BEE
Bundesverband
Erneuerbare Energie e.V.

Das „BEE-Szenario 2030“

65 Prozent Treibhausgasminderung bis 2030 – Ein Szenario des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE)

Version 2021

Impressum

Herausgeber

Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE)
V.i.S.d.P. Wolfram Axthelm
EUREF-Campus 16
10829 Berlin

www.bee-ev.de

Autoren

Björn Pieprzyk
Referent für Energiewirtschaft
Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE)
Fon: 030 / 2 75 81 70 – 19
E-Mail: bjoern.pieprzyk@bee-ev.de

Dr. Matthias Stark
Leiter Erneuerbare Energiesysteme
Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE)
Fon: 0 30 / 2 75 81 70 – 22
E-Mail: matthias.stark@bee-ev.de

April 2021

Inhaltsverzeichnis

Kernergebnisse des BEE-Szenarios 2030 **4**

1 Politische Einordnung und Untersuchungsfrage **5**

2 Übersicht der Anpassungen gegenüber dem BEE-Szenario 2030 (Stand 2019) **6**

3 Methodik **8**

4 Ergebnisse der Szenarienberechnung **10**

4.1 Energieverbrauch in allen Sektoren 10

4.2 Gesamte Entwicklung der Erneuerbarer Energien 12

4.3 Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Stromsektor 14

4.4 Entwicklung der EE-Stromerzeugung 16

4.5 Entwicklung der jährlichen EE-Leistung im Stromsektor 20

4.6 Wärmesektor im BEE-Szenario 22

4.7 Verkehrssektor im BEE-Szenario 23

4.8 Potenzialannahmen für die Erneuerbaren Energien 26

4.9 PtX-Nutzung im BEE-Szenario 27

4.10 THG-Minderung: Beitrag der verschiedenen Sparten 28

5 Unsicherheiten im Szenario **30**

6 Anpassungen des BEE-Szenarios: Erläuterungen **31**

7 Vergleich mit anderen Studien **33**

8 Anhang **35**

8.1 Abbildungsverzeichnis 35

8.2 Tabellenverzeichnis 35

8.3 Quellen 36

Kernergebnisse des BEE-Szenarios 2030

Das aktualisierte BEE Szenario 2030 enthält unter der Maßgabe eines 65 Prozent Treibhausgas (THG) Minderungsziels bis zum Jahr 2030 folgende Kernergebnisse.

1. Für eine 65 %-Minderung der THG-Emissionen muss die Nutzung Erneuerbarer Energien (EE) um den Faktor 2,4 von 455 TWh (2019) auf 1084 TWh bis 2030 steigen.
2. Die Sektorenkopplung ist zur Erreichung des 65 %-Ziels von zentraler Bedeutung, was eine umfassende Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors dringend erfordert. Dies wiederum bedeutet einen Anstieg des Bruttostromverbrauchs in Deutschland auf 745 TWh.
3. Zur Erreichung der höheren THG-Minderungsziele ist eine deutliche Steigerung der erneuerbaren Ausbaupfade bis 2030 zwingend notwendig. Im Vergleich zum BEE-Szenario aus 2019 weisen hierbei Windenergie an Land (Onshore) und Photovoltaik (PV) die größten Steigerungspotenziale auf. Bis 2030 muss folglich eine PV-Installation auf 205 GW und die Wind Onshore Installation auf 95 GW realisiert werden.
4. Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien daraus steigt bis 2030 auf 575 TWh und realisiert somit einen EE-Anteil am Bruttostromverbrauch von 77 Prozent.
5. Neben der Sektorenkopplung ist die Ausweitung der direkten erneuerbaren Nutzung im Wärmesektor von zentraler Bedeutung. So ist unter anderem eine deutliche Erhöhung von Solarthermieanlagen sowie eine deutliche Ausweitung der Wärmebereitstellung aus Bioenergie in Deutschland notwendig. Zusätzlich ist im Verkehrssektor ebenfalls eine höhere Einbindung von Bioenergie erforderlich.
6. Zur Zielerreichung ist die Nutzung von Power-to-X (PtX) Mengen notwendig: Die inländische PtX Menge steigt hierbei gegenüber dem bisherigen BEE Szenario um 20 Prozent auf 55 TWh bis zum Jahr 2030. Zusätzlich bedarf es einem PtX-Import, ausschließlich auf Basis Erneuerbarer Energien, von 31 TWh bis zum Jahr 2030[1].
7. Trotz PtX-Importen wird aufgrund der inländisch geprägten Energiewende der deutsche Energieimportbedarf um ein Drittel reduziert[2].

1 Für den internationalen Flugverkehr müssen weitere 55 TWh und für die chemische Grundstoffindustrie 36 TWh PtX oder Bioenergie importiert werden.

2 Unter Berücksichtigung des internationalen Flugverkehrs bzw. der chemischen Industrie läge die Reduktion gegenüber 2019 dennoch bei ca. 30 Prozent.

1 Politische Einordnung und Untersuchungsfrage

Um Klimaneutralität bis spätestens 2050 zu erreichen, sind die bisherigen Klimaschutzambitionen auf deutscher und europäischer Ebene nicht ausreichend. Daher wird im Rahmen des Green Deals folgerichtig das europäische Klimaschutzziel von bislang minus 40 Prozent bis 2030 gegenüber dem Referenzjahr 1990 deutlich erhöht. Hierzu hat die EU-Kommission im Rahmen eines Impact Assessment im September 2020 zunächst eine Emissionsminderung von 55 Prozent vorgeschlagen. Im Oktober 2020 hat sich das EU-Parlament für eine THG-Reduktion um 60 Prozent bis 2030 gegenüber dem Jahr 1990 ausgesprochen. Eine Einigung in den Trilogverhandlungen und der Beschluss des europäischen Klimaschutzgesetzes werden in den kommenden Monaten erwartet. Für Deutschland bedeutet jedoch bereits die Umsetzung einer europaweiten THG-Minderung von mindestens 55 Prozent unter der bisher geltenden Effort Sharing Regulation eine notwendige Reduktion von 65 Prozent. Dafür muss entsprechend das bisherige THG-Minderungsziel von minus 55 Prozent im Zieljahr 2030 des Bundesklimaschutzgesetzes angehoben werden.

Am 01. Januar 2021 ist das novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2021) in Kraft getreten, das unter anderem die nationalen Ziele für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien festlegt. Parallel dazu haben sich die Regierungsfraktionen in einem begleitenden Entschließungsantrag auf die Umsetzung weiterer Vorhaben verständigt. Darunter fällt auch die Maßgabe einen weiterführenden Ausbaupfad für die Erneuerbaren Energien zu definieren, der die Kompatibilität mit dem neuen Europäischen Klimaziel für das Jahr 2030 sowie dem Ziel der Klimaneutralität gewährleistet.

