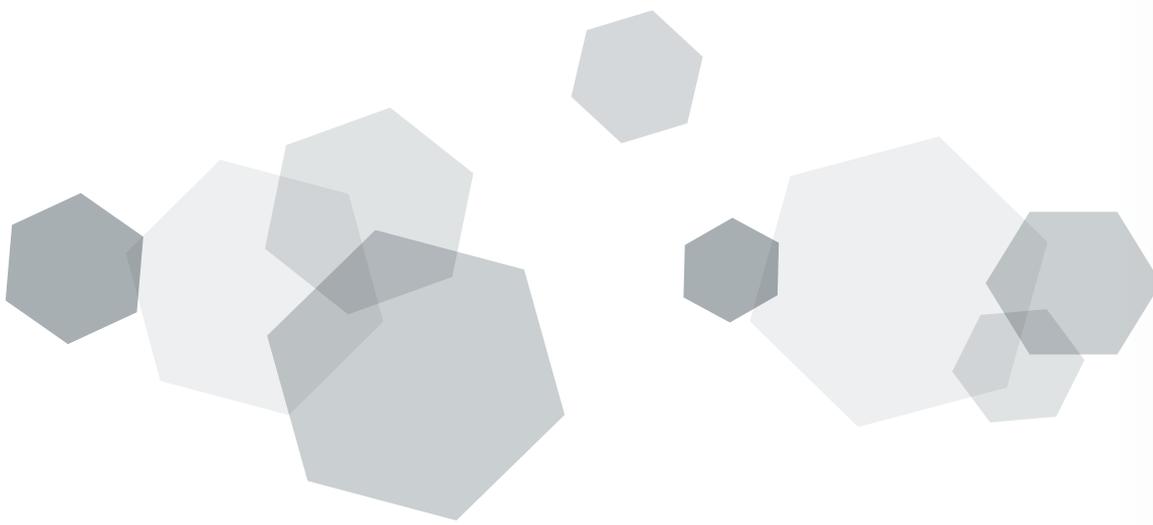
Die zeitliche Entwicklung der installierten Leistung ist in der unteren Grafik dargestellt. Die Flächen zeigen den jährlichen Zubau und Ersatz der Installation, die Werte beziehen sich auf die linke Achse [9, 23]. Historische Werte sind von den modellierten zukünftigen Soll-Werten durch die graue Senkrechte getrennt. Der optimierte Zubaupfad folgt den gleichen Kriterien wie denen der anderen Technologien (siehe Windenergie). Die Werte der schwarzen gepunkteten Linie beziehen sich auf die rechte Achse. Sie zeigt die jeweils kumulierte elektrische Leistung und bildet somit das Integral der roten Flächen ab.

Aktuell sind die Installationsraten von Wärmepumpen zu niedrig. Besonders im Gebäudebereich sollten aufgrund der Trägheit des Sektors die Installationsraten zeitnah gesteigert werden. Heute eingebaute Heizungssysteme verbleiben für etwa 30 Jahre im Gebäudebestand und sollten daher möglichst ab sofort in den Strompfad gelenkt werden.

» Der Wärmesektor ist der größte CO₂-Emittent.



Fraunhofer IEE, 2018



MOBILITÄTSSEKTOR

Der Mobilitätssektor befindet sich im Wandel. Die Umstellung auf nachhaltige Antriebsarten stellt einen wichtigen Aspekt dar, um Emissionen zu sparen und Belastungen durch Feinstaub zu senken. Unser Bewertungsindikator ist die Anzahl der zugelassenen Elektro- und Hybridautos (siehe Grafik). Elektroautos fahren rein elektrisch, Plug-In-Hybride hingegen verfügen darüber hinaus über einen Verbrennungsmotor. Dieser kann das Fahrzeug entweder ebenfalls direkt antreiben (Parallel-Hybrid), oder lediglich als Energiequelle für die Batterie dienen (serieller Hybrid). In jedem Fall kann die Batterie extern über einen Netzstecker aufgeladen werden [24].

Auf der linken Achse sind die jährlichen Netto-Neuzulassungen aufgetragen, auf der rechten Achse der aktuelle Bestand. Der hellgrüne Balken zeigt die Anzahl der E-Autos, der graue Balken die der Plug-In-Hybride. Beide geben die jährlichen Netto-Neuzulassungen wieder. Die schwarze Linie bezieht sich auf die rechte Achse und stellt somit die gesamte Anzahl an zugelassenen E-PKW und Plug-In-Hybriden dar. Die Grafik bezieht sich dabei auf Daten des Kraftfahrt-Bundesamts [22]. In den vergangenen zehn Jahren hat ein Wachstum auf fast 100.000 Fahrzeuge stattgefunden. Dabei scheinen wir eine Phase exponentiellen Wachstums mit einer jährlichen Verdopplungsrate des Bestands erreicht zu haben. Für die Zuwachsraten ist die Meinungsbildung der Bevölkerung wichtig, da im Bereich der Mobilität überwiegend Privatinvestoren am Markt beteiligt sind. Hier können schon alleine Diskussionen um Dieselfahrverbote die Entwicklung der Elektromobilität vorantreiben.

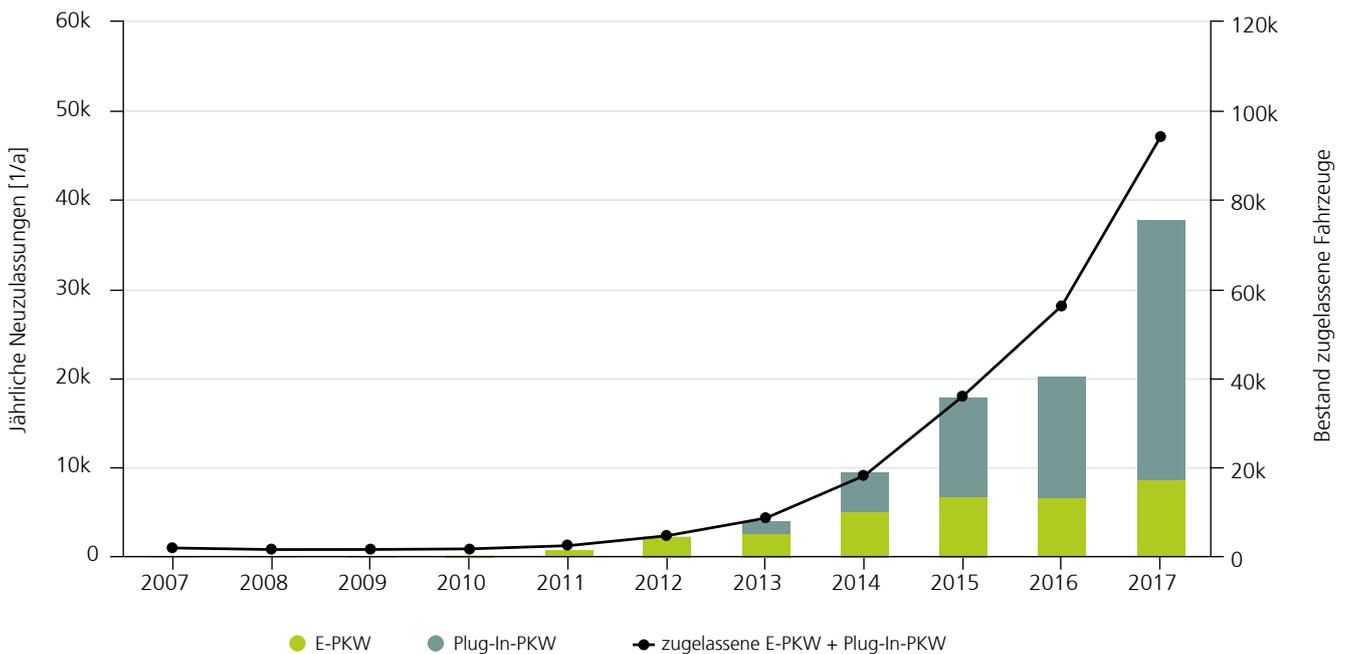
Der erste Barometerbalken bezieht sich auf ebendiese 100.000 E-Fahrzeuge und Plug-In-Hybride im Jahr 2017.

In unserem Szenario rechnen wir bis 2050 mit circa 40 Millionen Fahrzeugen, was aufzeigt, dass ein starkes Wachstum in diesem Bereich notwendig ist, um das Ziel zu erreichen. Die Bundesregierung hat das Ziel von einer Million Elektroautos bis 2020 revidiert [25]. Für die Entwicklung der Elektromobilität sehen wir jedoch den Weltmarkt und nicht den deutschen Markt als entscheidend, da auch ein Großteil des Umsatzes deutscher Automobilhersteller im Ausland liegt.

