

# RENEWS SPEZIAL

NR. 87 / JULI 2019

## FLEXIBILITÄT FÜR DEN STROMMARKT DER ZUKUNFT

FLEXIBLE ERZEUGER UND VERBRAUCHER GARANTIEREN VERSORGUNGSSICHERHEIT



AGENTUR FÜR  
ERNEUERBARE  
ENERGIEN  
unendlich-viel-energie.de

## AUTORIN

Claudia Kunz  
Redaktionsschluss: Juli 2019

ISSN 2190-3581

## HERAUSGEGEBEN VON

Agentur für Erneuerbare Energien e. V.  
Invalidenstraße 91  
10115 Berlin  
Tel.: 030 200535 30  
Fax: 030 200535 51  
E-Mail: [kontakt@unendlich-viel-energie.de](mailto:kontakt@unendlich-viel-energie.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# INHALT

<b>1 Stromerzeugung und Energiewende in Deutschland .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Regionale und zeitliche Verteilung der Stromerzeugung .....</b>	<b>7</b>
<b>3 Versorgungssicherheit durch Flexibilität .....</b>	<b>9</b>
3.1 Flexibilisierung der Erzeugung .....	10
3.2 Flexibilisierung des Stromverbrauchs .....	11
3.3 Speicher .....	13
<b>4 Bioenergie als Flexibilitätsoption .....</b>	<b>15</b>
4.1 Feste Biomasse .....	15
4.2 Biogas / Biomethan .....	15
4.3 Wirtschaftlichkeit von Flexibilität durch Bioenergie .....	17
<b>5 Die Bedeutung der Stromnetze .....</b>	<b>18</b>
<b>6 Strommarkt und Flexibilität .....</b>	<b>20</b>
<b>7 Literatur .....</b>	<b>22</b>

# 1 STROMERZEUGUNG UND ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND

Im Jahr 2018 stammte 37,8 Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland aus Erneuerbaren Energien, der weitaus größte Teil davon aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen. Noch liefern Kohle-, Gas- und Atomkraftwerke mehr Strom. Der Atom- und Kohleausstieg ist jedoch beschlossen, der Umstieg auf Erneuerbare Energien die Konsequenz.

Die Entwicklung der installierten Leistung im deutschen Kraftwerkspark zeigt die wachsende Bedeutung der Erneuerbaren Energien, während die konventionelle Kraftwerksleistung stagniert, bzw. künftig zurückgeht. Innerhalb des konventionellen Kraftwerksparks zeichnet sich eine Verschiebung von Kohle zu Gas ab. Bereits bis 2021 rechnen Bundesnetzagentur und Netzbetreiber mit einem Abbau der bisher vorhandenen Überkapazitäten durch die Stilllegung von Kohle- und Atomkraftwerken<sup>1</sup>.

INSTALLIERTE LEISTUNG ZUR STROMERZEUGUNG <sup>2</sup>	2012	2017	(SZENARIO B NEP 2019) 2030
<b>Konventionell</b>	103,6 GW 58 %	105,1 GW 48 %	73,2 GW 27 %
<b>Erneuerbar</b>	76,3 GW 42 %	112,5 GW 52 %	202,7 GW 73 %

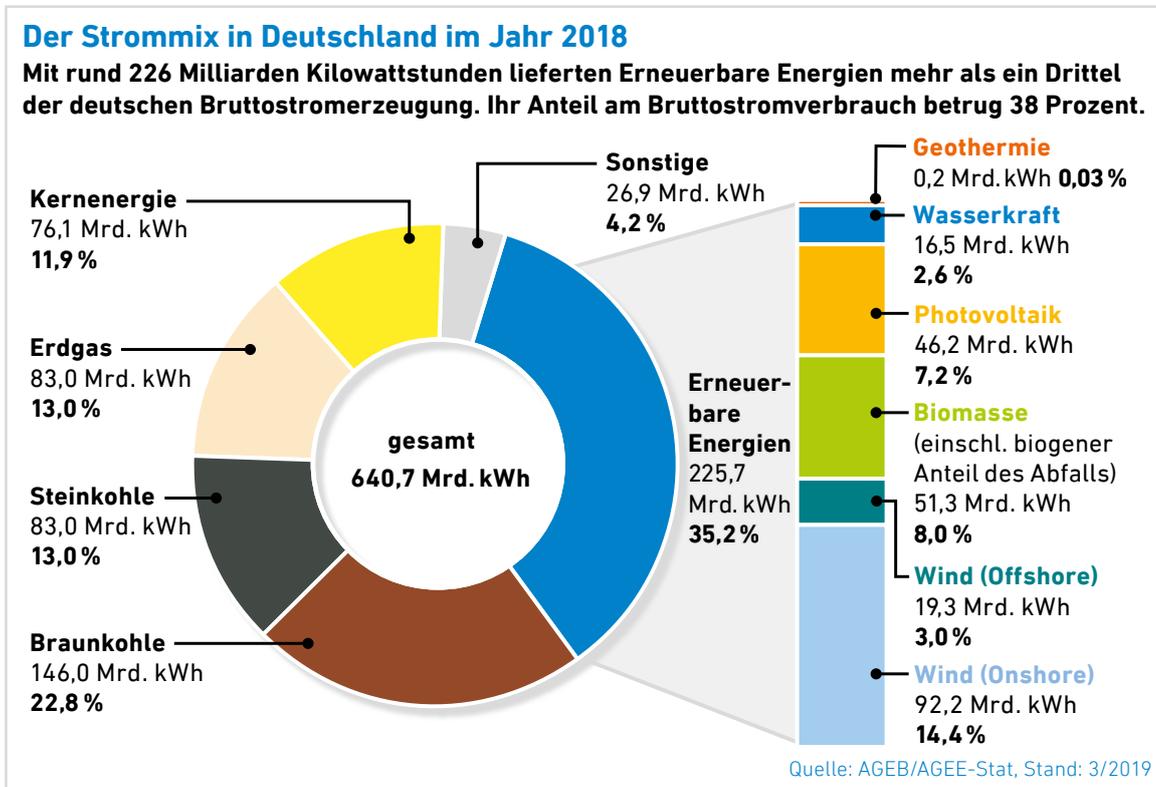
Schon in wenigen Jahren wird also in deutschen Stromnetzen größtenteils Strom aus Erneuerbaren Energien fließen. Der aktuelle Koalitionsvertrag der Bundesregierung sieht für 2030 einen Anteil von 65 Prozent Erneuerbaren-Strom vor.

## AUF EINEN BLICK

- Der Atom- und Kohleausstieg ist beschlossene Sache. Die Energieversorgung der Zukunft beruht im Wesentlichen auf Wind und Sonne, ergänzt durch Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie.
- Die Versorgungssicherheit wird gewährleistet durch flexible Erzeuger und Verbraucher.
- Der Strommarkt der Zukunft honoriert die Flexibilität von Erzeugern und Verbrauchern.
- Die Strommenge aus Bioenergie-Anlagen spielt im Strommix der Zukunft eine eher untergeordnete Rolle. Wesentlich bedeutender ist die durch Bioenergieanlagen bereitgestellte flexible Erzeugungsleistung.

<sup>1</sup> 50 Hertz Transmission/Amprion/TenneT TSO/TransnetBW 2019, S.30.

<sup>2</sup> Bundesnetzagentur/Bundeskartellamt 2018, S. 54; 50Hertz Transmission/Amprion/TenneT TSO/TransnetBW 2019, S. 30