Für die neue erforderliche THG-Minderung von 65 Prozent müssen zusätzlich 112 Mio. t Treibhausgase gegenüber dem alten 55-Prozent-Ziel vermieden werden. Die zentrale Untersuchungsfrage des Updates des BEE-Szenarios 2030 ist damit, wie hoch die Erzeugung Erneuerbarer Energien im Jahr 2030 sein muss, um eine THG-Minderung von 65 Prozent bis 2030 gegenüber 1990 zu erreichen und somit dem mindestens zu erwartenden EU-Klimaziel gerecht zu werden. Der BEE hat bereits im Mai 2019 sein Klimaschutzszenario „BEE-Szenario 2030“ veröffentlicht, welches das bisherige THG-Minderungsziel des Bundesklimaschutzgesetzes umsetzt. Dieses Szenario wird im Text als „2019-Szenario“ bezeichnet.

Das BEE-Szenario-Update bleibt dafür im Wesentlichen in der Methodik seines 2019-Szenarios. In diesem Hintergrundpapier werden die Anpassungen und Ergänzungen gegenüber dem bisherigen Szenario erläutert und die neuen Ergebnisse dargestellt.

2 Übersicht der Anpassungen gegenüber dem BEE-Szenario 2030 (Stand 2019)

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, ist die wichtigste Änderung im Vergleich zum bisherigen BEE-Szenario 2030 aus dem Jahr 2019 die Anhebung des Klimaschutzminderungsziels auf 65 Prozent gegenüber 1990. Dafür wurde geprüft, welche zusätzliche Emissionsminderung durch die zur Verfügung stehenden Optionen (Effizienzmaßnahmen, inländische Nutzung und Importe Erneuerbarer Energien bzw. deren Folgeprodukte) bis 2030 möglich ist. Die BEE-Untersuchung ergibt, dass die größten zusätzlichen THG-Minderungspotenziale durch einen höheren Ausbau der Windenergie an Land und der PV vorhanden sind, welche zusammengerechnet rund Dreiviertel der zusätzlichen THG-Vermeidung übernehmen. Langfristig könnten ebenfalls höhere Offshore-Windenergiepotenziale erschlossen werden. Aufgrund der langen Planungszeiträume ist eine Anhebung der Offshoreziele erst nach 2030 umsetzbar. Im BEE-Update verändert sich der Ausbau von 20 GW Offshore bis 2030 daher nicht.

Das restliche Viertel der erforderlichen Emissionsminderung wird vor allem im Industriesektor und zum kleinen Anteil im Gebäudesektor erbracht. Durch die neue Allokation der THG-Einsparung sinken die Emissionen im Zeitraum von 2019 bis 2030 im Stromsektor um 60 Prozent, im Gebäude-, Verkehrs- und Industriesektor wiederum um etwa 40 Prozent.

Die Optionsanalyse des BEE zeigt außerdem, dass zusätzliche Effizienzmaßnahmen aufgrund der bereits sehr ambitionierten Annahmen im bisherigen Szenario als nicht realistisch eingestuft werden (siehe Kapitel 4). Im Szenario-Update sind die Herausforderungen trotz des gleichbleibenden Rahmens aufgrund der sehr geringen zeitlichen Komponente bis 2030 noch höher als in der 2019-Veröffentlichung.

Die Ausbaupfade für die Sektorenkopplung sind im 2019-Szenario darüber hinaus bereits sehr ehrgeizig angesetzt worden. Die bisherigen Ziele von 7 Mio. Wärmepumpen und 13 Mio. Elektrofahrzeugen bleiben daher im Szenario-Update unverändert. Die bisherige Steigerung der Bioenergienutzung um 88 TWh (37 %) wird ebenfalls übernommen. Die Bioenergie bleibt damit auch im Szenario-Update die größte EE-Sparte (siehe Kapitel 4.2). Im Bereich der Tiefengeothermie gibt es zusätzlich ein sehr hohes Steigerungspotential für die Wärmenutzung von rund 40 TWh bis 2030, das im 2019-Szenario noch nicht berücksichtigt worden ist.

Wie im 2019-Szenario wird nach dem Ausschöpfen aller inländischen Potenziale der verbleibende THG-Minderungsbedarf mit PtX-Importen (Power to Gas, Power to Liquids, Power to heat) geschlossen.

Es wurden außerdem noch folgende weitere Anpassungen vorgenommen:

- Das Basisjahr wurde aktualisiert. Das Jahr 2019 ist das neue Startjahr des BEE-Szenarios (bislang 2017). Der Energieverbrauch sowie der Anteil der fossilen und Erneuerbaren Energien wurden entsprechend in allen Sektoren (Strom, Wärme- und Verkehr) angepasst. Es wurde zudem der aktuelle Zubau für alle EE-Technologien bis einschließlich 2020 berücksichtigt.
- Der Energieverbrauch der Raffinerien wurde gegenüber des 2019- Szenarios verringert. Durch die zunehmende Elektrifizierung im Verkehrssektor sinkt die Nachfrage nach Diesel und Ottokraftstoffen, entsprechend auch die Produktion der Raffinerien.
- Die Annahmen für die Entwicklung der Elektromobilität (Schiene, Straße) wurden an die aktuellen Entwicklungen der spezifischen Verbräuche (kWh/100 km) und Bestandszahlen angepasst. Aufgrund der langen Planungszeiten für die Verlagerung des Straßengütertransports auf die Schiene (insb. Neubau von Trassen) wurden die bisherigen Steigerungsraten im 2019-Szenario reduziert. Durch die neuen Annahmen reduziert sich der Stromverbrauch für die Elektromobilität im Update gegenüber der 2019-Veröffentlichung.

Folgende Sektoren wurden in das Szenario-Update aufgenommen:

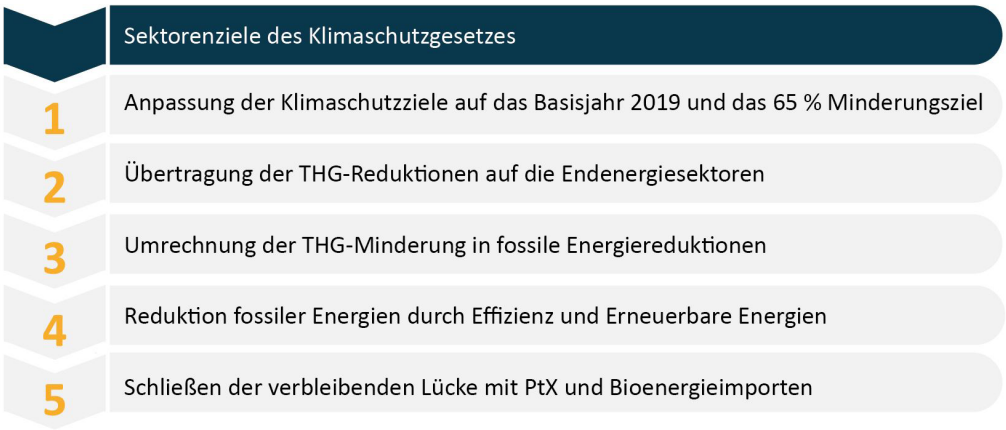
- Der nicht-energetische Verbrauch fossiler Rohstoffe für die Industrie wurde ins Szenario aufgenommen:
  - Für die Stahlerzeugung wird die Direktreduktion mit Wasserstoff genutzt. Dabei wird Wasserstoff anstatt Koks verwendet, um das Eisenerz zu reduzieren.
  - In der Grundstoffproduktion der chemischen Industrie wird für die Herstellung von Olefinen (Ethylen, Propylen und Butadien) und Aromaten (Benzol, Toluol und Xylol) Naphtha und Erdgas durch PtX (Wasserstoff und Methanol) ersetzt.
- Gasbasierte Prozesse werden zum Teil auf Strom umgestellt (v.a. in den Steamcrackern der chemischen Industrie).