Des Weiteren wird die Anzahl öffentlicher Ladepunkte im zweiten Barometerbalken angezeigt, da nur durch die Bereitstellung der entsprechenden Infrastruktur von öffentlichen Ladesäulen der Wandel effizient vollzogen werden kann. Im Barometerbalken kann man erkennen, dass es derzeit nur circa 10.000 öffentliche Ladepunkte gibt [26], wir rechnen in unserem Szenario mit etwa einem Ladepunkt je zehn Fahrzeuge und kommen somit auf einen Bedarf von 4 Millionen Ladesäulen in 2050. Somit ist auch hier ein starker Anstieg im Ausbau der Infrastruktur notwendig, um dieses Ziel zu erreichen.

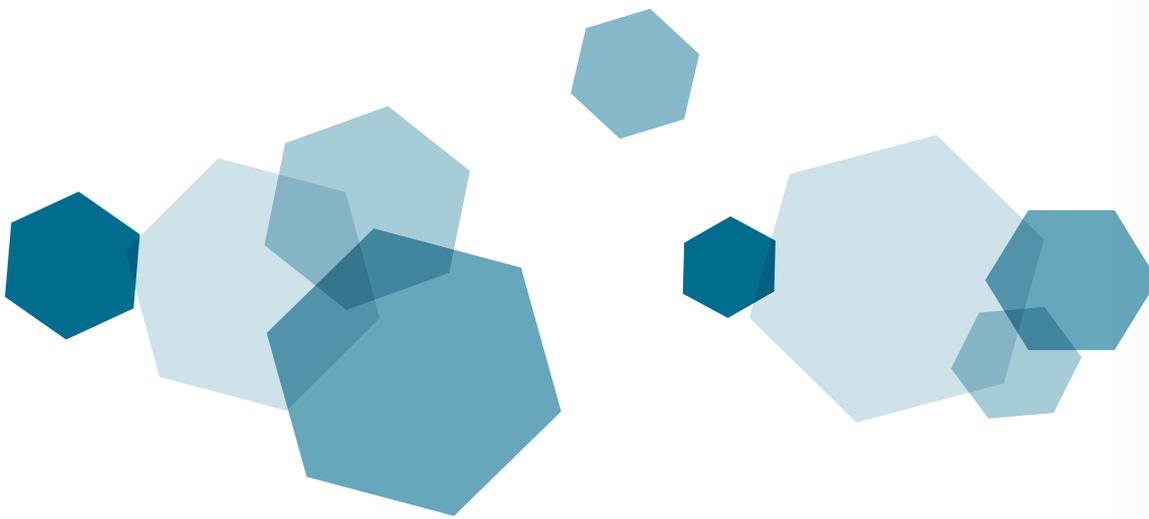
Der unterste Barometerbalken stellt den Mineralölverbrauch im Verkehrssektor dar und besitzt im Gegensatz zu den anderen Balken eine umgekehrte Skala. Die Zielgröße entspricht hier Null und die Referenzgröße ist der Kraftstoffverbrauch des Jahres 2011. Man erkennt, dass sich der Verbrauch in die falsche Richtung entwickelt, denn nach Angaben des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle lag der Wert in 2017 bei 645 TWh/a, während er im Jahr 2011 noch bei 600 TWh/a lag [27]. Bis 2050 müssen die verkehrsbedingten Emissionen komplett vermieden werden, um einen klimaneutralen Verkehrssektor zu erreichen.

» Das Wachstum der deutschen Elektromobilität wird durch weltweite Entwicklungen aktuell in Kalifornien und China bestimmt.



Fraunhofer IEE, 2018





TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN

In diesem Jahr haben wir das Thema der Treibhausgasemissionen in den Fokus unserer Betrachtung gerückt, da sie hauptsächlich für den menschenverursachten Klimawandel verantwortlich sind. Die nebenstehende Grafik beschäftigt sich mit deren Entwicklung und zeigt die Treibhausgasemissionen in Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalenten. Der Indikator der Treibhausgasemissionen reflektiert die ökologische Dimension der Energieerzeugung. In ihm werden die verschiedenen Entwicklungen der technischen Dimensionen zusammengefasst und die eigentliche Zielgröße, nämlich die Reduktion klimaschädlicher Emissionen beobachtet.

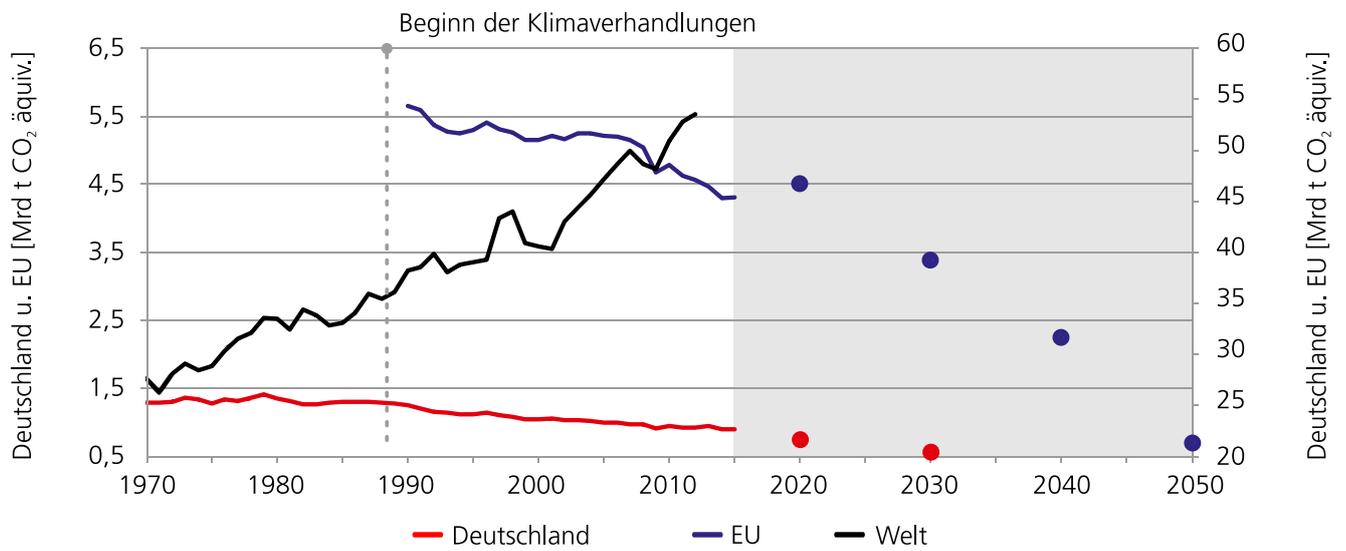
Die Daten der EU (blau) und Deutschland (rot) beziehen sich auf die linke Achse, die globalen Emissionen (schwarz) auf die rechte Achse [31, 32]. Zudem sind im grau hinterlegten rechten Bereich die festgelegten zukünftigen Klimaziele der EU und Deutschland durch Punkte aufgezeigt [33]. Der Beginn der globalen Weltklimakonferenzen ist ebenfalls als grau gestrichelte Linie zu erkennen: 1988 fand die Klimakonferenz in Toronto statt, bei der erstmals Wissenschaftler und Regierungsvertreter gemeinsam teilnahmen.

Die Grafik zeigt, dass in 1990 die Treibhausgasemissionen Deutschlands bei 1,3 Mrd Tonnen CO₂-Äquivalenten lagen, die der EU bei 5,7 Mrd Tonnen CO₂-Äquivalenten und die weltweiten Treibhausgasemissionen bei

38,2 Mrd Tonnen CO₂-Äquivalenten. Im Vergleich dazu konnte Deutschland seine Emissionen bis 2012 auf etwa 930 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente und die EU auf rund 4,6 Mrd Tonnen CO₂-Äquivalente senken, was jeweils einer Reduktion von mehr als 28 Prozent für Deutschland und 19 Prozent für die EU gegenüber 1990 entspricht. Im Gegensatz dazu haben sich die globalen Werte in 2012 auf ein Niveau von 53,5 Mrd Tonnen CO₂-Äquivalenten entwickelt, was einem Wachstum von circa 40 Prozent gegenüber 1990 entspricht und gegenüber 1970 beinahe 100 Prozent.