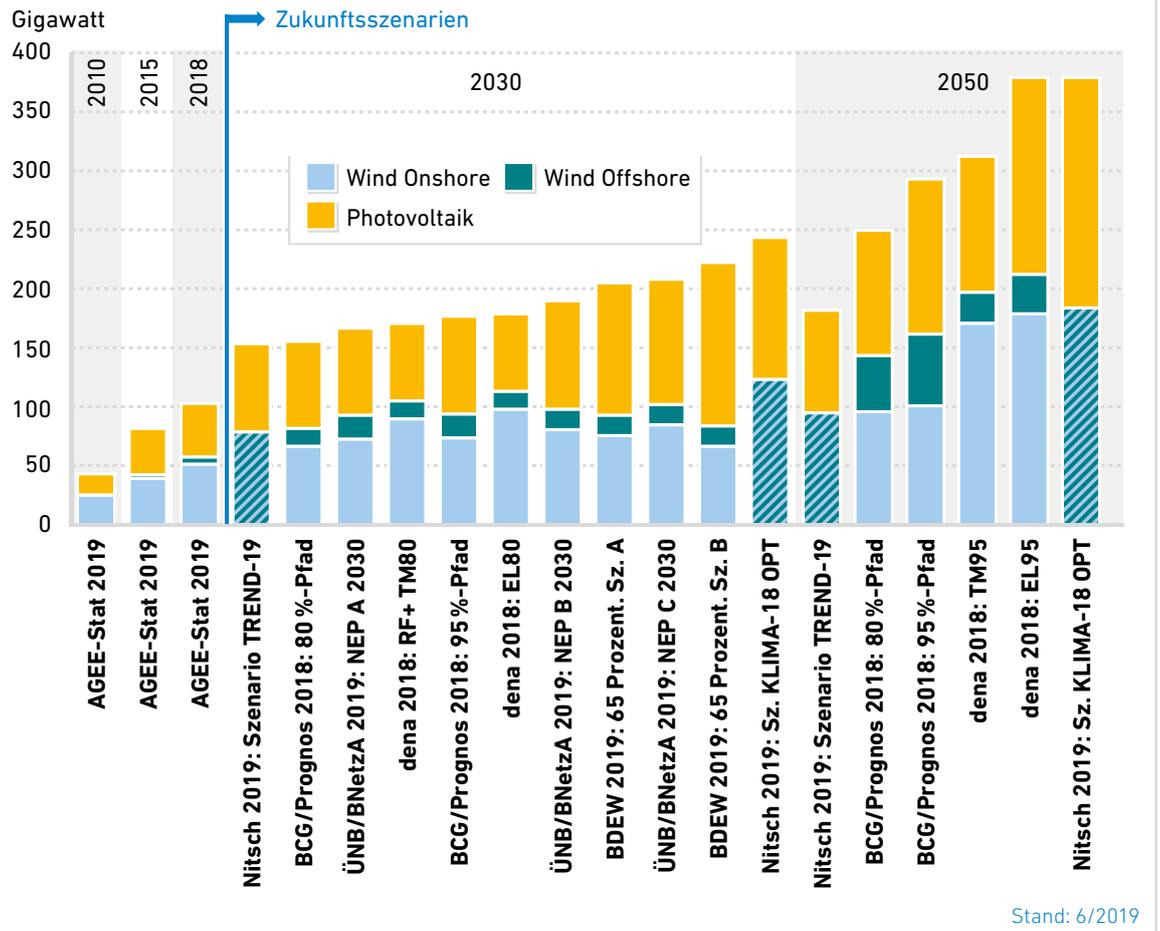


Ein wachsender Teil der Erzeugung variiert somit je nach Wind und Wetter. Da Erzeugung und Verbrauch jederzeit im Einklang stehen müssen, um eine stabile Versorgung zu gewährleisten, wächst der Bedarf für Flexibilität bei den übrigen Stromerzeugern wie auch auf der Seite der Stromverbraucher.

Bis zum Jahr 2050 wird der Anteil Erneuerbarer Energien weiter zunehmen. Aktuelle Energieszenarien rechnen mit bis zu 380 Gigawatt installierter Windenergie- und Photovoltaik-Leistung in Deutschland. Das Ausbaupotenzial der Wasserkraft und der Bioenergie gilt hingegen als sehr begrenzt und bei der Geothermie ist es noch mit großen Unsicherheiten behaftet. In fast allen Szenarien liegt der Anteil der Windenergie und Photovoltaik an der insgesamt installierten elektrischen Leistung Erneuerbarer Energien bei mehr als 90 Prozent<sup>3</sup>.

## Szenarien zur installierten Leistung von Windenergie und Photovoltaik in Deutschland

Der Beitrag von Wind und Sonne nimmt in allen Szenarien weiter zu. Das Wachstum muss jedoch größer sein als im dargestellten Trendszenario (Nitsch 2019), um die Klima- und Energieziele zu erreichen.



Die Schlüsselrolle im künftigen Energiesystem spielen also Stromerzeuger, deren Leistung von Jahreszeiten, Tageszeiten und Wetter abhängig ist. Da Sonne und Wind sich nicht an die Stromnachfrage anpassen lassen, muss also das übrige System aus regelbaren Kraftwerken, Stromverbrauchern und Speichern sich an die Verfügbarkeit von Wind- und Solarstrom anpassen.

## 2 REGIONALE UND ZEITLICHE VERTEILUNG DER STROMERZEUGUNG

Die mit Abstand meisten Windenergieanlagen stehen in Nord- und Ostdeutschland. Das wird sich auch künftig nicht ändern, da die Windbedingungen hier am günstigsten sind. Große Strommengen fallen also in eher ländlichen und dünn besiedelten Regionen an, wo der Stromverbrauch niedriger ist als in den west- und süddeutschen Industrieregionen.

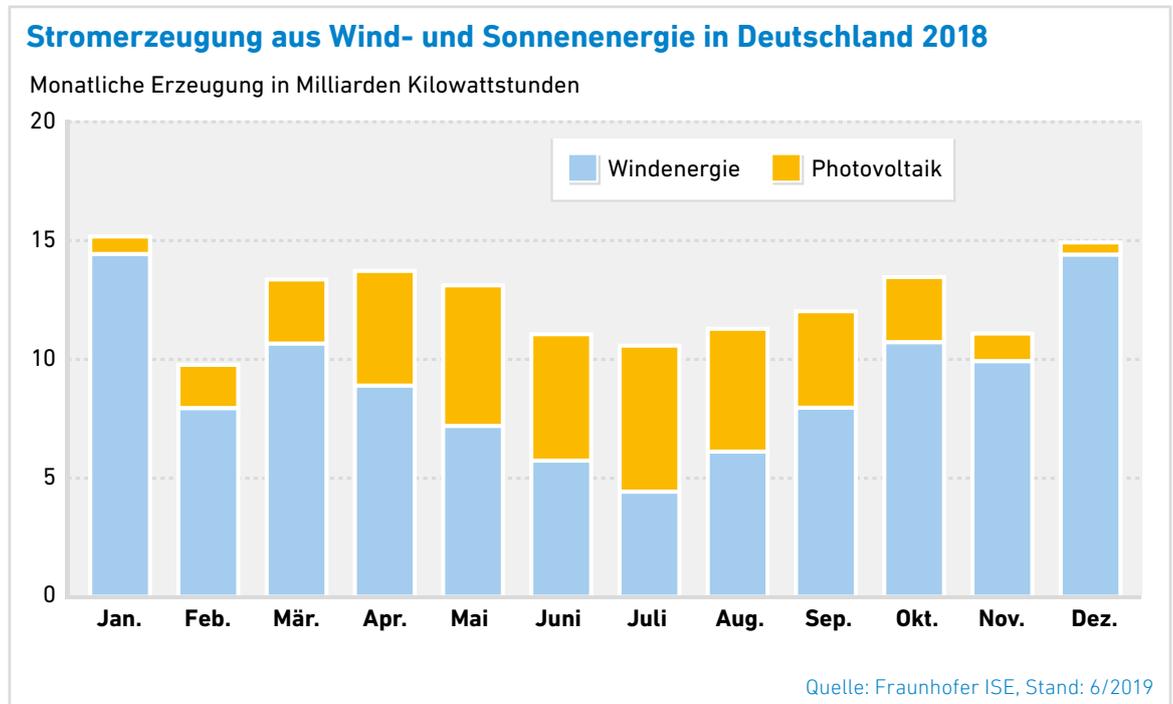
Dadurch ergibt sich ein hoher Transportbedarf von Norden nach Süden sowie von Osten nach Westen, der sich durch den Aufbau neuer Erzeugungskapazitäten wie Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee weiter erhöht. Im Süden fallen hingegen vor allem durch den Atomausstieg Erzeugungskapazitäten weg. Zwar ist hier die Photovoltaikleistung besonders hoch, das kann den Wegfall jedoch nicht vollständig kompensieren.

Neben den regionalen Unterschieden spielt die zeitliche Verteilung der Erzeugung eine Rolle für den Bedarf an Transport- und Ausgleichskapazitäten. So sind die Wintermonate windreicher und die Sommermonate sonnenreicher. Jahreszeitlich betrachtet, ergänzen sich Wind- und Sonnenenergie gut. Die

Auswertung der monatlichen Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie im Jahr 2018 zeigt den Ergänzungseffekt im Jahresverlauf (Grafik nächste Seite).

INSTALLIERTE LEISTUNG ZUR STROMERZEUGUNG <sup>4</sup>	2018	(SZENARIO B NEP 2019) 2030
<b>Wind Offshore</b> (Nord-/Ostsee)	6,4 GW	17 GW
<b>Wind Onshore:</b> NI, SH, MV BY, BW	21 GW 4,1 GW	34,7 GW 5,8 GW
<b>Photovoltaik:</b> NI, SH, MV BY, BW	7,5 GW 18,3 GW	16,4 GW 33,2 GW

<sup>4</sup> AEE 2019; AGEE Stat 2019; 50Hertz Transmission/Amprion/TenneT TSO/TransnetBW 2019, S. 55



Tageszeitlich sind die Schwankungsbreiten deutlich höher: Nach Auswertungen des Fraunhofer ISE lag der geringste Anteil Erneuerbarer Energien an der Nettostromerzeugung eines Tages in Deutschland im Jahr 2018 bei 15,5 Prozent (11.1.2018) und der höchste bei 75,5 Prozent (8.12.2018)<sup>5</sup>. Die absolut höchste Einspeiseleistung von Wind und Sonne in einem Viertelstundenzeitraum fiel am 21.6.2018 an und betrug 53,3 Gigawatt<sup>6</sup>. Das waren 53 Prozent der insgesamt installierten Wind- und Solarleistung. Der höchste punktuelle Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromnachfrage lag bei 94 Prozent (1.5.2018)<sup>7</sup>.

Derzeit weist Deutschland Überkapazitäten bei der Stromerzeugung auf. Dadurch kam es im Jahr 2018 zu einem Exportüberschuss von etwa 49 Milliarden Kilowattstunden Strom. An insgesamt 7.730 Stunden des Jahres (88 %) wurde Strom exportiert und an 1.030 Stunden (12 %) importiert<sup>8</sup>.