Es gibt zudem eine Änderung der erfassten Sektoren des Szenarios. Im Update werden Sektoren, die nicht Teil der THG-Minderungsziele des Klimaschutzplanes werden gesondert betrachtet. Das sind sowohl der internationale Luft- und Schiffsverkehr als auch der nicht-energetische Verbrauch der chemischen Industrie. Dadurch wird die Vergleichbarkeit des BEE-Szenarios mit anderen Klimaschutzstudien, die meist ähnlich vorgehen, erleichtert. Die für den Luftverkehr und den nicht-energetischen Verbrauch der chemischen Industrie erforderliche Erneuerbare Energiemenge wird im Kapitel 6 erläutert.

3 Methodik

Wie bereits ausführlich dargestellt behält das Szenario-Update grundsätzlich die Methodik des 2019-Szenarios bei, so dass das Klimaschutzgesetz 2050 die Grundlage für die THG-Minderung im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor (siehe Abbildung 20) bildet. Zusätzlich wird das bisherige 2030-Minderungsziel von 55 Prozent des Klimaschutzgesetzes auf 65 Prozent angehoben. Dafür wurden die Sektorenziele des Klimaschutzgesetzes an die zusätzlichen THG-Minderungspotenziale angepasst. Um die Ziele des Klimaschutzplanes für das BEE-Szenario nutzen zu können, waren mehrere Umrechnungen erforderlich, da sich die Kategorien für die Sektoren im Klimaschutzplan von den Endenergiesektoren der EE-Statistik Strom, Wärme und Verkehr unterscheiden. Dafür wurde vor allem die Studie „Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO2-Emissionen“ des Ökoinstituts (2017 und 2019-Veröffentlichung[3]) verwendet. Daher basiert das Update ebenso wie das 2019-Szenario auf fünf Berechnungsschritten:

Abb. 1: Methodik der CO2-Reduktion und der EE-Entwicklung in den Endenergiesektoren



3 Öko-Institut e.V. (2017): Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO2-Emissionen. Versionen von 2017 und 2019.

1. Im ersten Schritt werden die Minderungsziele des Klimaschutzplans 2050, die sich auf das Jahr 1990 beziehen, auf die Werte des Basisjahrs 2019 angepasst und berechnet, wie viele Emissionen bis 2030 gegenüber der heutigen Situation verringert werden müssen. Die Sektorenziele werden dann entsprechend an das höhere 65 %-Minderungsziel angepasst.
2. Im zweiten Schritt werden die Sektorenziele des Klimaschutzplans auf die Endenergiesektoren Strom, Wärme (Gebäude und Industrie) und Verkehr übertragen (siehe Berechnungsergebnisse im Kapitel 4.10). Der Klimaschutzplan orientiert sich im Wesentlichen an den Kategorien der Klimaschutzberichterstattung. Dadurch werden die THG-Emissionen der Strom- und Wärmeerzeugung und des Verkehrs verschiedenen Kategorien angerechnet und somit nicht klar voneinander getrennt. So umfasst beispielsweise die Kategorie „Industrie“ im Klimaschutzplan die Emissionen der industriellen Stromerzeugung und die Kategorie „Energiewirtschaft“ auch die Emissionen der öffentlichen Wärmeerzeugung von Kraft- und Heizwerken und Raffinerien[4].
3. Im dritten Schritt werden die THG-Minderungsziele des Klimaschutzplans in die Minderung fossiler Energie umgerechnet. Dafür wurden die THG-Ziele (Millionen Tonnen CO2-Äquivalent) in fossile Energiereduktion (TWh Endenergie) konvertiert und somit berechnet, wie stark der Verbrauch fossiler Energieträger zurückgehen muss, um die Klimaschutzziele 2030 zu erreichen.
4. Im vierten Schritt wurde berechnet, wie der Verbrauch fossiler Energieträger gesenkt werden kann. Dafür wurden die folgenden zwei Optionen berücksichtigt:

   Option 1: Durch ambitionierte Effizienzmaßnahmen wird der Endenergiebedarf im Wärme- und Verkehrssektor gesenkt.

   Option 2: Der Anteil Erneuerbarer Energien wird erhöht, um fossile Energien zu ersetzen. Dafür werden zuerst ambitionierte EE-Potenziale von Solarwärme, Bioenergie, Umweltwärme, Geothermie und Elektromobilität ausgeschöpft. Es wird berechnet, inwiefern das 2030-Klimaschutzziel mit der Nutzung dieser EE-Potenziale erfüllt werden kann.
5. Dabei ergibt sich, dass auch mit ambitionierter Potenzialausnutzung bis 2030 eine Lücke verbleibt und das 65 %-Minderungsziel nicht erreicht wird. Die Lücke wird im BEE-Szenario 2030 mit national produzierten und importierten synthetischen Gasen und Flüssigkeiten (Power to Gas, Power to Liquids) geschlossen (5. Schritt). Eine weitere Option, um die verbleibende Lücke zu füllen, wäre der Import von Strom und Bioenergie.

4 Öko-Institut e.V. (2017): Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO2-Emissionen. Version von 2017

Durch die Sektorenkopplung, insbesondere die PtX-Erzeugung, die Elektromobilität und die Wärmepumpen, wächst der Stromverbrauch in Deutschland. Im BEE-Szenario werden diese zusätzlichen Verbraucher bei der Berechnung des gesamten Stromverbrauchs bis 2030 berücksichtigt. Darüber hinaus werden die Entwicklung des klassischen Stromverbrauchs, des Eigenverbrauchs und der Netzverluste kalkuliert.

Das BEE-Szenario stellt eine rein bilanzielle Betrachtung dar, die Energieverbräuche und -erzeugung des gesamten Jahres analysiert. Für die Untersuchung der Residuallast wurde eine vereinfachte stündliche Modellierung durchgeführt.