Demnach hatten die deutschen Emissionen in 2012 lediglich einen Anteil von etwa 1,7 Prozent an den weltweiten Treibhausgasemissionen und einen Anteil von etwa 20 Prozent an den Emissionen der EU. Sowohl die EU insgesamt als auch Deutschland alleine konnten zwar ihre Treibhausgasemissionen in den vergangenen Jahren leicht senken. Die globalen Emissionen stiegen aber trotz der Klimaverhandlungen und der eingeleiteten Maßnahmen in der EU und in Deutschland weiterhin stark an, was unter anderem am rasanten Wachstum der Schwellenländer liegt. Dies verdeutlicht, dass eine internationale Zusammenarbeit essentiell ist, um die Emissionen global zu senken und damit den Klimawandel aufzuhalten.

» Seit 1990 sind die Treibhausgasemissionen in Deutschland um ~28 % gesunken, weltweit jedoch um ~40 % gestiegen.



WIRKUNG POLITISCHER EINGRIFFE

Im diesjährigen Barometer wollen wir erstmals die Auswirkungen **politischen Handelns** auf den Energiewende-Prozess mit darstellen. Bisher haben wir **technische und wirtschaftliche Indikatoren** betrachtet. Mit der historischen Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen haben wir ebenfalls erstmalig eine ökologische Größe mit hineingenommen. Unter der Betrachtung des Energiewendeprozesses als gesamtgesellschaftliches Phänomen wären für zukünftige Barometer-Versionen auch noch die Angabe von Indikatoren für die gesellschaftliche Akzeptanz und die Governance vorstellbar.

»» *Das Investorenverhalten wird durch politische Rahmenbedingungen bestimmt.*



Uns interessiert, ob und wie stark der Einfluss von Gesetzesänderungen auf die Entwicklung der von unserem Barometer beobachteten Installations- und Zubauraten ist. Dazu haben wir im Folgenden in die historische Entwicklung von Photovoltaik, Wind und Wärmepumpen die jeweiligen Gesetzesänderungen als Zeitmarke eingefügt und diskutieren dazu jeweils, wie stark Korrelationen mit dem Investitionsverhalten sichtbar werden.



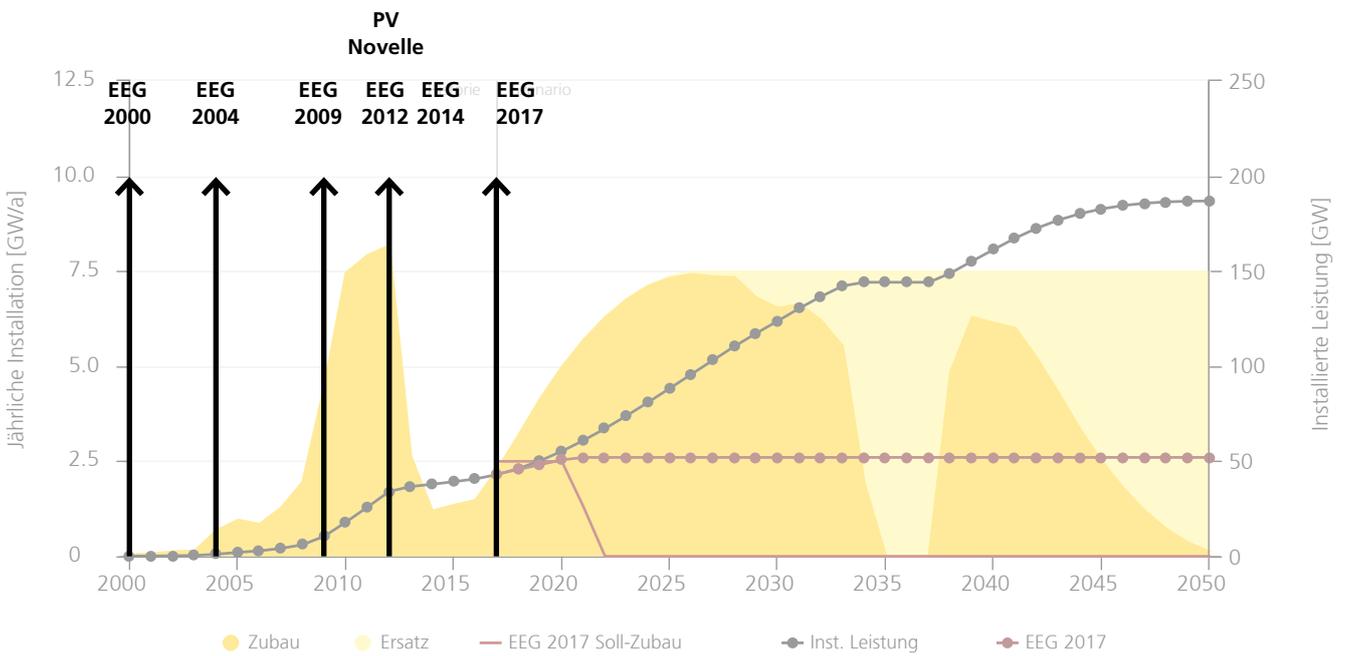
PHOTOVOLTAIK

Die Reaktion der Photovoltaik auf Gesetzesänderungen lässt sich gut erkennen. Da die Projektierung von PV-Anlagen innerhalb eines Zeitraums kleiner als ein Jahr umgesetzt werden kann, reagiert der PV-Markt vergleichsweise dynamisch. In der Grafik sieht man, wie groß der Einfluss von Regulierungen auf die Entwicklung des PV-Marktes in Deutschland ist.

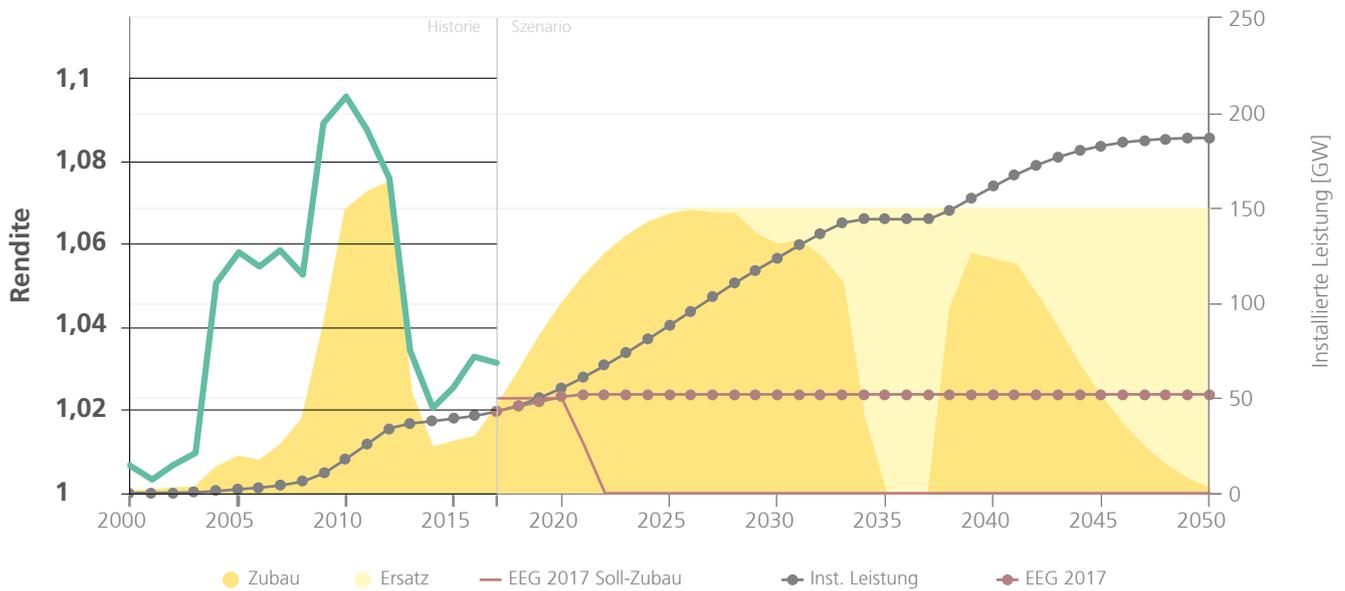
Besonders deutlich hat sich dieser in den Jahren 2009 und 2012 ausgewirkt. Mit Inkrafttreten des EEG 2009 stieg der PV-Ausbau sprunghaft an und erreichte in den Jahren zwischen 2010 und 2012 jährliche Zubauraten von mehr als 7,5 GW [11]. Nach Einführung des EEG 2012 fiel der jährliche Zubau signifikant auf nur noch 2 GW pro Jahr ab. Solche »Bing-Bang«-Eingriffe richten betriebswirtschaftlich Schaden an und wirken sich negativ auf die Volkswirtschaft aus.