<sup>5</sup> Fraunhofer ISE 2019, S.21

<sup>6</sup> Fraunhofer ISE 2019, S.25

<sup>7</sup> Agora Energiewende 2019, S.63

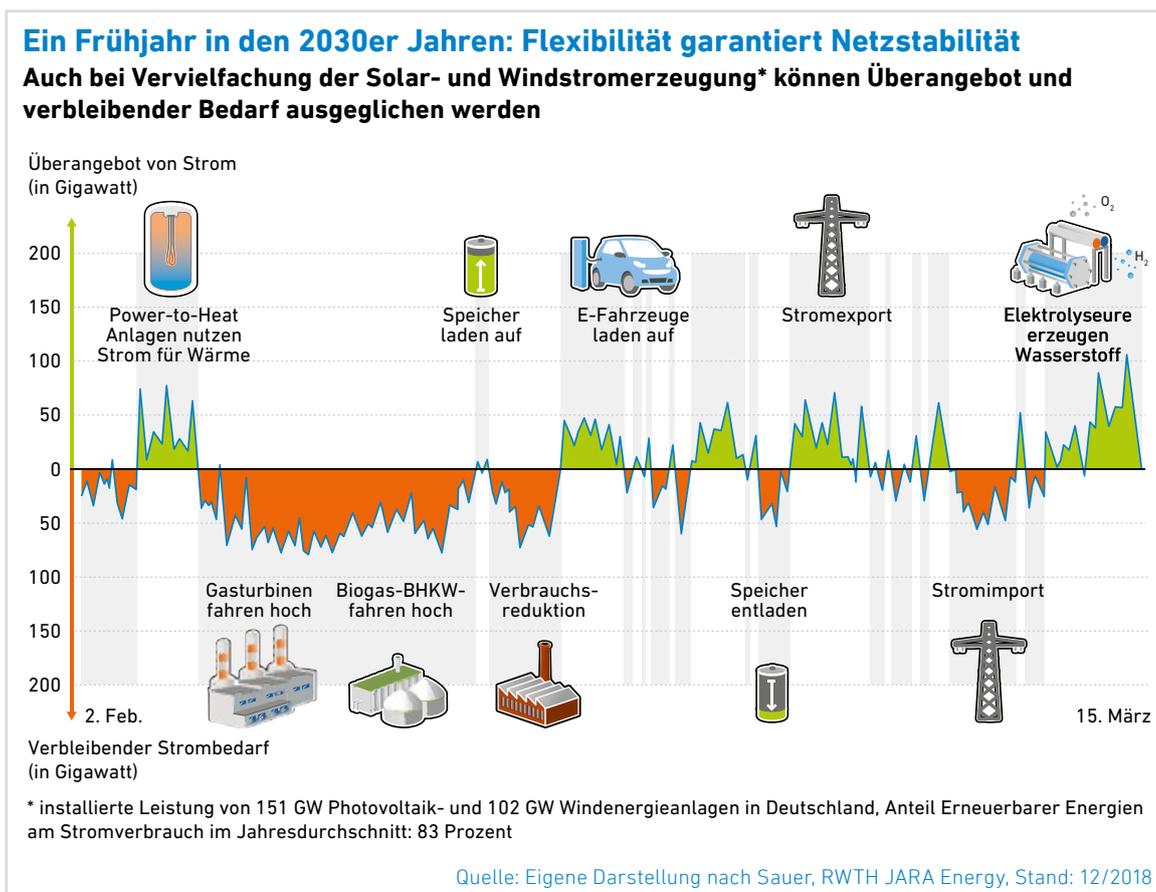
<sup>8</sup> Fraunhofer ISE 2019, S.7

### 3 VERSORGUNGSSICHERHEIT DURCH FLEXIBILITÄT

Die Anpassung an die Verfügbarkeit von Wind- und Sonnenenergie bedeutet, dass die Fokussierung auf die sogenannte „Grundlast“ der Vergangenheit angehört. Stattdessen rückt das Stichwort „Flexibilität“ in den Fokus und mit ihm die Bedeutung von steuerbaren Stromerzeugern und -verbrauchern.

Wenn die Erzeugung aus Wind- und Sonnenenergie für die Deckung der Stromnachfrage nicht ausreicht (= positive Residuallast), müssen steuerbare Kraftwerke einspringen oder es müssen verschiebbare Lasten (= Verbraucher) abgeschaltet werden. Umgekehrt gilt es den Strom aus Wind und Sonne in Überschusssituationen (= negative Residuallast) möglichst sinnvoll zu nutzen und erst dann abzuregeln, wenn alle anderen Flexibilitätsoptionen ausgereizt sind.

Das dynamische Zusammenspiel von Erneuerbaren Energien, Verbrauchern, Speichern und Netzen, die sich gegenseitig ergänzen sorgt für eine stabile und verlässliche Versorgung. Das gilt vor allem dann, wenn die Sonne nicht scheint und gleichzeitig der Wind nicht weht.



Es besteht ein breites Spektrum an Flexibilitätsmöglichkeiten im Energiesystem, die bisher sehr unterschiedlich erschlossen sind und eingesetzt werden:

- Stromimport bei positiver und Stromexport bei negativer nationaler Residuallast;
- Netzausbau und -umbau in Deutschland und Europa erhöht die Übertragungskapazitäten und damit die überregionalen Ausgleichseffekte;
- Bedarfsorientierter Betrieb regelbarer Kraftwerke (Flexibilisierung fossiler Kraftwerke und Biomasse-Anlagen sowie Neubau hochflexibler Anlagen, z.B. Gasturbinen für Lastspitzen);
- Be- oder Entladen von Energiespeichern: Pumpspeicher, Batterien, Druckluftspeicher, Power-to-Gas (PtG), Power-to-Liquid (PtL);
- Zu- oder Abschalten flexibler Stromverbraucher (Demand-Side-Management/Lastmanagement), z.B. elektrische Wärmereizer (Wärmepumpen, Power-to-Heat-Anlagen), Elektrofahrzeuge, bestimmte Industrieprozesse;
- Abregelung von regenerativen Stromerzeugungsanlagen bei negativer Residuallast bzw. Netzüberlastung (Einspeisemanagement).

### 3.1 FLEXIBILISIERUNG DER ERZEUGUNG

Viele kleine dezentrale Erzeuger können zusammenwirken, um untereinander für Ausgleich zu sorgen. Das funktioniert beispielsweise in so genannten Kombikraftwerken. Wenn Windenergie durch Photovoltaik, Wasserkraft, Bioenergie und Speicher ergänzt wird, kann rund um die Uhr bedarfsgerecht Strom fließen. Gemeinsam verfügen die als Kombikraftwerk zusammengeschalteten Anlagen über dieselben Eigenschaften wie ein einzelnes großes konventionelles Kraftwerk. Die hierfür notwendige Sammlung und Übertragung von Daten zur aktuellen Netzsituation sowie die Ansteuerung der einzelnen Erzeuger und Verbraucher wird durch die zunehmende Digitalisierung ermöglicht.

Energieszenarien sehen für das Jahr 2050 eine regelbare Kraftwerksleistung von insgesamt 60 bis 130 Gigawatt vor, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten<sup>9</sup>. Hierfür kommen neben Bioenergieanlagen (vgl. Kap. 4) vor allem flexible Gaskraftwerke und Gasturbinen in Betracht, die zunächst mit Erdgas und perspektivisch mit synthetischem Gas betrieben werden.

VOLLAST-STUNDEN (WERTE GERUNDET)	2000	2018	(SZENARIO B NEP 2019) <sup>12</sup> 2035
<b>Atomkraft</b>	7.200	6.700	0
<b>Braunkohle</b>	6.800	6.300	2.600
<b>Steinkohle</b>	4.400	2.800	2.700
<b>Erdgas</b>	2.200	3.000	2.100
<b>Bioenergie</b>	6.700	6.100	5.200

Die Leistung regelbarer Kraftwerke wird also auch künftig benötigt, um wind- und sonnenarme Zeiten (sogenannte „Dunkelflaute“) zu überbrücken. Diese Anlagen werden jedoch nur noch mit einer geringen Auslastung betrieben.

Die erforderliche Flexibilisierung des Kraftwerksparks findet bereits statt. Neue Erzeugungskapazitäten sind in den letzten Jahren vor allem in Form von Gaskraftwerken hinzugekommen und

selbst die bestehenden Kohle- und Atomkraftwerke werden inzwischen flexibler betrieben. So sind die durchschnittlichen Volllaststunden<sup>10</sup> steuerbarer Erzeuger bereits zurückgegangen (außer bei Gaskraftwerken). Für die Zukunft wird von einer weiteren Flexibilisierung und Reduktion des sogenannten Must-Run-Sockels konventioneller Kraftwerke ausgegangen<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> Dena 2019, S.7

<sup>10</sup> Berechnet auf Basis von Stromerzeugung und installierter Leistung zum Jahresende