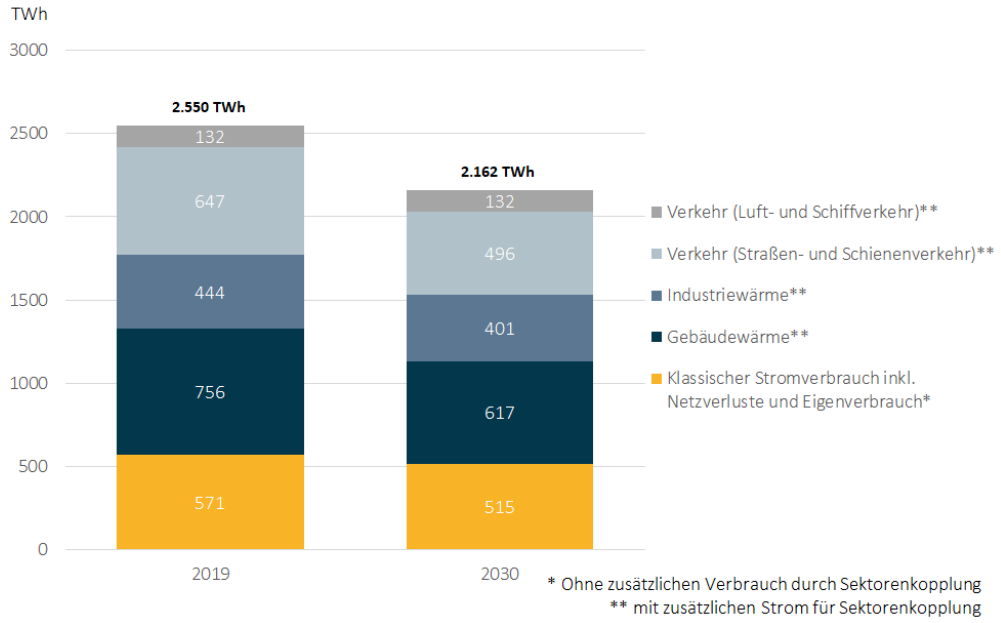
4 Ergebnisse der Szenarienberechnung

Im nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse zum neuen BEE Szenario 2030 vorgestellt.

4.1 Energieverbrauch in allen Sektoren

Im BEE-Szenario 2030 sinkt der folgende Bruttoendenergieverbrauch von 2019 bis 2030 um 15 Prozent von 2550 auf 2162 TWh (siehe Abbildung 2). Damit nimmt der BEE sehr ambitionierte Effizienzentwicklungen bis zum Jahr 2030 an (siehe Tabelle 1).

Abb. 2: Entwicklung des Bruttoendenergieverbrauchs inkl. Raffinerieverbrauch und stoffliche Nutzung von energetischen Rohstoffen



Am stärksten gehen mit 23 Prozent der Verbrauch des nationalen Verkehrs (Straßen-, Schienen-, Luft- und Schiffverkehr) und der Raffinerien im Zeitraum von 2019 bis 2030 zurück. Mit einem Anteil von minus 18 Prozent setzt die Abnahme der Gebäudewärme, dem größten Endenergieverbraucher, ebenfalls sehr erfolgreiche Gebäudesanierungsmaßnahmen voraus. Der Bruttostromverbrauch und Industriewärmebedarf sinken um je 10 Prozent, während der internationale Flugverkehr auf einem gleichen Niveau bleibt. Die Annahmen für den jährlichen Rückgang des Energieverbrauchs basieren auf dem Klimaschutzszenario 95 des Umweltbundesamtes (Studie des Ökoinstituts & Fraunhofer ISI 2015), der Agora-Energiewende und der Klimaschutzstudie des BDI[5].

Der Vergleich mit der Entwicklung der letzten Jahre 2014-2019 verdeutlicht, wie ambitioniert die Effizienzannahmen im BEE-Szenario sind (siehe Tabelle 1). In den vergangenen Jahren ist vor der Corona-Pandemie nur der Stromverbrauch zurückgegangen (durchschnittlich -0,5 % pro Jahr). Die anderen Sektorenverbräuche sind dagegen sogar mit 0,6 bis 1,2 %/a gestiegen. Bislang reichten die Effizienzmaßnahmen damit im Wärme- und Verkehrssektor noch nicht einmal aus, um den zusätzlichen Energieverbrauch durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum zu kompensieren. Für das Erreichen der Effizienzziele im BEE-Szenario ist daher eine deutliche Verbesserung der Effizienz erforderlich. Die BEE-Annahmen stellen somit die Best-Case-Entwicklung des Energieverbrauchs dar.

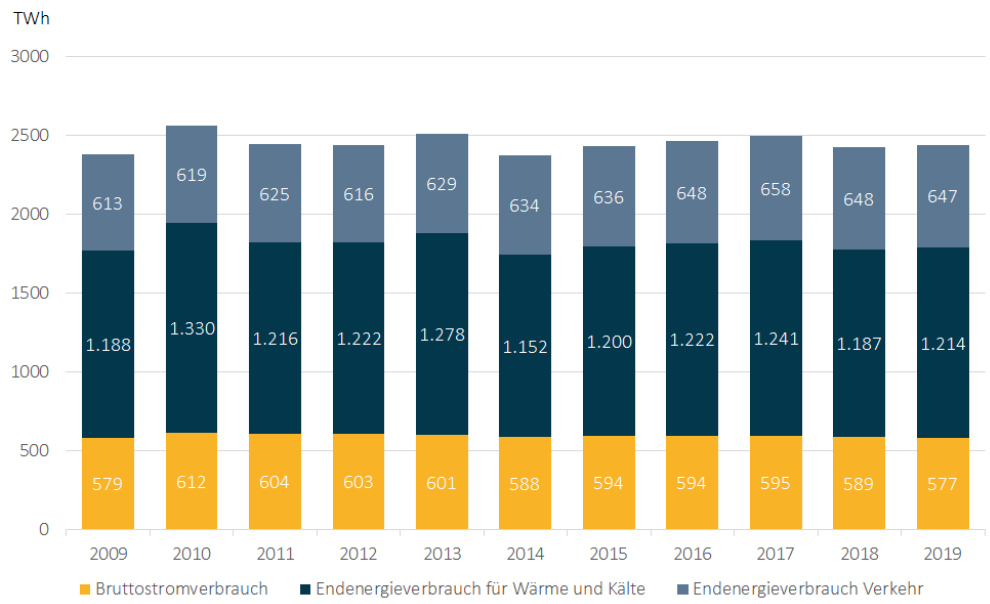
Tab. 1: Übersicht der realen Effizienzsteigerung (2014 – 2019) gegenüber den Szenarioannahmen

			Zum Vergleich
	Szenario 2019-2030		**2014-2019**
	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Konventioneller Stromverbrauch	-1,0 %	-10 %	-0,5 %
Gebäude	-2,0 %	-18 %	1,2 %
Nationaler Verkehr	-2,4 %	-23 %	0,7 %
Internationaler Verkehr	0,0 %	0 %	0,7 %
Industrie	-1,0 %	-10 %	0,7 %
Raffinerien	-2,4 %	-23 %	0,6 %
Gesamter Bruttoendenergieverbrauch	-1,5 %	-15 %	0,6 %

5 Ökoinstitut & Fraunhofer ISI 2015; Agora-Energiewende 2018; BDI 2018.

In den vergangenen zehn Jahren hat sich der gesamte Endenergieverbrauch auf etwa gleich hohem Niveau bewegt, wie die Abbildung 3 zeigt.