Betrachtet man die im EEG festgelegten Förderungshöhen, wird deutlich, dass nicht allein die Vergütung entscheidend ist, sondern auch die Anlagenkosten dazu beitragen. Demnach erwarten wir, dass die Marktreaktion von Investoren der erwarteten Rendite folgt.

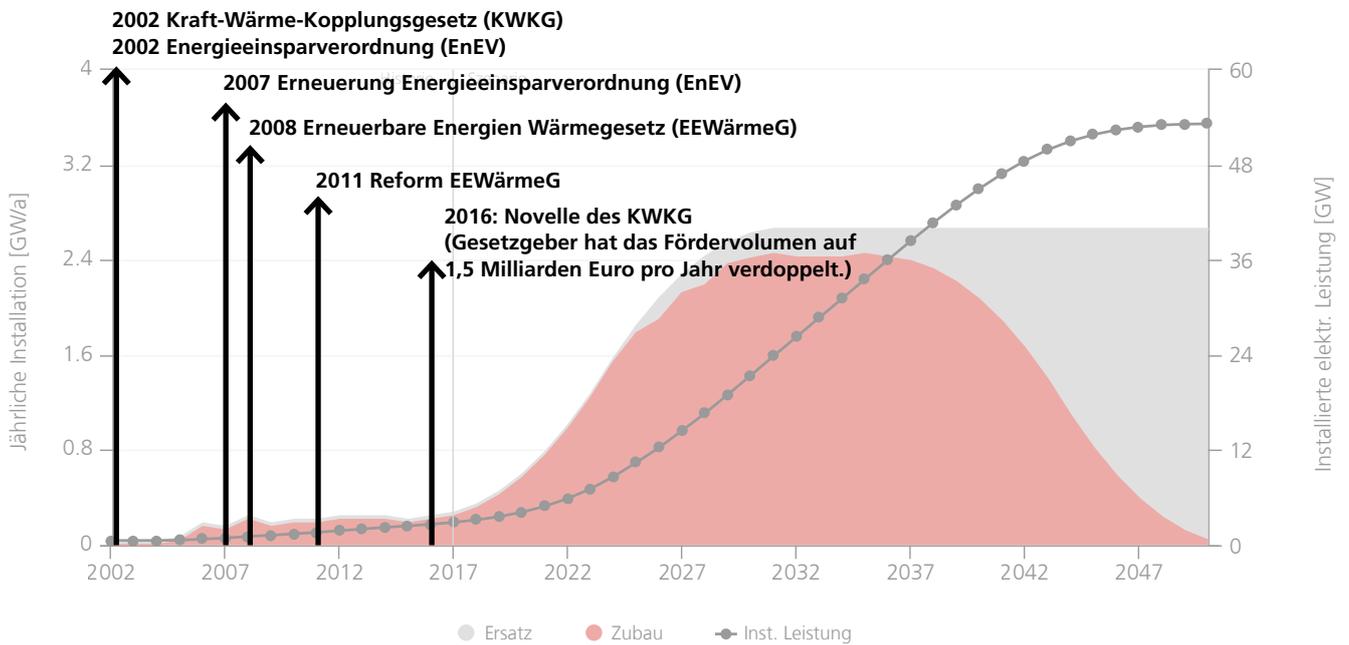
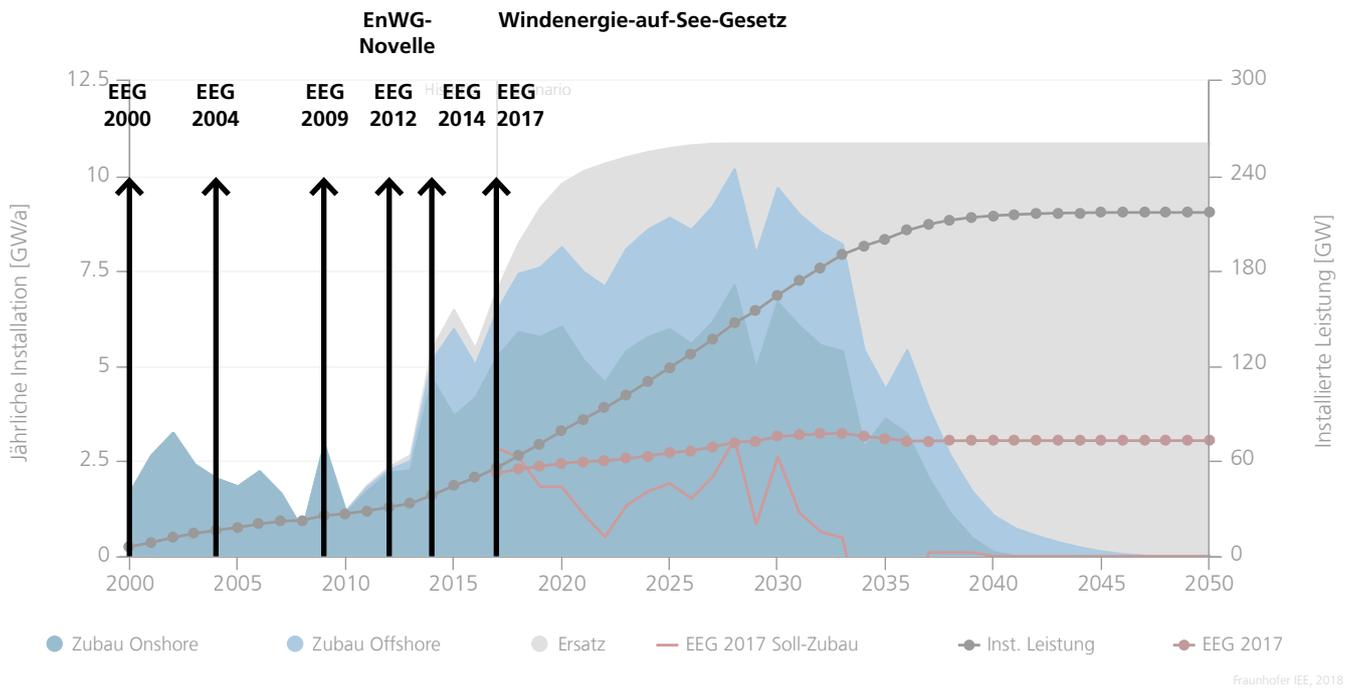
In der unteren Grafik ist die interne Rendite von PV-Anlagen mit einer installierten Leistung von weniger als 30 kW aufgetragen [11, 34 bis 36, eigene Annahmen, eigene Berechnungen]. Die Kurve bestätigt unsere Erwartungen, dass die jährliche Installationsrate und die interne Rendite stark positiv miteinander korrelieren.



Fraunhofer IEE, 2018



Fraunhofer IEE, 2018





WINDENERGIE

Die Auswirkung gesetzlicher Eingriffe ist beim Ausbau der Windenergienutzung nicht auf den ersten Blick erkennbar. Dies liegt zum einen an der Trägheit bei der Projektierung und Installation von Windenergieanlagen. Die Projektierungszeit von Windparks ist deutlich länger als die von Photovoltaikanlagen. Das bedeutet, dass die Auswirkung einer Gesetzesänderung auf die Installationsrate von Windenergieanlagen mit einer zeitlichen Verzögerung eintritt [11]. Teilweise überstieg in der Vergangenheit die Installationsdauer eines Windparks die Zeitspanne zwischen zwei Neuauflagen des EEG. Dadurch überlagern sich verschiedene Effekte und der Zusammenhang zwischen Gesetzesänderung und Marktentwicklung kann optisch nicht direkt erfasst werden. Zudem müsste auch bei der Windenergie die interne Rendite bestimmt werden, um nicht nur die Einnahmen, sondern auch die Kosten zu berücksichtigen. Unter Berücksichtigung der internen Rendite erwarten wir den gleichen Effekt, den wir bei der PV sehen, lediglich mit einer zeitlichen Verzögerung.

Wärmepumpen

Auffällig im Bereich der Wärme ist die Vielzahl an Gesetzgebungen, welche die Installation von Wärmepumpen beeinflussen [37, 38]. Hier müsste geprüft werden, welches Gesetz ausschlaggebend für die Marktreaktion der Investoren ist.

Mobilität



Für die Marktentwicklung der Elektromobilität gibt es zwar gesetzliche Anreizprogramme (z. B. Kaufanreize und steuerliche Maßnahmen), diese existieren allerdings erst seit kurzer Zeit [39]. Daher ist eine klare Aussage über den Effekt von gesetzlichen Eingriffen auf das Investorenverhalten noch nicht möglich.