<sup>11</sup> 50 Hertz Transmission/Amprion/TenneT TSO/TransnetBW 2019, S.34

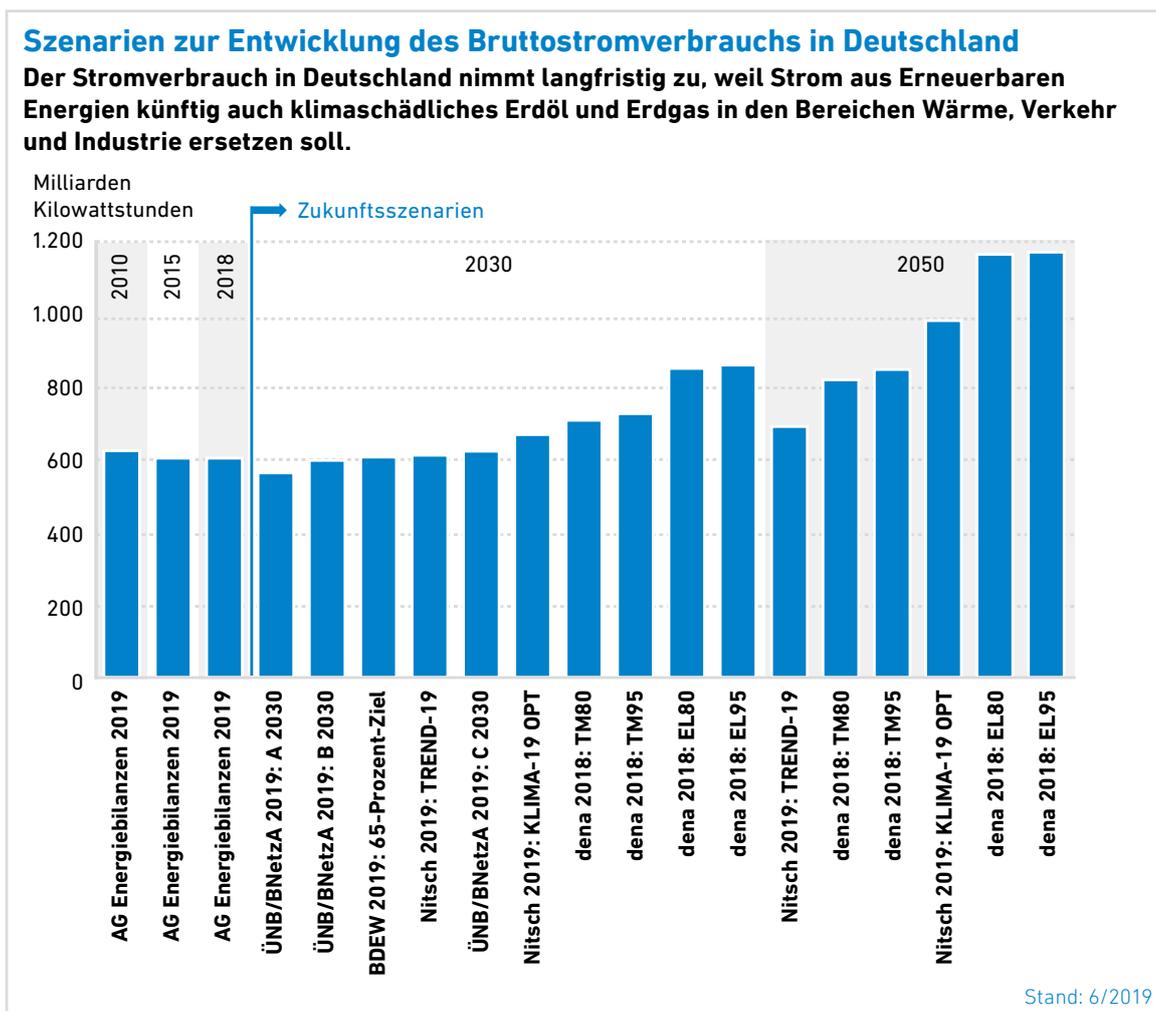
<sup>12</sup> 50 Hertz/Amprion/TenneT/TransnetBW 2019, S.114

### 3.2 FLEXIBILISIERUNG DES STROMVERBRAUCHS

Eigentlich sollte der Stromverbrauch in Deutschland gemäß dem Ziel der Bundesregierung bis zum Jahr 2020 um zehn Prozent gegenüber dem Wert von 2008 sinken<sup>13</sup>. In absoluten Zahlen würde das einen Rückgang des Bruttostromverbrauchs von 618 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh/a) auf 556 Mrd. kWh/a bedeuten.

Tatsächlich lag der Wert im Jahr 2018 bei 596 Mrd. kWh<sup>14</sup> und damit auf dem Niveau der vergangenen Jahre. Zur Zielerreichung wäre also noch eine deutliche Reduktion notwendig. Für das Gelingen der Energiewende kommt es jedoch weniger auf die absolute Höhe des Stromverbrauchs an, als auf die erfolgreiche Integration der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und den Ersatz fossiler Energieträger auch in den Bereichen Wärme, Industrie und Verkehr.

Die Entwicklung des Stromverbrauchs in Deutschland zeichnet sich durch zwei gegenläufige Trends aus: Auf der einen Seite bewirken Effizienzsteigerungen Einspareffekte. So sind zum Beispiel Haushaltsgeräte wie Wasch- oder Spülmaschinen heute viel sparsamer als noch vor wenigen Jahren. Auf der anderen Seite entsteht durch neue Verbraucher wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge eine zusätzliche Stromnachfrage. Ein Vergleich verschiedener Studien und Szenarien zeigt, dass sich der Stromverbrauch auch unter Annahme erheblicher Effizienzsteigerungen langfristig nicht reduzieren, sondern eher zunehmen wird<sup>15</sup>.



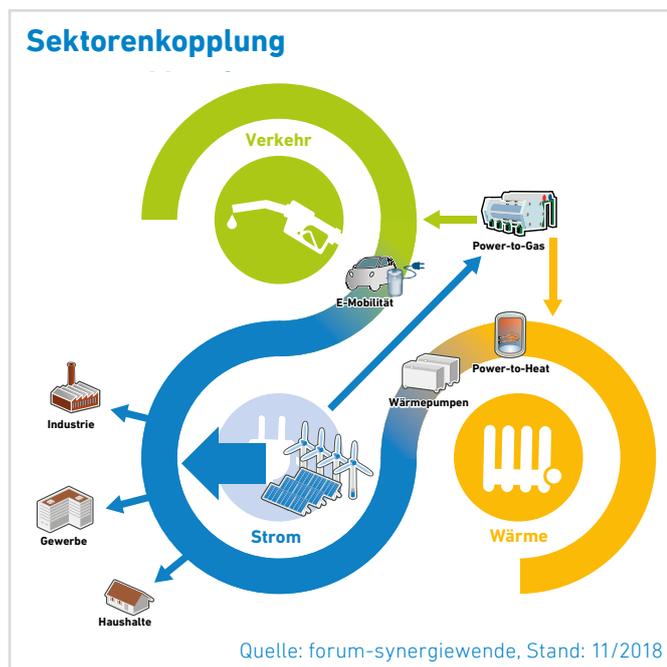
13 Expertenkommission 2018, S.7

14 AG Energiebilanzen 2019

15 AEE 2016, S.4f

Auch der aktuelle Netzentwicklungsplan geht davon aus, dass die Stromnachfrage mittelfristig wächst. Die Ursache dafür liegt vornehmlich in der zunehmenden Nutzung von Strom in den Sektoren Wärme und Verkehr durch Techniken wie Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und strombasierte Brenn- und Kraftstoffe. Erneuerbar erzeugter Strom soll auf diese Weise auch fossiles Erdgas und Erdöl ersetzen, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

Die stärkere Verknüpfung der traditionell getrennten Energieverbrauchssektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie im Energiesystem der Zukunft bezeichnet man als Sektorenkopplung. Die Sektorenkopplung ist ein wichtiger Baustein der Energiewende, wenn die neuen Verbraucher intelligent angesteuert werden und mit ihrer flexiblen Last die Stabilität des Energieversorgungssystems unterstützen.



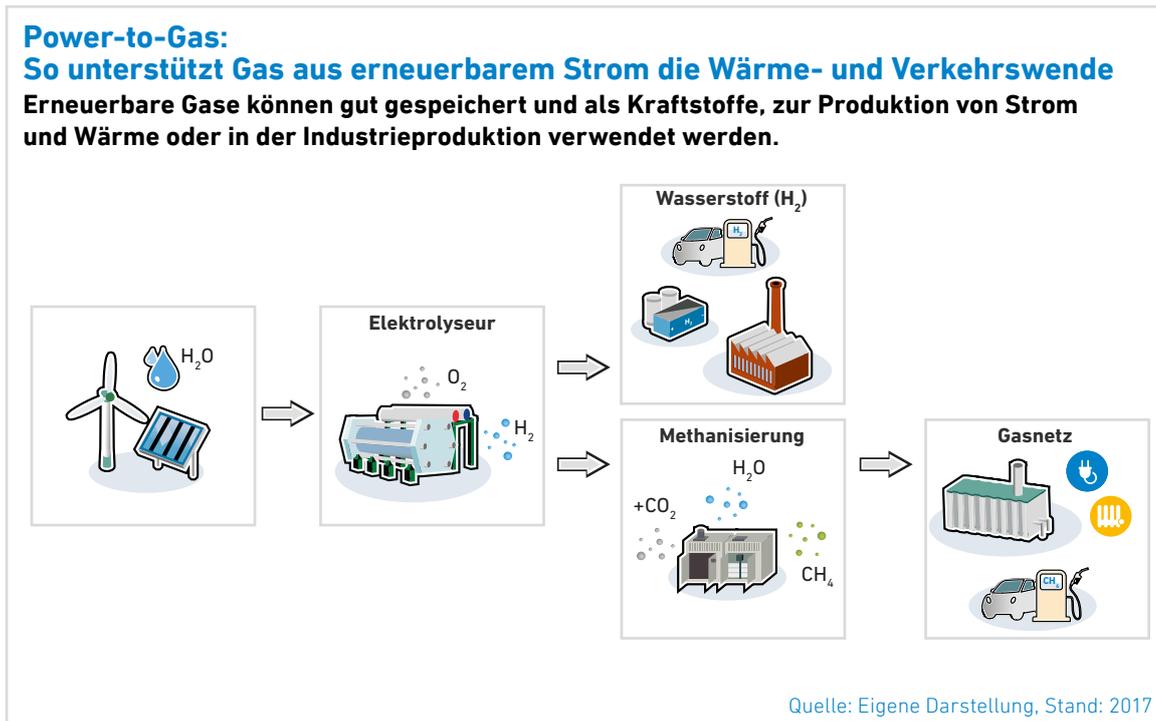
Die gezielte Steuerung des Stromverbrauchs bezeichnet man als Last- oder Demand-Side-Management. Beispielsweise können eine Erdwärmepumpe oder ein Kühlhaus ihren Stromverbrauch zeitlich verschieben. Kühlhäuser können die Temperatur verstärkt absenken, wenn gerade viel kostengünstiger Strom aus Wind und Sonne zur Verfügung steht. Sie können als thermische Speicher dienen, genauso wie andere Gebäude und Wärmenetze. Die dadurch erreichte kurzfristige Flexibilität der Verbraucher hilft, hohe Anteile Erneuerbarer Energien in das System zu integrieren und die Stromnetze zu entlasten.