Abb. 3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den Sektoren (nach EU-RL, ohne Luft- und Schiffsverkehr)



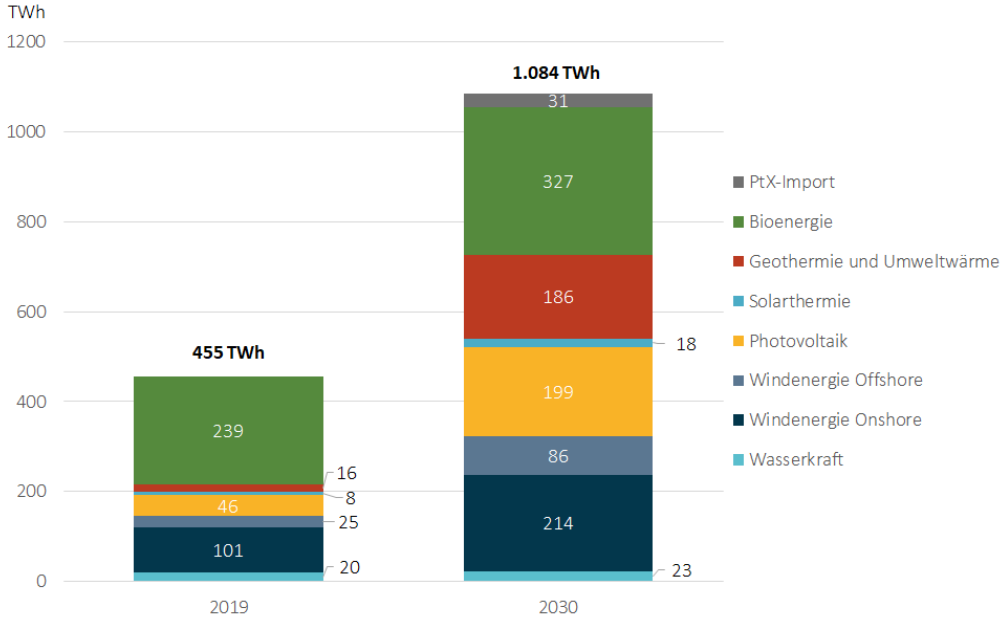
4.2 Gesamte Entwicklung der Erneuerbarer Energien

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Ergebnisse der Untersuchungsfrage des BEE-Szenarios sektorenübergreifend erläutert, und folglich errechnet wie stark die Erzeugung Erneuerbarer Energien für eine THG-Minderung von 65 Prozent bis 2030 ansteigen muss.

Die Berechnungen des BEE zeigen, dass sich die Erneuerbaren Energien trotz sehr ambitionierter Effizienzmaßnahmen bis zum Jahr 2030 um den Faktor 2,4 von 455 TWh (2019) auf 1084 TWh steigen müssen (siehe Abbildung 4). Zu dieser EE-Nutzung kommen noch PtX bzw. Bioenergie für den internationalen Luft- und Schiffsverkehr und für die chemische Grundstoffindustrie hinzu (s. Kapitel 6).

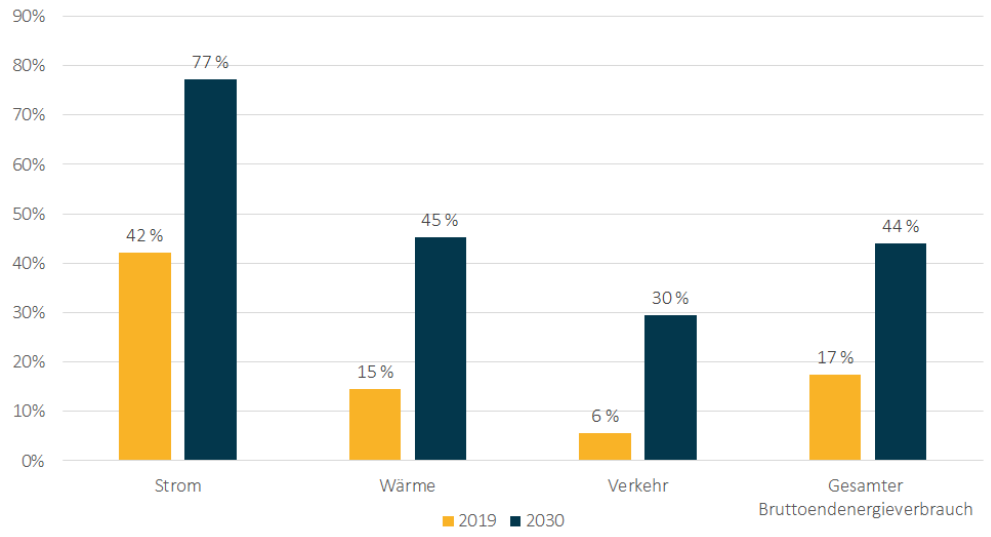
Der Anteil der Erneuerbaren Energien am gesamten Bruttoendenergieverbrauch erhöht sich um mehr als das Doppelte entsprechend von 17 auf 44 Prozent (siehe Abbildung 5). Im Wärme- und Verkehrssektor sind die Anteilssteigerungen von 15 auf 45 Prozent bzw. von 6 auf 30 Prozent besonders signifikant. Der Anteil Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch wächst von 42 auf 77 Prozent.

Abb. 4: Erneuerbare Energien in allen Sektoren* in 2019 und 2030



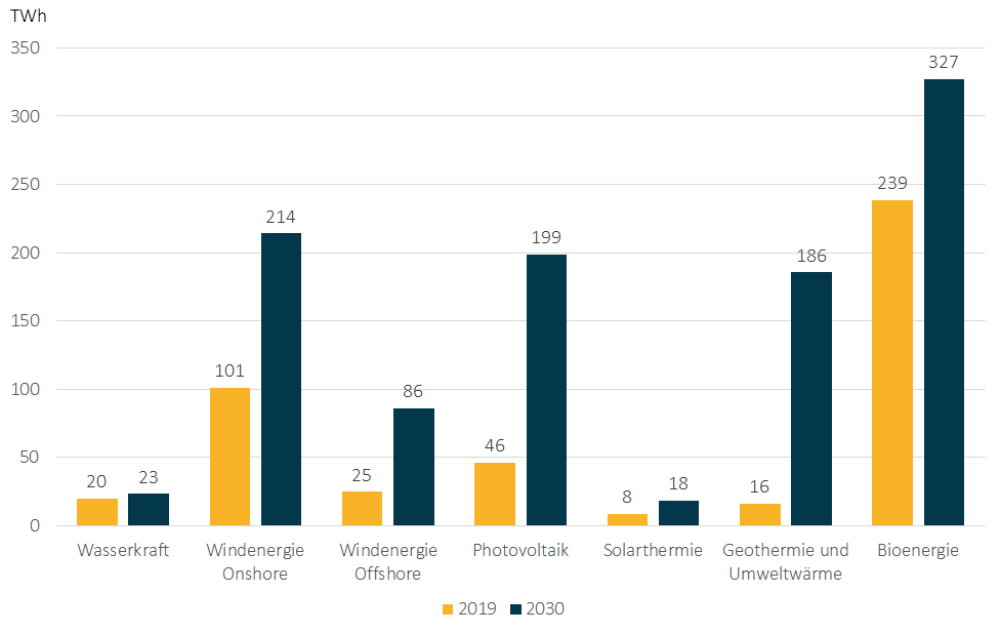
* ohne internationalen Luft- und Schiffsverkehr und stoffliche Nutzung für die chemische Industrie

Abb. 5: Entwicklung der Erneuerbaren Energien in allen Sektoren in 2019 und 2030



In Abbildung 6 sind die absoluten Endenergiemengen (in TWh) der Erneuerbaren Energien in allen Sektoren dargestellt. Bioenergie leistet auch im Jahr 2030 mit 327 TWh den wichtigsten Beitrag für die gesamte EE-Produktion (2019: 239 TWh). Danach folgen die drei Säulen Windenergie Onshore (214 TWh) Photovoltaik (199 TWh), und Geothermie und Umweltwärme (186 TWh). Windenergie Offshore erzeugt 86 TWh, Wasserkraft 23 TWh und Solarthermie 18 TWh. Von allen EE-Sparten wächst der Bereich Geothermie und Umweltwärme am stärksten, gefolgt von Photovoltaik und Windenergie Offshore.