INVESTITIONSTÄTIGKEIT

Die Bewertung der Investitionstätigkeit unterscheidet sich von den technischen Dimensionen darin, dass sie in einer monetären Maßeinheit in Euro pro Jahr dargestellt wird. Die Barometerbalken zeigen jeweils das von uns erwartete Investitionsvolumen für einen eingeschwungenen Markt in 2050 für die verschiedenen Komponententechnologien. Die Inflation wurde nicht berücksichtigt aber Preisprognosen für die jeweilige Technologie [40, eigene Berechnungen]. Berücksichtigt werden lediglich die Kapitalkosten, die aus Investorensicht das entscheidende Volumen bilden. Die Kosten für Betrieb, Wartung und Netzanschlusskosten werden nicht berücksichtigt. In einem eingeschwungenen Markt würde dies ausschließlich den Anlagenersatz bedeuten, es werden keine zusätzlichen Leistungen installiert. Der Barometerfüllstand zeigt an, wie viel bereits heute (im Jahr 2017) in Deutschland in eine Technologie investiert wird, relativ zum Volumen eines eingeschwungenen Marktes.

In die Windenergie wurden 11 Mrd Euro im Jahr 2017 investiert [9]. Ab 2050 müssten bei einer Anlagenlebensdauer von 20 Jahren für deren Ersatz nach unserem Szenario jährlich etwa 17 Mrd Euro investiert werden [10]. 1,7 Mrd Euro flossen im Jahr 2017 in die Installation von Photovoltaik-Anlagen. Der Zielwert in einem eingeschwungenen Markt liegt laut unserem Szenario in 2050 bei etwa 4,9 Mrd Euro pro Jahr. Wir unterstellen eine Anlagenlebensdauer von 25 Jahren [12].

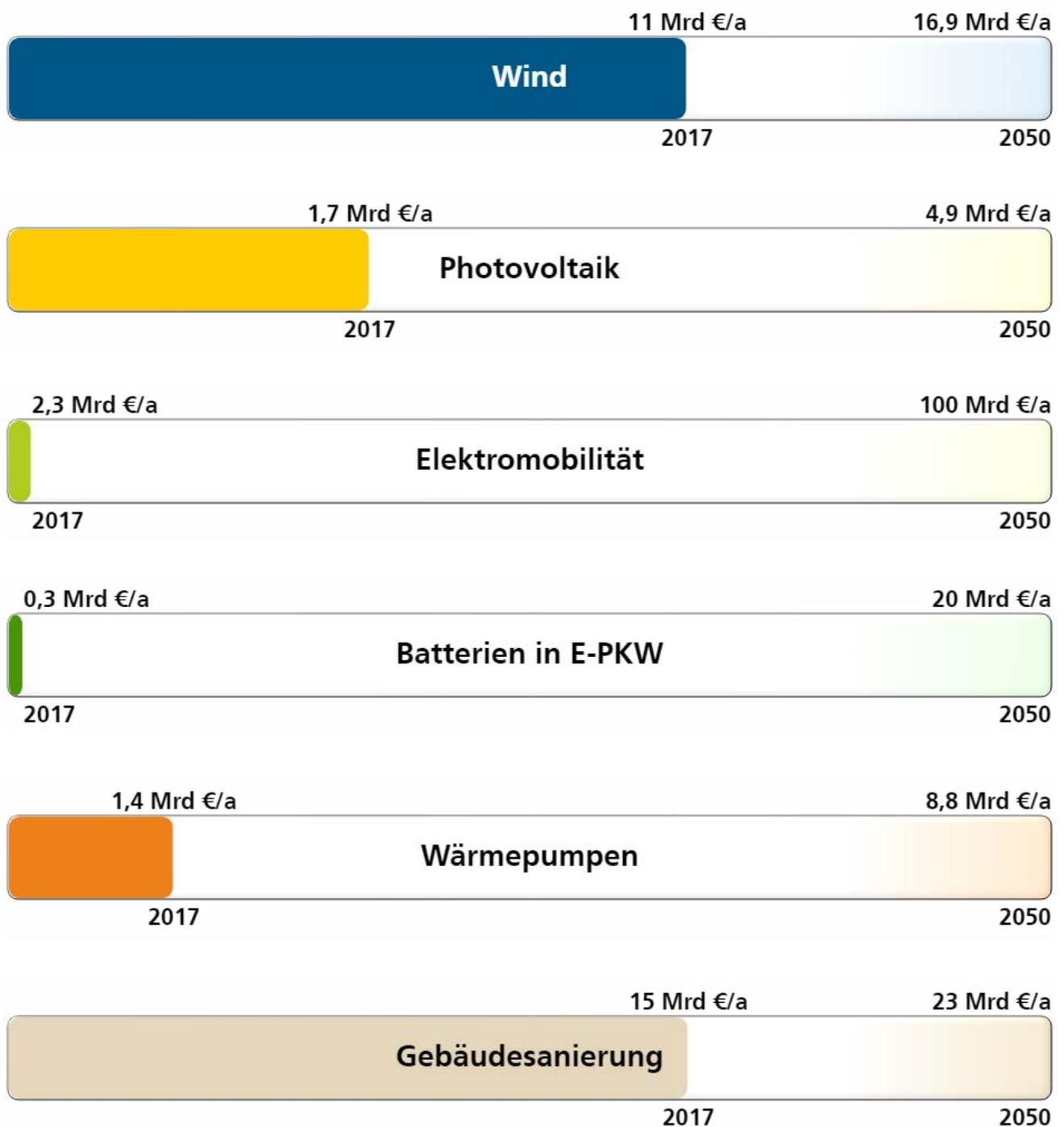
Bei der Elektromobilität sehen wir einen Zielmarkt von 100 Mrd Euro. Dies entspricht dem heutigen jährlichen Umsatz auf dem PKW-Markt in Deutschland. In unserem Szenario wird es zukünftig lediglich eine Verschiebung von konventionellen hin zu elektrisch betriebenen

Fahrzeugen geben. 2017 wurden in Deutschland 2,3 Mrd Euro in Elektroautos und Plug-In-Hybride investiert [22, eigene Berechnungen]. Im diesjährigen Barometer haben wir die Batterie in der Elektromobilität separat betrachtet, sie ist aus energiesystemtechnischer Sicht die Schlüssel-Komponente der Elektromobilität. Der Anteil der Batterien an den Investitionen in Elektrofahrzeugen betrug 0,3 Mrd Euro in 2017 [22, eigene Berechnungen]. Wir sehen hier ein langfristiges Marktvolumen von 20 Mrd Euro pro Jahr, das allein in den Batterien der Elektromobilität steckt [eigene Annahmen, eigene Berechnungen].

In die Installation von Wärmepumpen wurden 2017 etwa 1,4 Mrd Euro investiert [28]. Den Zielmarkt berechnen wir zu 8,8 Mrd Euro pro Jahr.

Bei der Gebäudesanierung wurde das Volumen betrachtet, welches bis 2050 für einen klimaneutralen Wärmesektor investiert werden muss [29]. Im Jahr 2050 müssten 23 Mrd Euro investiert werden, im letzten Jahr waren es 15 Mrd Euro. Betrachtet wurden nur Kosten, die zusätzlich für energetische Effizienzmaßnahmen entstehen würden – bspw. werden keine Kosten für den Gerüstaufbau berücksichtigt, die bei einer Sanierung auch ohne Dämmmaßnahmen notwendig wären. Beim Einbau eines Heizungssystems werden lediglich die Differenzkosten zu einem Brennwertkessel betrachtet. In den Investitionen für Gebäudesanierungen sind Ausgaben für die Installation von PV-Aufdachanlagen und Wärmepumpen berücksichtigt, was streng genommen Doppelzählungen sind (PV und Wärmepumpen).

» Der deutsche Automobilmarkt hat einen Jahresumsatz von 100 Mrd Euro – dies ist der Zielmarkt für die Elektromobilität.