Üblicherweise werden die Lastmanagement-Potenziale nach Verbrauchssektoren unterschieden. Bei privaten Haushalten eignen sich zum Beispiel batterieelektrische Fahrzeuge, PV-Systeme mit Batteriespeicher, Wärmepumpen, Speicherheizungen, elektrische Warmwasserspeicher sowie weiße Ware (Geschirrspüler, Waschmaschinen, Trockner, Kühl- und Gefriergeräte). Im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) kann Lastmanagement mit steuerbaren Stromverbrauchern wie Kälteanlagen und Raumheizung erfolgen. Im Sektor Industrie werden üblicherweise steuerbare Prozesse der Aluminium-, Chlor-, Papier-, Stahl und Zementindustrie für das Lastmanagement berücksichtigt.

Im Rahmen des Netzentwicklungsplans rechnen Bundesnetzagentur und Netzbetreiber mit einem Demand-Side-Management-Potenzial bei Industrie und Gewerbe in Höhe von vier Gigawatt bis 2030. Hinzu kommt die variable Last von etwa 2,6 Millionen Wärmepumpen und 6 Millionen Elektroautos.<sup>16</sup>

### 3.3 SPEICHER

Energiespeicher wie Pumpspeicherkraftwerke, Batterien, Druckluftspeicher, Power-to-Gas (PtG) oder Power-to-Liquid (PtL) sind sowohl Stromverbraucher (Aufladen) als auch Stromerzeuger (Entladen). Sie bringen damit doppelt Flexibilität in das System. Die zunehmende Bedeutung von Energiespeichern zeigt sich zum Beispiel daran, dass die installierte Pumpspeicherleistung und die Stromerzeugung in Pumpspeicherkraftwerken in den vergangenen Jahren leicht zugenommen haben<sup>17</sup>. Bis 2030 rechnen Bundesnetzagentur und Übertragungsnetzbetreiber mit einer weiteren Steigerung der Pumpspeicherkapazität auf 11,6 Gigawatt.



Ende 2018 waren etwa 120.000 der insgesamt 1,7 Millionen Photovoltaik-Anlagen in Deutschland mit einem Batteriespeicher ausgestattet<sup>18</sup>. Sinkende Preise für PV-Batteriesysteme und andere Batteriespeicher machen ihre Nutzung immer attraktiver. Bis 2030 kalkuliert die Bundesnetzagentur mit einer Batterieleistung von insgesamt zehn Gigawatt<sup>19</sup>.

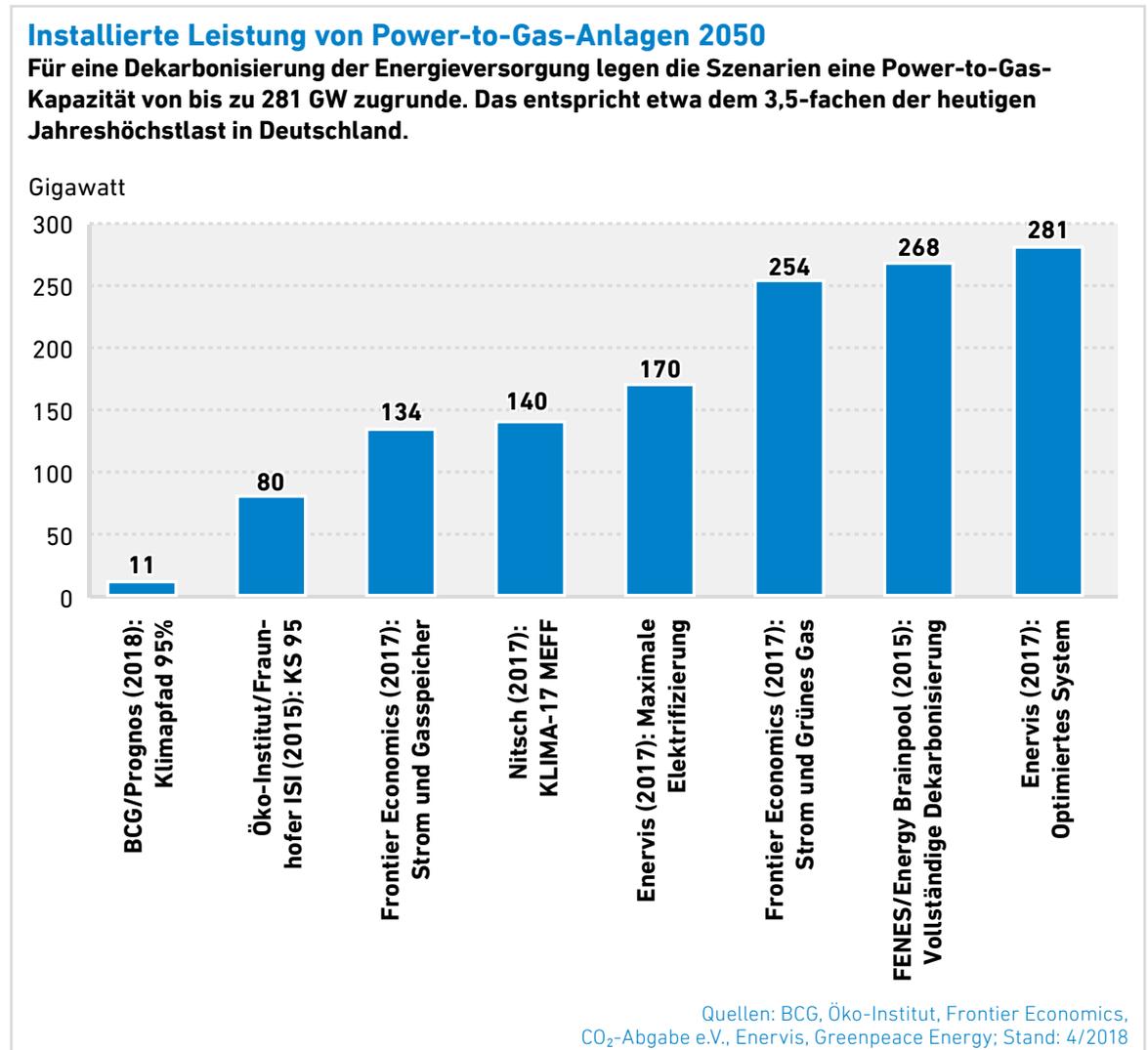
Bei der Power-to-Gas-Technik (PtG) wird durch Elektrolyse regenerativer Wasserstoff erzeugt, der in weiteren Prozessen zu synthetischem Methan (auch EE-Methan oder Windgas genannt) verarbeitet werden kann. Darüber hinaus können mithilfe von Strom regenerative flüssige Kraftstoffe (Power-to-Liquid) bereitgestellt werden. Wasserstoff, Methan und Flüssigkraftstoffe können gespeichert und in unterschiedlichen Sektoren verwendet werden: in der Stromerzeugung (durch Rückverstromung), im Verkehr (z.B. in Brennstoffzellen-Pkw, Schiffen, Flugzeugen), für Prozesswärme sowie als chemischer Grundstoff in der Industrie.

<sup>17</sup> Bundesnetzagentur/Bundeskartellamt 2018, S.51; Agora Energiewende 2019, S.18

<sup>18</sup> BSW 2019

<sup>19</sup> 50 Hertz Transmission/Amprion/TenneT TSO/TransnetBW 2019, S.30

Die Herstellungsverfahren für strombasierte synthetische Brennstoffe befinden sich aktuell noch in der Erforschung und Entwicklung. Sie sind mit einem hohen technischen Aufwand, einem erheblichen Energieeinsatz und hohen Kosten verbunden. Die meisten Studien und Szenarien sehen den Einsatz von Elektrolyseuren und Methanisierungsanlagen daher erst ab ca. 2030, dann allerdings in einem rasch wachsenden Umfang von bis zu 280 Gigawatt installierter Leistung im Jahr 2050. Das liegt daran, dass synthetische Gase aus heutiger Sicht in einem vollständig auf Erneuerbaren Energien beruhenden Stromsystem die einzige Option sind zur Überbrückung längerer Zeiträume mit einer geringen Stromspeisung aus Solar- und Windenergieanlagen<sup>20</sup>.



Für den Zeitraum vor 2030 wird hingegen meist davon ausgegangen, dass andere Flexibilitätsoptionen (insb. direkter Stromverbrauch für Verkehr und Wärme sowie Lastmanagement) noch ausreichen, um die anfallenden Stromüberschüsse wirtschaftlich zu nutzen.

## 4 BIOENERGIE ALS FLEXIBILITÄTSOPTION

Die Bioenergie ist nicht nur ein Multitalent für den Einsatz in den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffe, sondern sie bietet unter den Erneuerbaren Energien auch das größte Potenzial für die flexible und bedarfsorientierte Stromerzeugung.