Abb. 6: Gesamte Endenergie Erneuerbarer Energien in allen Sektoren in 2019 und 2030



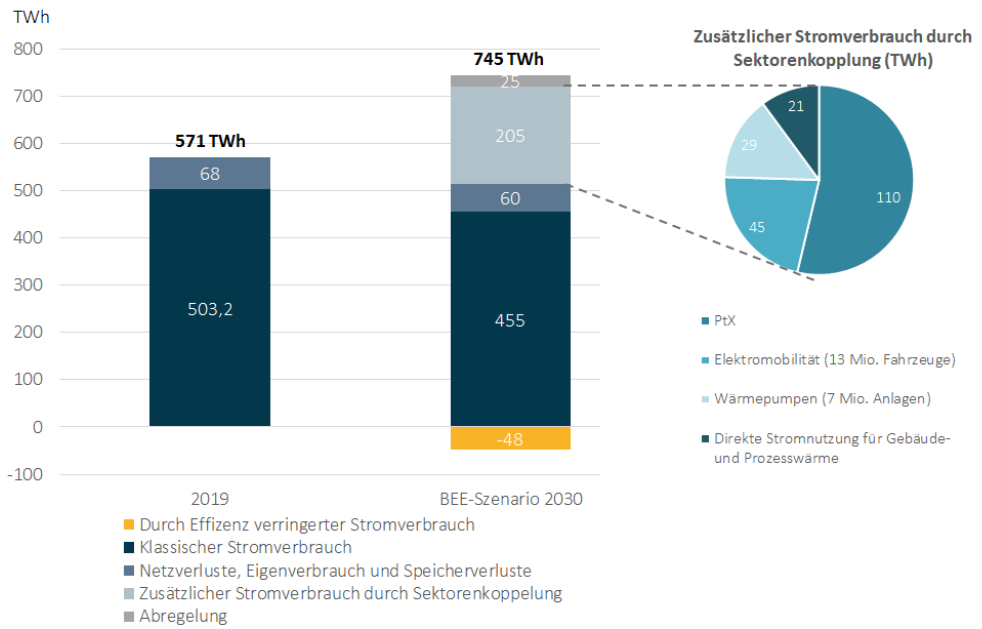
Wie sich die einzelnen Sparten der Erneuerbaren Energien im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor bis 2030 entwickeln, wird in den Kapiteln 4.3, 4.6 und 4.7 näher erläutert.

4.3 Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Stromsektor

Die Szenarioberechnung des BEE zeigt, dass sich der Bruttostromverbrauch sehr deutlich von heute 571 TWh auf 745 TWh im Jahr 2030 erhöhen wird (siehe Abbildung 7). Der klassische Stromverbrauch nimmt zwar aufgrund sehr ambitionierter Effizienzannahmen um 48 TWh ab. Die Netzverluste, der Eigenverbrauch der Kraftwerke und Speicherverluste verringern sich insgesamt um 8 TWh (siehe nächstes Kapitel). Der zusätzliche Strombedarf von 205 TWh im Wärme- und Verkehrssektor für Wärmepumpen, Elektromobilität und PtX überkompensiert jedoch diesen Rückgang, sodass der gesamte Bruttostromverbrauch bis 2030 um rund 174 TWh steigt. PtX und Elektromobilität haben mit 110 TWh bzw. 45 TWh den größten Anteil am zusätzlichen Stromverbrauch.

Wärmepumpen erhöhen den Strombedarf um 29 TWh. Für die direkte Stromnutzung für Prozesswärme kommen 21 TWh hinzu.

Abb. 7: Stromsektor: Entwicklung des Stromverbrauchs bis 2030 (konventionell + zusätzlich)

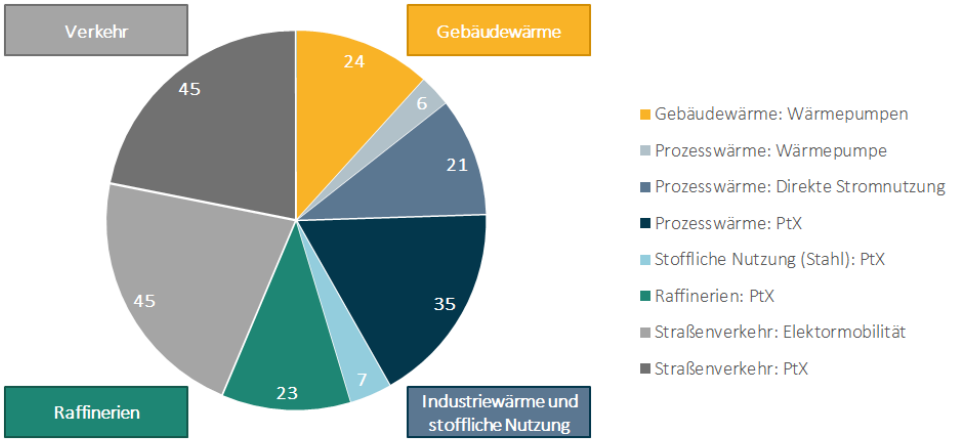


Erläuterung der Annahmen für Netzverluste und Eigenverbrauch im BEE-Szenario 2030

Im BEE-Szenario gehen die Netzverluste und der Eigenverbrauch der Kraftwerke von heute 68 TWh auf 60 TWh bis zum Jahr 2030 zurück. Der BEE nimmt an, dass der heutige Eigenverbrauch der Kraftwerke und sonstiger Umwandlungsverbrauch von etwa 37 TWh aufgrund des Atom- und Kohleausstiegs bis 2030 sehr deutlich sinkt. Dieser Rückgang wird zum Teil durch Speicherverluste für Strom aus Windenergie und Photovoltaik kompensiert, die im BEE-Szenario in der Verbrauchskategorie „Netzverluste und der Eigenverbrauch“ enthalten, aber nicht gesondert aufgelistet worden, sind. Durch die Sektorenkopplung und flexible Stromnachfrager wird dieser Speicherbedarf zwar deutlich verringert, dennoch ist die Speicherung von Strommengen über mehrere Monate erforderlich, die zu relevanten Verlusten, z.B. auch durch die Methanisierung und spätere Wiederverstromung, führt. Zudem nimmt der BEE einen moderaten Anstieg der Netzverluste aufgrund des zunehmenden überregionalen Stromtransportes an.