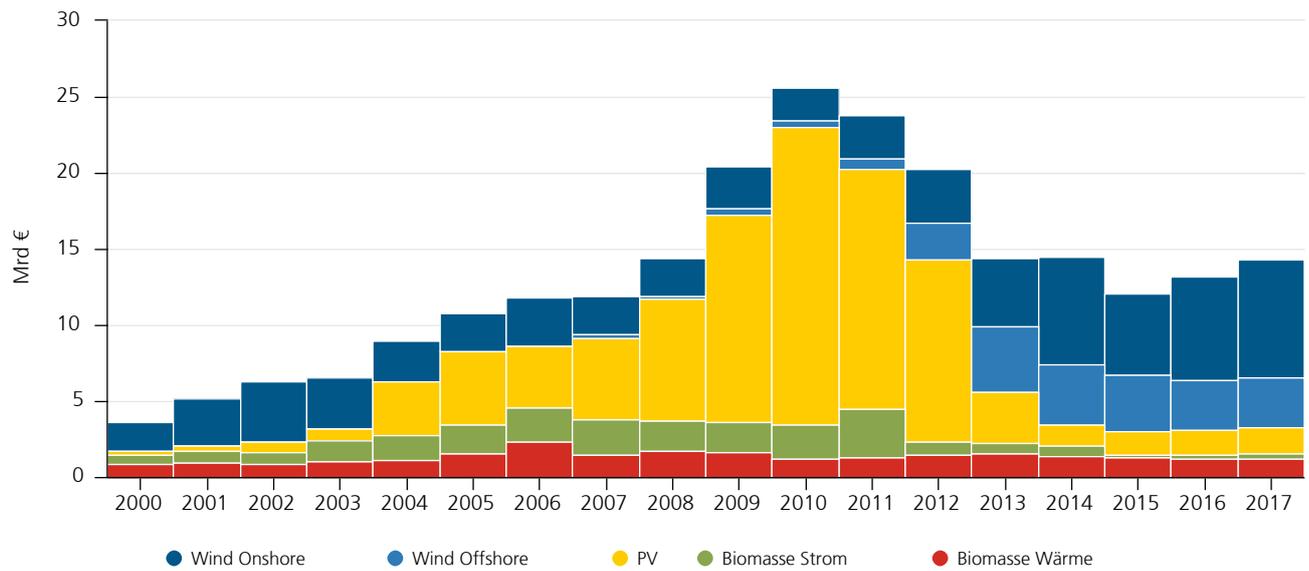
ENTWICKLUNG DER INVESTITIONSTÄTIGKEIT

Eine langjährige Übersicht über die vergangene Entwicklung der Investitionstätigkeit in die Errichtung bzw. Ersatz Erneuerbarer-Energien-Anlagen wird in nebenstehender Grafik abgebildet. Dargestellt sind die Investitionen in On- und Offshore-Windenergie-, Photovoltaik- und Biomasseanlagen, letztere nach Strom und Wärme unterteilt. Die Daten werden jährlich durch das BMWi erhoben [9]. Der Verlauf der Entwicklung zeigt in den Jahren 2009 bis 2012 deutlich höhere Gesamtinvestitionen bis über 25 Mrd Euro, verglichen mit nur noch 14 Mrd Euro im Jahre 2017. Dies liegt vor allem am starken Rückgang der Investitionen in

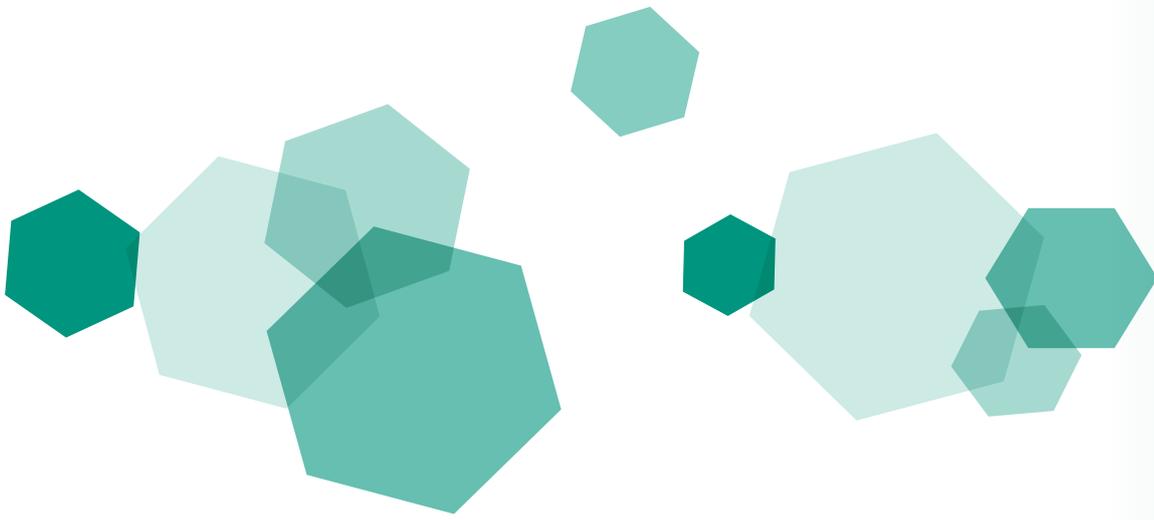
Photovoltaik-Anlagen. Seit 2012 sind dafür nennenswerte Investitionen in Offshore-Windenergieanlagen zu erkennen. Insgesamt scheinen die Investitionen in Erneuerbarer-Energien-Anlagen seit 2013 annähernd zu stagnieren.

In einem eingeschwungenen Markt müssen unseren Berechnungen zufolge für ein 100 Prozent erneuerbares Energiesystem etwa 22 Mrd Euro pro Jahr in die Errichtung der regenerativen Energieerzeugungsanlagen (Windenergie und Photovoltaik) investiert werden (siehe Investitionstätigkeit S. 38).

» Zwischen 2009 und 2012 waren die Investitionen in Erneuerbare-Energien-Anlagen deutlich höher als heute.



Fraunhofer IEE, 2018

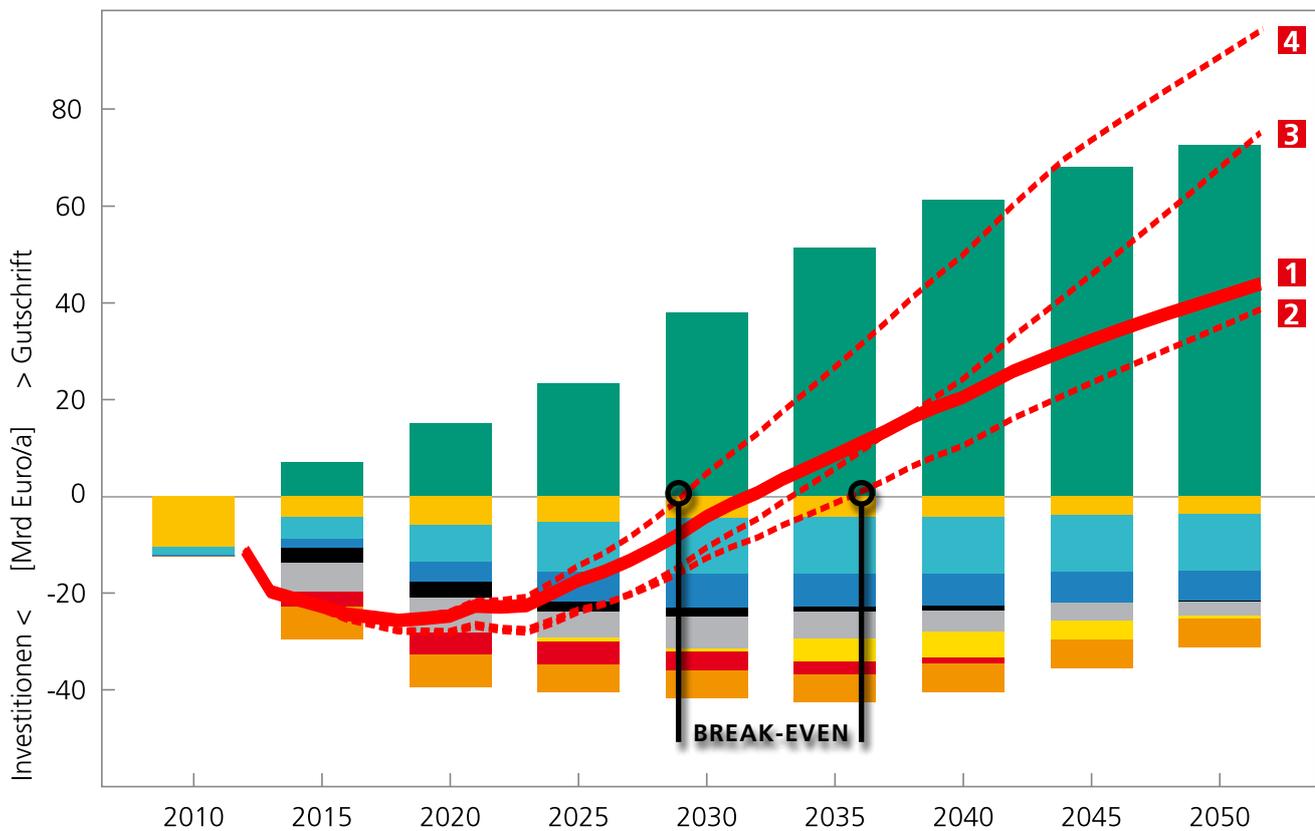


GESCHÄFTSMODELL ENERGIEWENDE

Wir können die Investitionstätigkeit der vergangenen Zeit in die Zukunft festschreiben, indem wir die Entwicklungen eines Umbau-Szenarios mit optimalen Kosten berechnen. Dies haben wir in der Studie »Geschäftsmodell Energiewende« getan [30]. Den Investitionen in die verschiedenen Erzeugungs- und Verbrauchstechnologien (Balken in negativer Richtung, siehe Grafik) stehen die Gutschriften aus dem vermiedenen Primärenergieeinsatz gegenüber (grüne Balken in positiver Richtung). Die kumulierte Summe von Ausga-