Strom aus Bioenergie in Zahlen 2018<sup>21</sup>:

- 51 Milliarden Kilowattstunden, davon 32 aus Biogas und Biomethan,
- 8.400 Megawatt installierte Leistung, davon 6.100 Megawatt Biogas und Biomethan,
- Rechnerisch im Schnitt aller Bioenergieanlagen rund 6.100 Volllaststunden.

### 4.1 FESTE BIOMASSE

Die Verbrennung fester Biomasse zur Verstromung erfolgt meist in Biomasse-Heizkraftwerken. Diese Anlagen stehen oft im Zusammenhang mit wärmeintensiven Produktionsprozessen und werden daher meist wärmegeführt betrieben.

Ein Forschungsprojekt des Fraunhofer IEE zeigt, dass es bei Biomasseheizkraftwerken Flexibilisierungspotenzial gibt und das Interesse der Anlagenbetreiber vorhanden ist. Damit trotz Flexibilisierung der Stromerzeugung eine zuverlässige Wärmelieferung gewährleistet werden kann, müssten die Anlagen jedoch meist um Wärmespeicher erweitert werden. Das erfordert zusätzliche Investitionen. Diesbezüglich stellen die Forscher fest, dass die Erlösmöglichkeiten am Strommarkt für eine flexible Stromerzeugung derzeit nicht ausreichen. Erst durch die Kombination verschiedener Systemdienstleistungen bzw. der damit verbundenen Erlöse könne die Bereitstellung von Flexibilität auch wirtschaftlich darstellbar werden.<sup>22</sup>

Auch eine Studie des Deutschen Biomasseforschungszentrums DBFZ bescheinigt einer Anlagenflexibilisierung auf Basis einer Modellrechnung für ein konkretes Holzheizkraftwerk mangelnde Wirtschaftlichkeit. Das liege zum einen an der fehlenden Flexibilitätsprämie im Vergleich zu Biogasanlagen und zum anderen daran, dass für eine höhere Leistung nicht nur die Turbinen (wie bei einem Biogas-Blockheizkraftwerk), sondern auch die Kesselkapazität erweitert werden müsse mit entsprechenden Zusatzkosten<sup>23</sup>.

### 4.2 BIOGAS / BIOMETHAN

Während Bioenergie-Anlagen zur Stromerzeugung in den vergangenen Jahren überwiegend im Dauerbetrieb eingesetzt wurden, setzt die 2012 eingeführte Flexibilitätsprämie nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz einen Anreiz für die Flexibilisierung von Biogas- und Biomethananlagen.

Technisch erfordert eine Umstellung von Biogasanlagen auf eine bedarfsorientierte Stromproduktion eine Ausweitung der Gasspeicherkapazität. Je größer der Gasspeicher, umso höher ist das Potenzial die Stromproduktion zeitlich zu variieren. Hierfür ist natürlich auch eine höhere installierte Leistung der Blockheizkraftwerke (BHKW) erforderlich, entweder durch neue, größere BHKW oder durch Ergänzung eines vorhandenen BHKW durch ein weiteres. Darüber hinaus müssen vielerorts auch zusätzliche Wärmespeicher für das schwankende Wärmeangebot aus den BHKW gebaut werden.

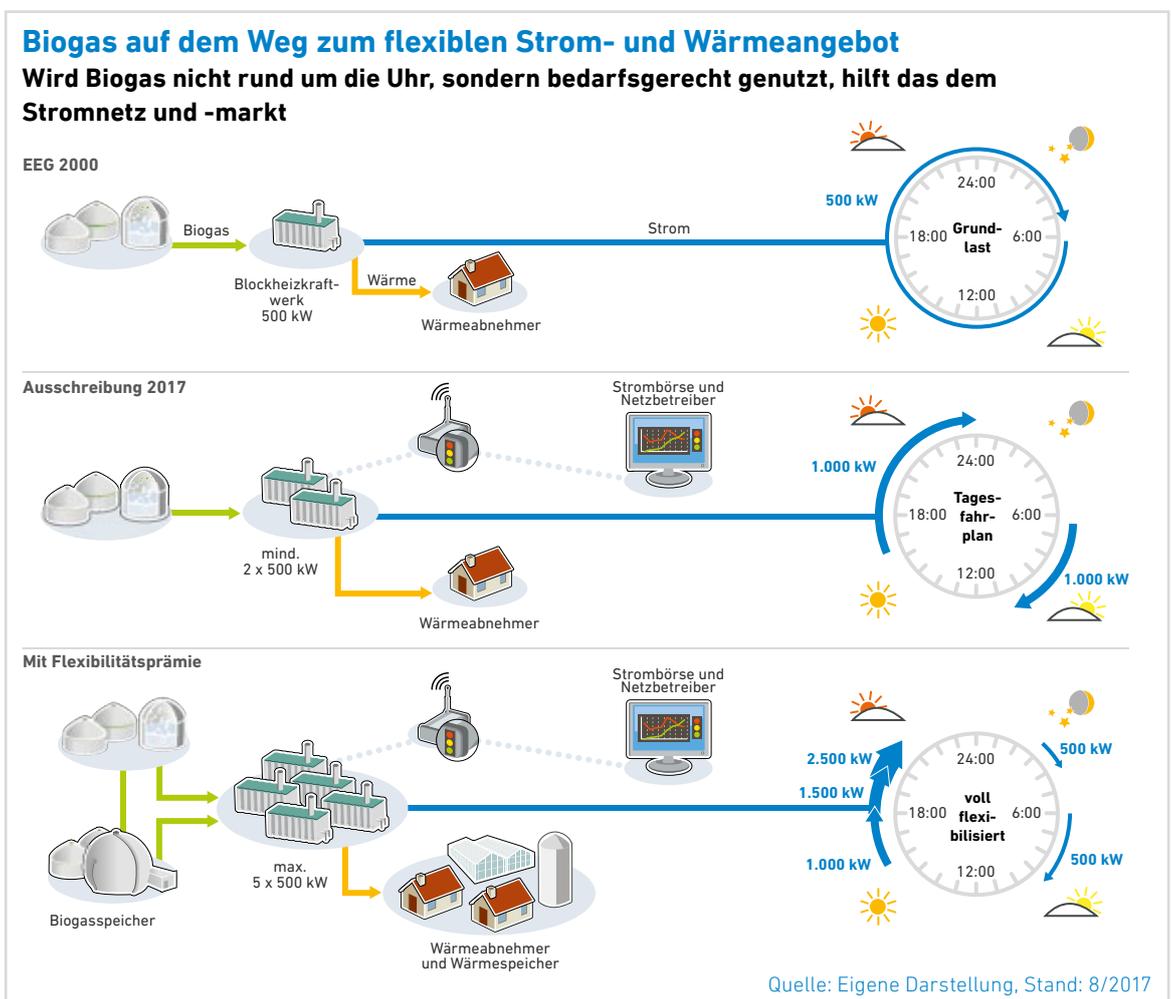
<sup>21</sup> AGEE-Stat 2019

<sup>22</sup> Fraunhofer IEE 2018, S.43

<sup>23</sup> DBFZ 2018, S.33

Eine weitere Möglichkeit, Biogasanlagen zu flexibilisieren, besteht in einer flexibleren Gasproduktion. Hierzu laufen Forschungsprojekte. Der Neubau bzw. die Nachrüstung von Technologien zur flexiblen Gasproduktion haben ein großes Potenzial, für ihre erfolgreiche Markteinführung ist es jedoch wichtig, dass die zusätzlichen Investitionskosten durch einen Mehrwert am Strommarkt refinanziert werden können.<sup>24</sup>

Eine Aufbereitung von Biogas zu Biomethan mit Erdgasqualität setzt eine vorhandene Gasinfrastruktur voraus, damit das Biomethan in das Gasnetz eingespeist werden kann. Ist das der Fall, haben Biomethananlagen gegenüber den herkömmlichen Biogasanlagen den Vorteil, dass mit dem Erdgasnetz quasi ein unbegrenzter Gasspeicher zur Verfügung steht. Für die flexible Stromerzeugung von Biomethananlagen ist vor allem die Struktur der Wärmenachfrage von Bedeutung. Damit die Anlagen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz gefördert werden, muss der Betrieb in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen.



Bis November 2017 wurden insgesamt etwa 4.200 Biogas- und Biomethan-Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 2,8 Gigawatt für die Flexibilitätsprämie angemeldet. Damit wird bisher etwa 44 Prozent des Fördervolumens ausgeschöpft<sup>25</sup>. Die Prämie hat dazu geführt, dass etwa 2.000 Biogasanlagen ihre installierte Leistung zur Stromerzeugung nahezu verdoppelt haben.

Die flexibilisierten Anlagen sind technisch in der Lage vor allem dann einzuspringen, wenn Wetter und Verbrauchsschwankungen es erfordern. Von der insgesamt installierten Leistung der Biogas- und Biomethananlagen richten über 60 Prozent ihre Leistungsbereitstellung in unterschiedlicher Ausprägung

24 Fraunhofer IEE 2018, S.47

25 Fraunhofer IEE 2018, S.68

BIOGAS-ANLAGEN	DURCHSCHNITTLICHE VOLLASTSTUNDEN
2015	6.131
2016	5.972
2017	5.630
2018	5.240

nach dem Strombedarf aus<sup>26</sup>. Inwieweit die Anlagenbetreiber von dieser technischen Möglichkeit tatsächlich Gebrauch machen, hängt von der Wirtschaftlichkeit und damit von den Preissignalen des Strommarkts ab.