Die Abbildung 8 stellt den zusätzlichen Stromverbrauch der einzelnen Sektoren dar und zeigt, dass die größten Strommengen in den Verkehrssektor fließen (jeweils 45 TWh für die Elektromobilität und 45 TWh für die PtX-Erzeugung). Der Industriesektor folgt mit 70 TWh Strom, wovon die PtX-Erzeugung mit 35 TWh und die direkte Stromnutzung mit 21 TWh die größten Verbraucher sind. Die Gebäudewärme und die Raffinerien verbrauchen zusätzlich 24 TWh bzw. 23 TWh.

Abb. 8: Zusätzlicher Stromverbrauch für die Sektorenkopplung in TWh



Der zusätzliche Stromverbrauch durch die Sektorenkopplung wird vor allem durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Effizienzentwicklung im Wärme- und Verkehrssektor
- Bioenergie im Wärme- und Verkehrssektor
- Entwicklung der Wärmepumpen
- Solarthermie
- Elektromobilität

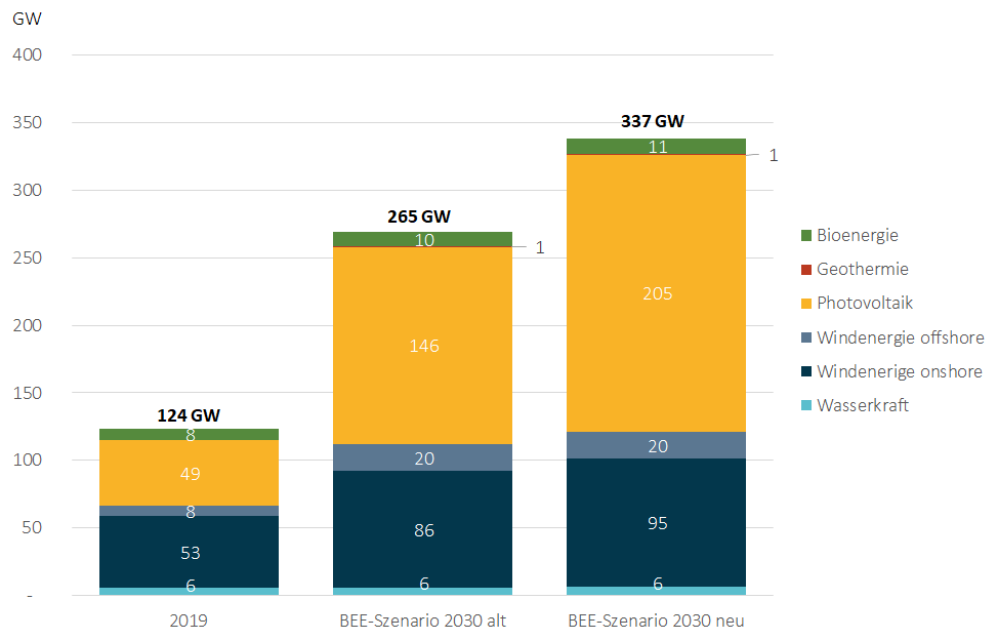
Die Höhe dieser Faktoren bestimmt den direkten Strombedarf (d.h. für Wärmepumpen und Elektromobilität) sowie den Strombedarf für die PtX-Erzeugung. Hierfür gilt die vereinfachte Rechenformel: 1 TWh Strom für Elektromobilität und Wärmepumpen entspricht der sechsfachen Strommenge für PtX.

4.4 Entwicklung der EE-Stromerzeugung

Die BEE-Untersuchung ergibt, dass gegenüber dem 2019-Szenario ein deutlich höherer Ausbau der Windenergie an Land und Photovoltaik möglich sind (siehe Abbildung 9). Daher steigt die installierte Leistung der Onshore-Windenergieanlagen bis 2030 im Szenario-Update auf 95 GW gegenüber 86 GW in der bisherigen Version. Die installierte Leistung bei der Photovoltaik nimmt auf 205 GW zu (2019-Szenario 146 GW). Die Offshore-Windenergie weist ebenfalls höhere Potenziale auf, die aber aufgrund der langen Planungszeiträume vor 2030 noch nicht erschlossen werden können.

Deswegen bleibt im BEE-Update der Offshore-Ausbau mit 20 GW bis 2030 im Vergleich zum 2019-Szenario unverändert. Die anderen EE-Sparten (Bioenergie, Geothermie und Wasserkraft) bleiben ebenfalls konstant. Die gesamte EE-Leistung nimmt im Zeitraum von 2019 bis 2030 von 124 GW auf 337 GW zu, was 72 GW mehr als im bisherigen Szenario darstellt.

Abb. 9: Installierte Leistung Erneuerbarer Energien in 2030



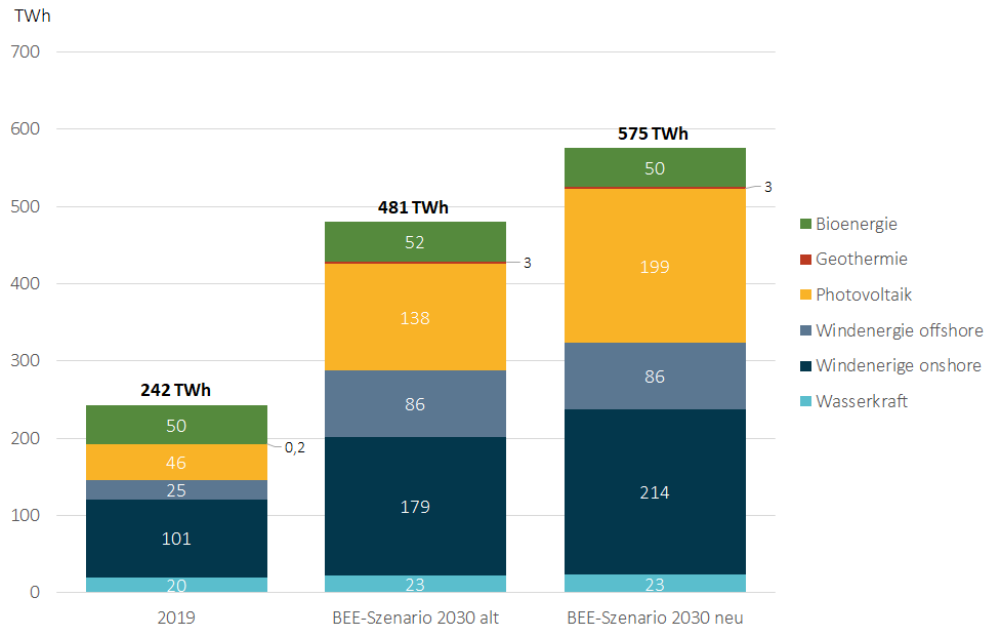
Für die Berechnung der Stromerzeugung wurde die folgenden durchschnittlichen Volllaststunden der Erneuerbaren Energien Anlagen angenommen (siehe Tabelle 2), die im Jahr 2030 in Betrieb gehen. Für die Berechnung der Stromerzeugung im Jahr 2030 wurde berücksichtigt, dass die Neuanlagen des 2030-Jahrgangs im Jahr der Inbetriebnahme nur einen Teil ihrer Volllaststunden erbringen.