ben und Ersparnissen ist durch die gestrichelten und durchgezogenen Linien dargestellt. Die Linien unterscheiden zwischen Varianten mit verschiedenen Zinsen und Primärenergiekosten (1-4). Die Durchstoßpunkte der kumulierten Deckungsbeiträge durch die Nulllinie sind die »Break-Even« der Transformation. Abhängig von verschiedenen Annahmen für Zinssätze und Primärenergiepreise ergibt sich ein Zeitfenster zwischen 2029 und 2035 bis zum Erreichen von positiven Deckungsbeiträgen.

» Die Energiewende ist ein Geschäftsmodell mit positiven Deckungsbeiträgen: der Break-Even hängt von Zinsraten und Primärenergiekosten ab.



Differenz Investitionen/Gutschrift (inkl. Kapitalkosten) Szenario

- 4** Zins 2% inflationsbereinigt, Preise für Primärenergie steigend gemäß Klimaschutzkonvention 2050
- 3** Zins 2% inflationsbereinigt, Preise für Primärenergie steigend gemäß NEP 2014
- 1** Zins 0%, Preise für Primärenergie gleichbleibend
- 2** Zins 2% inflationsbereinigt, Preise für Primärenergie gleichbleibend

Investitionen und Gutschrift für **1**

- | | |
|---|--|
| ■ Brennstoffeinsparungen | ■ E-Mobility |
| ■ Photovoltaik | ■ Power2Gas und weitere Speicher |
| ■ Wind Onshore | ■ Wärmepumpen |
| ■ Wind Offshore | ■ Gebäudesanierung |
| ■ Infrastrukturkosten | |

So funktioniert der Emissionsrechtehandel

Dem Emissionsrechtehandel (Emissions Trading System, kurz ETS) liegt ein einfacher Mechanismus zugrunde: Die teilnehmenden Unternehmen dürfen zusammen nur eine definierte, Jahr für Jahr sinkende Menge an Kohlenstoffdioxid ausstoßen. Für diese Emissionen werden – gratis oder kostenpflichtig – frei handelbare Zertifikate an die Teilnehmer ausgegeben. Reichen Unternehmen die erhaltenen Zertifikate nicht aus, müssen sie in Klimaschutzmaßnahmen investieren. Alternativ können sie Teilnehmern, die ihr eigenes Kontingent nicht ausschöpfen, Emissionsrechte abkaufen. Auf diese Weise entsteht ein Marktpreis für CO₂-Emissionen.

Der Charme des Emissionshandels liegt vor allem in seiner hohen ökonomischen Effizienz. So gibt das System gezielt denjenigen Unternehmen einen Anreiz, ihren CO₂-Ausstoß zu senken, deren Reduktionskosten gering sind. Über den Zertifikatehandel profitieren davon dann auch Teilnehmer, für die eine Minderung ihrer Emissionen höhere Kosten bedeuten würde. Auf diese Weise wird das übergeordnete CO₂-Ziel auf vergleichsweise kostengünstige Weise erreicht. Der Investitionsaufwand fällt geringer aus als bei einer starren ordnungsrechtlichen Emissionsvorgabe, die die Unternehmen zwingt, ihren Ausstoß auf einen für alle Marktteilnehmer gültigen Wert zu reduzieren – ungeachtet der individuellen Vermeidungskosten. Zudem garantiert das Prinzip der Mengensteuerung, dass der CO₂-Ausstoß der Unternehmen in Summe tatsächlich auf den gesetzten Zielwert reduziert wird. Der Nachteil des ETS besteht darin, dass die Preisentwicklung der Emissionszertifikate nur eingeschränkt prognostizierbar ist. Das erschwert es Unternehmen, Investitionen in Minderungsmaßnahmen zu kalkulieren.

Allerdings hat sich das Fraunhofer IEE zum Ziel gesetzt mit seinen Rechenmodellen die Güte der Prognose des CO₂-Preises sukzessiv zu steigern, um damit die Investitionsplanung der Unternehmen zu unterstützen.



Überall auf der Welt wurden in den letzten Jahren Emissionshandelssysteme eingeführt – nationenübergreifende genauso wie solche, die nur auf der Ebene einzelner Staaten oder, wie in den USA und China, gar Bundesstaaten und Regionen gelten. Vorreiter war die EU, die bereits 2005 ein ETS implementiert hat. Daran nehmen heute unter anderem die Metall-, Chemie-, Zement-, Glas- und Papierindustrie sowie Raffinerien, die Luftfahrtbranche und die Betreiber thermischer Kraftwerke teil. Zusammen verursachen sie etwa 45 Prozent der europäischen CO₂-Emissionen. In Deutschland unterliegen rund 1.900 Industrieanlagen und Kraftwerke dem Emissionshandel.

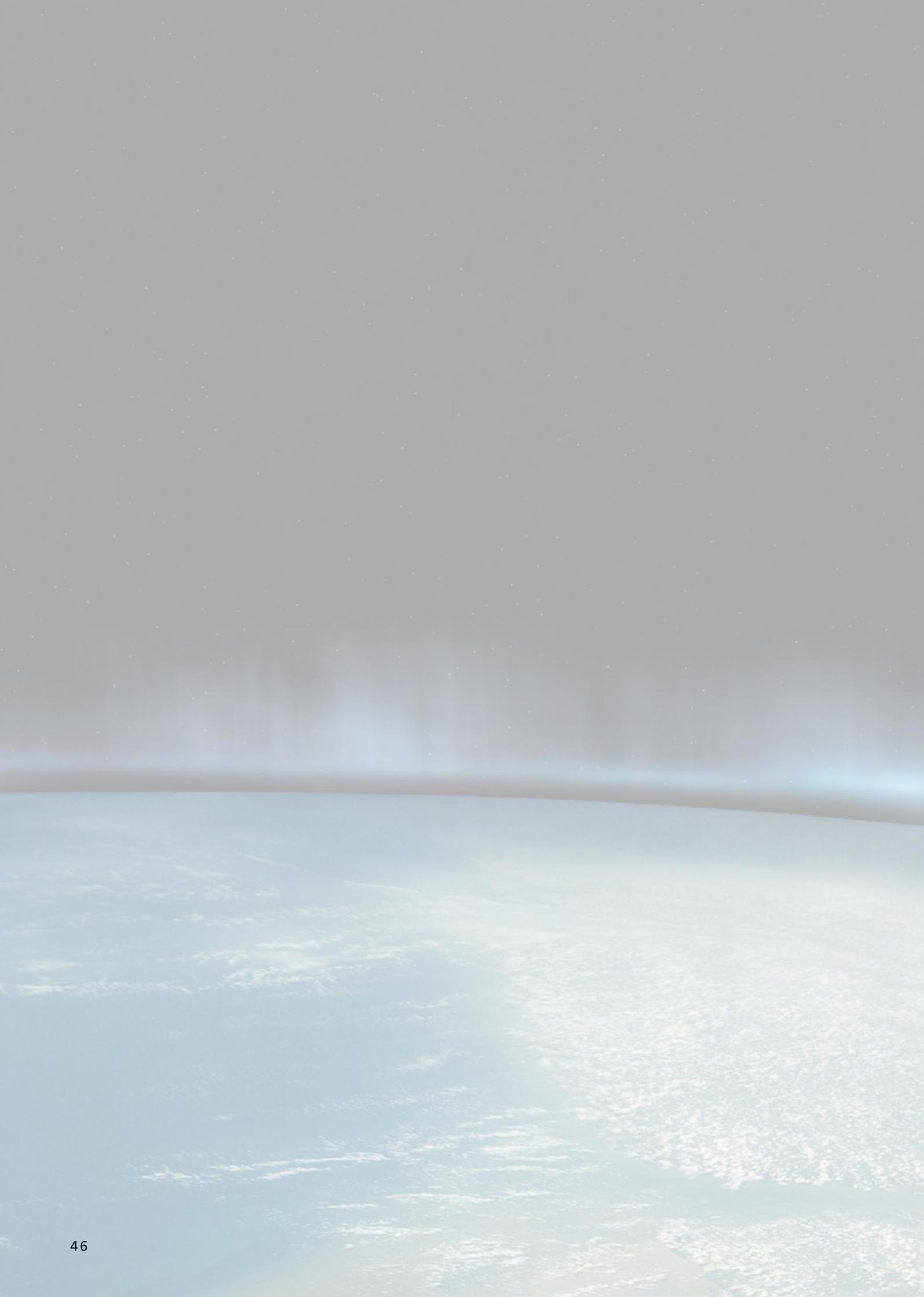
In der aktuellen, noch bis 2020 laufenden Handelsperiode sinkt die Menge der Emissionszertifikate um jährlich 1,74 Prozent. Kraftwerksbetreiber müssen die benötigten Zertifikate vollständig über eine Versteigerung erwerben; Industriebetriebe hingegen erhalten einen großen Teil kostenlos. Das soll vermeiden, dass die Unternehmen ihre Produktion in Länder mit geringeren Klimaschutzstandards verlagern (das sogenannte »carbon leakage«). Die Menge der kostenlos zugeteilten Zertifikate bemisst sich nach Effizienz-Benchmarks. So erhalten Unternehmen einen Anreiz, in die Minderung ihrer Emissionen zu investieren.