Durch den flexiblen Anlagenbetrieb sinkt die Zahl der Volllaststunden, d.h. der rechnerisch vollen Auslastung der Erzeugungskapazität. Während Anlagen ohne Inanspruchnahme der Prämie im Jahr 2016 mit durchschnittlich 7.680 Volllaststunden eine

sehr hohe Auslastung aufwiesen, lag der Wert bei Anlagen mit Flexibilitätsprämie laut EEG-Erfahrungsbericht bei 5.330 Volllaststunden. Die Zahlen der AGEE-Stat zur installierten Leistung und Stromerzeugung von Biogasanlagen zeigen, dass der Trend zur Flexibilisierung seitdem weiter fortgeschritten ist.

Die Entwicklung hin zu einer weiteren Flexibilisierung von Bioenergieanlagen wird im Zuge der fortschreitenden Energiewende weitergehen. So kann das wertvolle und knappe Gut Biomasse effizient für ein Maximum an Klimaschutz eingesetzt werden.

Aktuelle Energieszenarien zeigen, dass die maximal genutzte Erzeugungsleistung von Bioenergieanlagen im Zeitverlauf steigt, während zugleich die Auslastung der Kraftwerke sinkt. Zum Beispiel steigt die Stromerzeugungsleistung von Biomasse-Anlagen in einer aktuellen Modellierung des Öko-Instituts (Naturschutzszenario) von 12 Gigawatt im Jahr 2020 auf 28 Gigawatt bis zum Jahr 2050, während die Volllaststunden auf unter 1.000 sinken<sup>27</sup>.

Aufgrund der geringen Auslastung der Anlagen beläuft sich die in Bioenergieanlagen erzeugte Strommenge im genannten Szenario nur auf 24 Milliarden Kilowattstunden im Jahr<sup>28</sup>. Gegenüber dem heutigen Niveau wäre das etwa eine Halbierung. Inwieweit ein solches Szenario realistisch ist, hängt unter anderem davon ab, ob die Anlagen unter diesen Bedingungen wirtschaftlich betrieben werden können. Hier kommt es darauf an, dass der Markt für den Einsatz von Backup-Kapazitäten wie Biomasse oder synthetische Gase ausreichend hohe Knappheitspreise bietet, wenn Solar- und Windstrom nicht zur Verfügung stehen.

### 4.3 WIRTSCHAFTLICHKEIT VON FLEXIBILITÄT DURCH BIOENERGIE

Laut EEG-Erfahrungsbericht passten die Betreiber die Stromerzeugung an die Preissignale des Strommarkts an, um die Erlöse zu optimieren. Dass die Anlagenbetreiber nicht noch mehr Flexibilität eingebracht haben, liege am geringen Preisspread am Strommarkt (siehe Abschnitt 6), der die Erlösmöglichkeiten einschränke, sowie an der Vermarktung der Wärme aus Blockheizkraftwerken<sup>29</sup>.

Eine Studie des Deutschen Biomasse Forschungszentrums DBFZ, die die Wirtschaftlichkeit von Flexibilitätskonzepten für verschiedene Anlagenbeispiele berechnet, kommt zu folgenden Erkenntnissen: Für Biogasanlagen sei eine Flexibilisierung mit einer starken Leistungserhöhung wirtschaftlich rentabel. Eine vollflexible Fahrweise schneide dabei besser ab als eine teilflexible Fahrweise. Zu den Berechnungsgrundlagen gehört auch eine Modellierung des Strommarkts, der die Annahme zugrunde liegt, dass in den kommenden Jahren fossile Kraftwerke stillgelegt werden und die Zertifikatspreise im europäischen Emissionshandel steigen. Die Höhe der am Markt erzielbaren Erlöse für flexible Bioenergieanlagen hänge davon ab, wie schnell Grundlastkraftwerke stillgelegt werden, in welchem Ausmaß bzw. wie schnell fluktuierende Erneuerbare Energien zugebaut werden und wie schnell und in welchem Ausmaß andere Flexibilitätsoptionen in den Markt kommen.

<sup>26</sup> Fraunhofer IEE 2018, S.69

<sup>27</sup> Öko-Institut 2018, S.72

<sup>28</sup> Öko-Institut 2018, S.80

<sup>29</sup> Fraunhofer IEE 2018, S.72

## 5 DIE BEDEUTUNG DER STROMNETZE

Das Stromnetz steht im Zentrum der Integration Erneuerbarer Energien ins Stromsystem. Es verknüpft alle Komponenten, die für die Energiewende benötigt werden: Erzeuger, Speicher und Verbraucher. Die Energiewende stellt neue Anforderungen an die Netze, denn Strom wird nicht mehr nur in einer Richtung von zentralen Großkraftwerken hin zu Verbrauchern verteilt. Vielmehr wird das System kleinteiliger, komplexer und die Dynamik der Stromflüsse im Netz nimmt zu. Bereits heute sind etwa 1,7 Millionen Stromverbraucher mit ihren Photovoltaikanlagen auch Stromerzeuger. 120.000 von ihnen verfügen zudem über Stromspeicher<sup>30</sup>.

Damit die Netze jederzeit stabil bleiben, soll das System mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) „intelligent“ bzw. „smart“ werden. Das „Smart Grid“ erfasst fortlaufend Daten zum Netzzustand, wertet sie aus und ermöglicht die Kommunikation und Interaktion zwischen den verschiedenen Elementen im Energiesystem. So sollen die verschiedenen Erzeuger und Verbraucher über die Stromnetze und künftig auch die Gasnetze miteinander verknüpft und gesteuert werden, um Flexibilitäten auf der Angebots- wie auch der Nachfrageseite optimal zu nutzen.

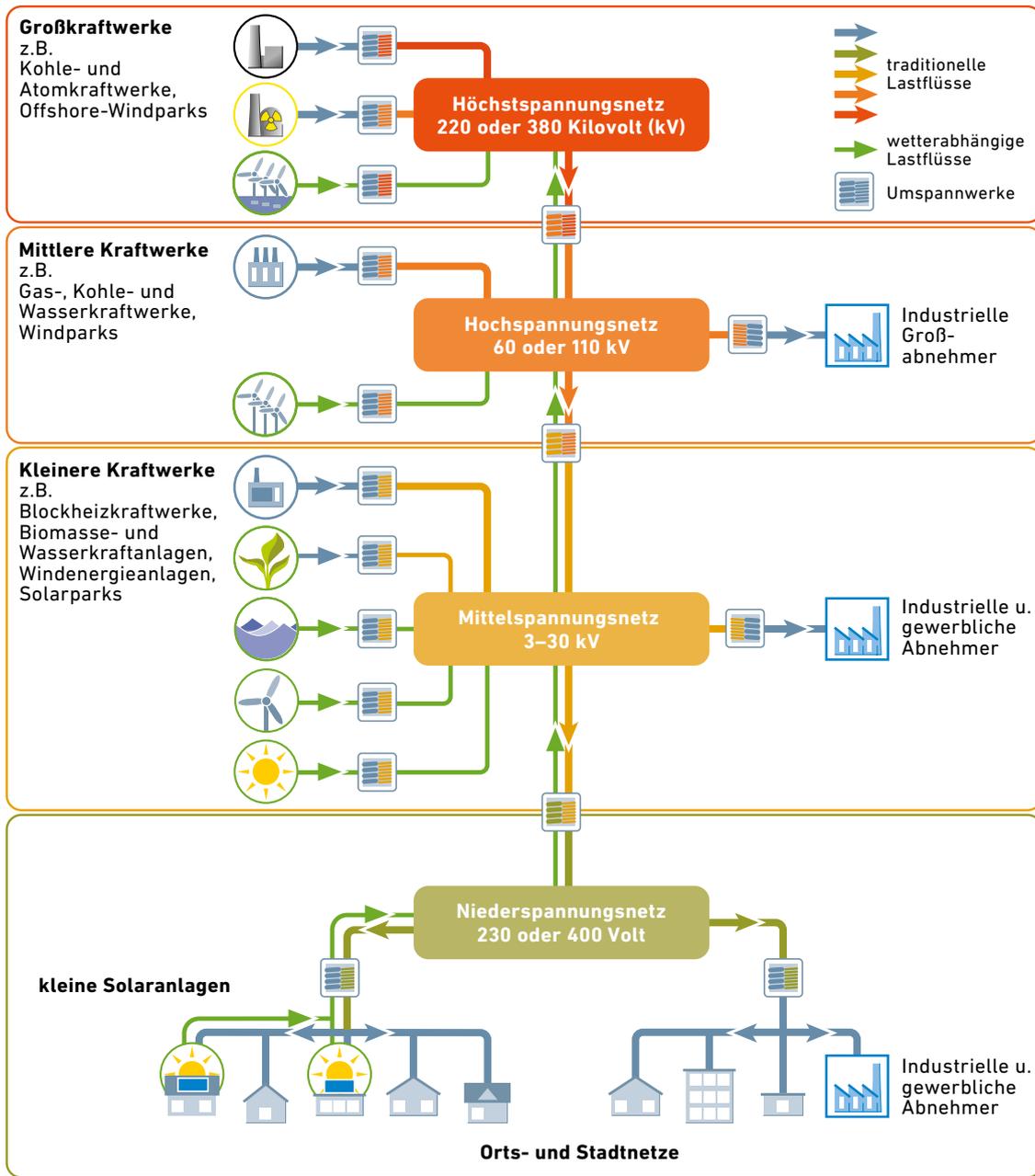
Außerdem müssen die Netze über ausreichende Transportkapazitäten verfügen, damit die großräumigen Stromflüsse stattfinden können. Bisher wird die aus Erneuerbaren Energien erzeugte Strommenge fast vollständig verteilt und genutzt. Im Jahr 2018 wurden knapp 2,6 Prozent oder 5,4 Millionen Kilowattstunden aufgrund von Netzengpässen abregelt, betroffen waren meist Windenergieanlagen. Die Abregelung fiel damit geringer aus als 2017<sup>31</sup>. Die Bundesnetzagentur führt den Rückgang darauf zurück, dass sowohl im Übertragungs- als auch im Verteilnetz in Schleswig-Holstein Netzausbauprojekte in Betrieb genommen wurden. Ein Viertel der gesamten Abregelung im Jahr 2018 entfiel auf Offshore-Windenergieanlagen in Niedersachsen, insgesamt betraf das Einspeisemanagement vor allem Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Brandenburg.

Der aktuelle Netzentwicklungsplan 2030 berücksichtigt nicht nur Netzausbau, sondern auch andere Maßnahmen und Innovationen. Dazu gehören beispielsweise das Freileitungsmonitoring, das einen witterungsabhängigen Betrieb ermöglicht, der Einsatz von Hochtemperaturleiterseilen und die aktive Steuerung des Leistungsflusses durch Querregeltransformatoren. Insgesamt identifizieren die Netzbetreiber bis 2030 einen Netzausbau- und Netzverstärkungsbedarf auf ca. 11.500 Kilometern Trassenlänge.

30 BSW 2019

31 Bundesnetzagentur 2019, S.29

### So funktioniert unsere Stromversorgung



Quelle: Eigene Darstellung, Stand: 4/2018

## 6 STROMMARKT UND FLEXIBILITÄT

Im Idealfall setzen die Marktpreise Anreize für den Einsatz von Flexibilitätsoptionen. Die Auswertung der Börsenstrompreise im Jahr 2018 durch Agora Energiewende zeigt zum einen, dass es keine ausgeprägten Preisspitzen gab, die als deutliche Knappheitssignale gewertet werden könnten. Der höchste Tagesmittelpreis am deutschen Strommarkt lag bei rund 80 Euro je Megawattstunde und trat im November auf. Auf der Seite zuschaltbarer Erzeugungskapazitäten bei wenig Strom aus Wind und Sonne zeichnet sich also bisher kein Mangel ab.

Umgekehrt wies der günstigste Strompreis ein negatives Tagesmittel von minus 25 Euro je Megawattstunde auf, und zwar am 1. Januar 2018. Damit fielen sowohl der höchste als auch der niedrigste Wert 2018 weniger extrem aus als im Vorjahr.<sup>32</sup> Die Gründe sieht Agora Energiewende einerseits in der fehlenden Knappheitssituation, andererseits in einer höheren Flexibilität von Kohlekraftwerken. Die Akteure im Strommarkt passen sich demnach immer besser an Situationen mit hoher Einspeisung aus Erneuerbaren Energien an. Kraftwerksbetreiber drosseln die konventionelle Erzeugung inzwischen stärker als früher, bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen liefern öfter andere Quellen wie Speicher oder „Windheizer“ die Wärme und auch Regelleistung wird vermehrt durch neue Technologien geliefert.

Teilweise werden auch Erneuerbare-Energien-Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen abgeregelt, da sie nach sechs Stunden negativen Marktpreisen ihren Vergütungsanspruch nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz verlieren.

Eine Studie für den Bundesverband Erneuerbare Energie zu Hemmnissen und Lösungskonzepten für die Flexibilisierung des Strommarkts spricht verschiedene Empfehlungen aus, damit marktwirtschaftliche Maßnahmen dazu führen, dass Inflexibilität abgebaut und Flexibilität aufgebaut wird:

Im Zentrum stehen dabei unter anderem variable Stromtarife, die den Verbrauchern deutliche Signale über die aktuelle Situation im Stromnetz liefern. Hierfür sollen Strompreisbestandteile wie die EEG-Umlage, KWK-Umlage und die Netzentgelte dynamisch ausgestaltet werden. Am Spotmarkt solle der kurzfristige Viertelstundenhandel an Gewicht gewinnen, am Regelleistungsmarkt die Vorlaufzeiten verkürzt und die Produktlängen verringert werden<sup>33</sup>.

Um die Markteinführung von Flexibilitätsoptionen wie Power-to-Gas-Anlagen zu unterstützen, fordert zum Beispiel der Branchenverband BDEW den Strombezug für diese Verbraucher günstiger zu machen. Dies solle durch eine Verringerung oder Befreiung von Abgaben und Umlagen geschehen, wenn der Verbrauch „netzdienlich“ erfolge, also „überschüssiger“ Strom aus Erneuerbaren Energien genutzt werde.<sup>34</sup>

<sup>32</sup> Agora Energiewende 2019, S.43ff

<sup>33</sup> Fraunhofer IWES/Energy Brainpool 2015, S.10

<sup>34</sup> BDEW 2019

Damit Bioenergie-Anlagen noch mehr Flexibilität liefern als bisher, muss laut EEG-Erfahrungsbericht der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigpreisen am Strommarkt (Preisspread) bzw. die Erlösmöglichkeiten weiter zunehmen.<sup>35</sup> Die Flexibilitätsprämie reicht demnach nicht aus, zumal sie nur für Biogas- und Biomethananlagen gezahlt wird, aber nicht für feste Biomasse. Für die Erlösperspektive flexibler Bioenergiekraftwerke ist es wichtig, dass das Strompreisniveau und die Preisvolatilität zunehmen. Dafür müssen fossile Grundlastkraftwerke stillgelegt werden und die Preise für Emissionszertifikate steigen<sup>36</sup>. Dann verbessert sich die Wirtschaftlichkeit nicht nur für Bioenergieanlagen, sondern für alle Flexibilitätsoptionen.

## FAZIT

Der wachsende Anteil von Wind- und Sonnenenergie macht es anspruchsvoller, Stromerzeugung und -nachfrage jederzeit in Einklang zu bringen. Durch die zeitlich variable Verfügbarkeit wächst der Bedarf an Flexibilität, um das Energiesystem stabil zu halten.

Auch aus diesem Grund sind fossile und nukleare Grundlastkraftwerke Relikte der Vergangenheit. Abgesehen davon, dass sie zu viele Treibhausgase und andere Umweltprobleme verursachen, sind sie auch zu träge für ein Energiesystem, das im Wesentlichen auf Wind und Sonne basiert.

Stattdessen halten künftig flexible kleine, dezentrale Erzeuger und Verbraucher das dynamische Wechselspiel von Stromangebot und -nachfrage im Gleichgewicht. Flexible Erzeuger und Verbraucher garantieren Versorgungssicherheit und bewirken das notwendige Update für unsere Energieversorgung.

<sup>35</sup> Fraunhofer IEE 2018, S.72

<sup>36</sup> DBFZ 2018, S.33

## 7 LITERATUR

AG ENERGIEBILANZEN: „Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern“ Berlin, 2019.

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (AEE): „Bundesländer-Übersicht zu Erneuerbaren Energien“ Berlin, 2019.

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: „Flexibilität durch Kopplung von Strom, Wärme und Verkehr.“ Berlin, 2016.

ARBEITSGEMEINSCHAFT ERNEUERBARE ENERGIEN-STATISTIK (AGEE STAT): „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland 1990–2018.“ Berlin, 2019.

BUNDESNETZAGENTUR/BUNDESKARTELLAMT: „Monitoringbericht 2018.“ Bonn, 2018

BUNDESNETZAGENTUR: „Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen. Gesamtjahr und Viertes Quartal 2018.“ Bonn, 2019

BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT, (BDEW): „Power-to-Gas – Eine Schlüsseltechnologie der Sektorkopplung“, Berlin, 2019

BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT (BSW): „Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik)“, Berlin, 2019

DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM DBFZ: „Bewertung von Flexibilisierungskonzepten für Bioenergieanlagen. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für sieben Anlagenbeispiele.“ Leipzig, 2018

DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR: „Expertise bündeln, Politik gestalten – Energiewende jetzt! Essenz der drei Grundsatzstudien zur Machbarkeit der Energiewende bis 2050 in Deutschland.“ Berlin, 2019

FRAUNHOFER IEE: „Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß §97 Erneuerbare-Energien-Gesetz. Teilvorhaben IIa: Biomasse. Zwischenbericht.“ Kassel, 2018.

FRAUNHOFER ISE: „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2018.“ Freiburg, 2019.

FRAUNHOFER ISE: „Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050.“ Freiburg, 2015.

FRAUNHOFER IWES/ENERGY BRAINPOOL: „Strommarkt-Flexibilisierung. Hemmnisse und Lösungskonzepte.“ Berlin, 2015.

ÖKO-INSTITUT: „Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestands.“ Freiburg/Darmstadt, 2018.

50 HERTZ TRANSMISSION/AMPRION/TENNET TSO/TRANSNETBW: „Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019. Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber.“ 2019.

## IMPRESSUM

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

Invalidenstraße 91

10115 Berlin

Tel.: 030 200535 30

Fax: 030 200535 51

E-Mail: [kontakt@unendlich-viel-energie.de](mailto:kontakt@unendlich-viel-energie.de)

Aktuelle Informationsangebote finden Sie im Internet:

[www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)

[www.energie-update.de](http://www.energie-update.de)

[www.forum-synergiewende.de](http://www.forum-synergiewende.de)

[www.kommunal-erneuerbar.de](http://www.kommunal-erneuerbar.de)

[www.foederal-erneuerbar.de](http://www.foederal-erneuerbar.de)

[www.forschungsradar.de](http://www.forschungsradar.de)

[www.waermewende.de](http://www.waermewende.de)



AGENTUR FÜR  
ERNEUERBARE  
ENERGIEN  
unendlich-viel-energie.de