Allerdings ist die Lenkungswirkung des europäischen ETS derzeit gering, da die Zertifikatspreise wegen eines Überangebots an Emissionsrechten momentan sehr niedrig sind. Die EU hat daher beschlossen, in der 2021 beginnenden Handelsperiode die Reduktionsrate auf 2,2 Prozent zu erhöhen. Zudem werden ab 2019 jedes Jahr 24 Prozent der überschüssigen Zertifikate aus dem Markt genommen und in die sogenannte Marktstabilitätsreserve überführt. Ab 2023 dürfen immer nur so viele Emissionsrechte in der Reserve verbleiben, wie im jeweiligen Vorjahr versteigert wurden. Die restlichen Zertifikate werden gelöscht. Zudem bekommen Mitgliedsstaaten das Recht, Zertifikate dauerhaft still zu legen, wenn die Nachfrage durch nationale Maßnahmen wie etwa einen Kohleausstieg sinkt.

QUELLEN

- [1] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE; Institut für Energie- und Umweltforschung IFEU; Stiftung Umweltenergierecht; Fraunhofer-Institut für Bauphysik: Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr. Endbericht (2015). Kassel
- [2] Öko-Institut e.V.; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht (2015). Berlin
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB: Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. (2016)
- [4] Prognos AG; Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM; IREES GmbH; BHKW-Consult: Potential- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung (Umsetzung der EU-Energieeffizienzrichtlinie) sowie Evaluierung des KWKG im Jahr 2014. Endbericht
- [5] Prognos AG; EWI; GWS: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Basel/Köln/Osnabrück 2010
- [6] BVU Beratergruppe; Interplan Consult; Ingenieurgruppe IVV; Planco Consulting: Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs, Schlussbericht (2014)
- [7] Trost, T.: Erneuerbare Mobilität im motorisierten Individualverkehr. Modellgestützte Szenarioanalyse der Marktdiffusion alternativer Fahrzeugantriebe und deren Auswirkungen auf das Energieversorgungssystem. Dissertation (2017)
- [8] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE: Mittel- und langfristige Potenziale von PtL- und H2-Importen aus internationalen EE-Vorzugsregionen. Teilbericht im Rahmen des Projektes: Klimawirksamkeit Elektromobilität (2017)
- [9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. (2018)
- [10] Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter, mündliche Mitteilung (2018)
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi: Das Erneuerbare-Energien-Gesetz. (2018)
- [12] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. (2013)
- [13] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz BMJV: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien: Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2017
- [14] Bundesnetzagentur BNetzA: Kraftwerksliste. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html. Abrufdatum 20.07.2018
- [15] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE: Analyse eines europäischen -95%-Klimazielszenarios über mehrere Wetterjahre. Teilbericht. Kassel 2017
- [16] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: Basisdaten Nachwachsende Rohstoffe. Bioenergie: Energiedaten 2017
- [17] Statista: Statistiken zur Landwirtschaft. Bruttowertschöpfung der Landwirtschaft in Deutschland 2018
- [18] Strategieplattform Power to Gas: Pilotprojekte. URL: http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/?no_cache=1&L=0. Abrufdatum 20.07.2018
- [19] Deutsche Energieagentur dena: Potenzialatlas Power to Gas. Klimaschutz umsetzen, erneuerbare Energien integrieren, regionale Wertschöpfung ermöglichen. (2016)
- [20] PV Magazine: KfW fördert rund 6900 Photovoltaik-Heim Speicher 2017. (2018)
- [21] Speichermonitoring: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2018
- [22] Kraftfahrtbundesamt KBA: Neuzulassungsbarometer im Dezember 2017. Kraftstoffarten (2017)

- [23] Bundesverband Wärmepumpe BWP e.V.: BWP Marktzahlen 2017. (2018)
- [24] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB: Fahrzeugkonzepte für Elektroautos. URL: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/allgemeine-informationen/fahrzeugkonzepte-fuer-elektroautos/> Abrufdatum 20.07.2018.
- [25] Mortsiefer, H.: Merkel kassiert das Ziel von einer Million E-Autos bis 2020. In: Der Tagesspiegel (2017)
- [26] Nationale Plattform Elektromobilität: Ladeinfrastruktur. URL: <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/ladeinfrastruktur/> Abrufdatum 20.07.2018
- [27] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA: Mineralölinfo November 2017 (Mineralölabsatz). (2018)
- [28] Internationales Geothermie-Zentrum Bochum: Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes. Bestandsaufnahme und Trends. (2014)
- [29] Institut für Energie- und Umweltforschung IFEU; Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE; Consentec: Der Wert der Energieeffizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorkopplung. Endbericht, im Auftrag von: Agora Energiewende (noch nicht veröffentlicht)
- [30] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE: Kasseler Symposium Geschäftsmodell Energiewende. Report 2016
- [31] United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC: Time Series - Annex I (2016)
- [32] World Bank: Total greenhouse gas emissions (kt of CO2 equivalent). (2012)
- [33] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB: Klimaschutz in Zahlen: Klimaziele Deutschland und EU. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_klimaziele_bf.pdf Abrufdatum 10.04.2018
- [34] Bundesverband für Solarwirtschaft e.V. BSW-Solar: Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche. (2012)
- [35] Solarbranche.de: Kosten der Photovoltaik. URL: <https://www.solarbranche.de/wirtschaft/kosten-photovoltaik> Abrufdatum 24.07.2018
- [36] Photovoltaik Angebotsvergleich: Mit gesunkenen Photovoltaik Kosten weiterhin gute Renditen. URL: <http://www.photovoltaike-angebotsvergleich.de/photovoltaik-kosten.html?ac05> Abrufdatum 24.08.2018
- [37] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi: Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. (2018)
- [38] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi: Kraft-Wärme-Kopplung. (2018)
- [39] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi: Erneuerbare Energien im Verkehrssektor. (2018)
- [40] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE; Institut für Energie- und Umweltforschung IFEU; Consideo; SSG: Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland, Im Auftrag des Umweltbundesamtes. (unveröffentlicht)



IMPRESSUM

AUTOREN

Jochen Bard
Dr. Sarah Becker
Michael von Bonin
Dr. Timo Fischer
Helen Ganal
Irina Ganal
Norman Gerhardt
Prof. Dr. Clemens Hoffmann
Dr. Bernd Krautkremer
Sascha Pogacar
Matthias Puchta
Dr. Dietrich Schmidt
Dr. Ramona Schröer

ETS

Ralph Diermann
Prof. Dr. Clemens Hoffmann

CONTACT

Prof. Dr. Clemens Hoffmann
Telefon +49 561 7294-345
E-Mail: barometer@iee.fraunhofer.de
www.herkulesprojekt.de

HERAUSGEBER

Prof. Dr. Clemens Hoffmann

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik IEE

Königstor 59, 34119 Kassel
www.iee.fraunhofer.de

REDAKTION

Helen Ganal
Prof. Dr. Clemens Hoffmann

BILDNACHWEIS

p. 1 fotolia
p. 4, 42, 46 pexels
p. 4, 8, Volker Beushausen
p. 6 Adobe Stock

GRAFIK UND LAYOUT

Uta Werner

Kassel, August 2018