Tab. 2: Übersicht über die angenommenen Volllaststunden der einzelnen Erneuerbaren Energien

Technologie	Volllaststunden
Wasserkraft	3.700
Windenergie Onshore	3.000
Windenergie Offshore	4.600
Photovoltaik	1.000
Geothermie	4.500
Bioenergie	4.200

Dadurch steigt die Stromerzeugung auf insgesamt 575 TWh gegenüber 242 TWh im Jahr 2019 (siehe Abbildung 10). Onshore-Windenergie leistet dazu mit 214 TWh den größten Beitrag gefolgt von Photovoltaik mit 199 TWh und Windenergie-Offshore 86 TWh. Die Stromerzeugung der Bioenergie bleibt gegenüber 2019 mit 50 TWh konstant. Der Wasserkraftstrom wächst leicht auf 23 TWh. Strom aus Geothermie-Anlagen tragen mit 3 TWh zur gesamten EE-Erzeugung bei.

Abb. 10: Stromerzeugung Erneuerbarer Energien in 2030



Die fossile Stromerzeugung fällt durch die wachsende Erneuerbare Erzeugung sehr deutlich von 2019 bis 2030 von 329 TWh (exkl. Stromexporte[6]) auf 169 TWh (siehe Abbildung 11). Das sind 90 TWh weniger fossile Erzeugung als im 2019-Szenario des BEE. Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch nimmt dadurch auf 77 Prozent zu (siehe Abbildung 12).

6 Dabei bleiben fossile Strommengen nicht berücksichtigt die heute bilanziell noch dem Export zur Verfügung stehen.

Abb. 11: Stromerzeugung aus erneuerbaren und fossilen Energien in 2030

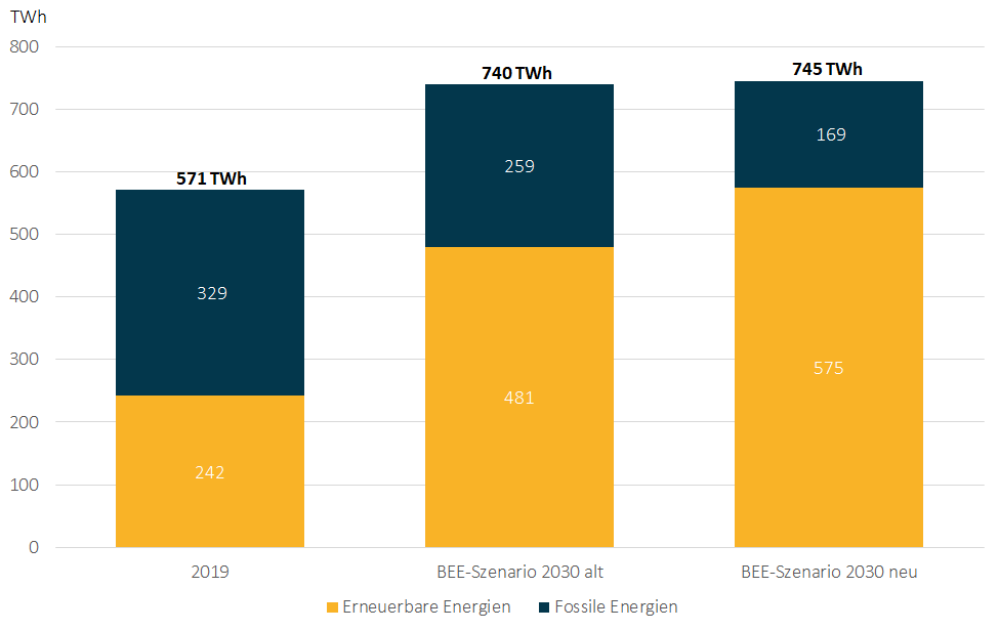
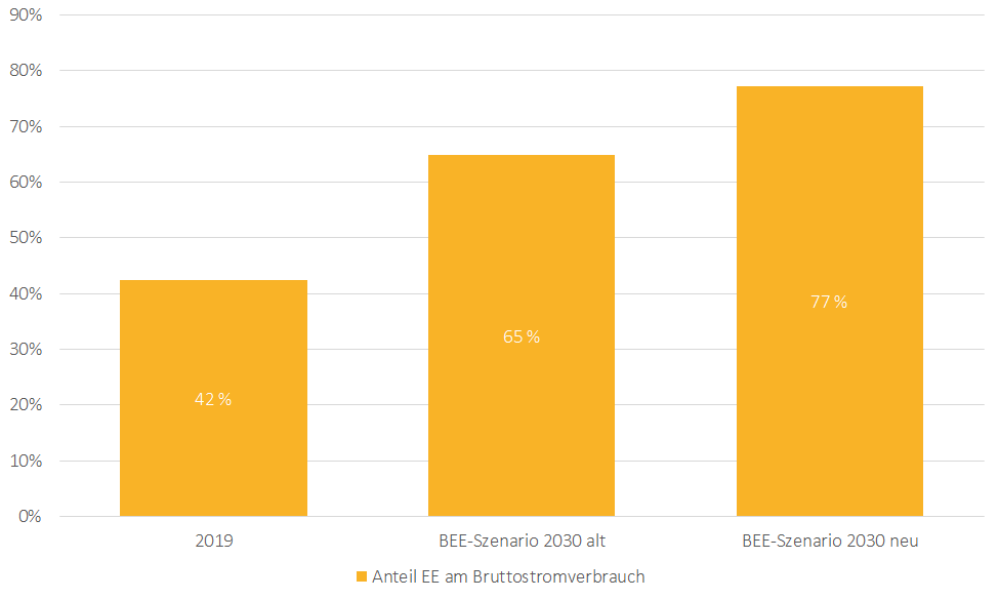


Abb. 12: Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in 2019 und 2030 (altes und neues BEE Szenario)



4.5 Entwicklung der jährlichen EE-Leistung im Stromsektor

Die Abbildung 13 zeigt die jährlichen Brutto-Installationen, um die im vorherigen Kapitel aufgelistete kumulierte EE-Leistung bis 2030 zu erreichen. So ist für Photovoltaik eine Steigerung der jährlichen installierten Leistung von knapp 5.000 MW auf 16.000 MW bis 2025 erforderlich. Bis 2030 ist eine weitere Zunahme auf jährlich 20.000 MW pro Jahr notwendig. Der Zubau bei Onshore-Windenergieanlagen muss bis 2025 auf 7.000 MW und bis 2030 auf 8.000 MW pro Jahr wachsen. Die Zubauwerte der Offshore-Windenergie entsprechen dem Flächenentwicklungsplan (FEP) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), das den Großteil der Netzanbindungen in den letzten beiden Jahren dieser Dekade konzentriert. So sollen bis zum Jahr 2029 2900 MW und 2030 4000 MW ans Stromnetz angeschlossen werden. Der jährliche Bioenergiezubau steigt bis 2025 auf 700 MW und bis 2030 auf 900 MW. Die Installation von Wasserkraft- und Geothermie-Anlagen nimmt bis 2030 auf 100 MW pro Jahr zu.

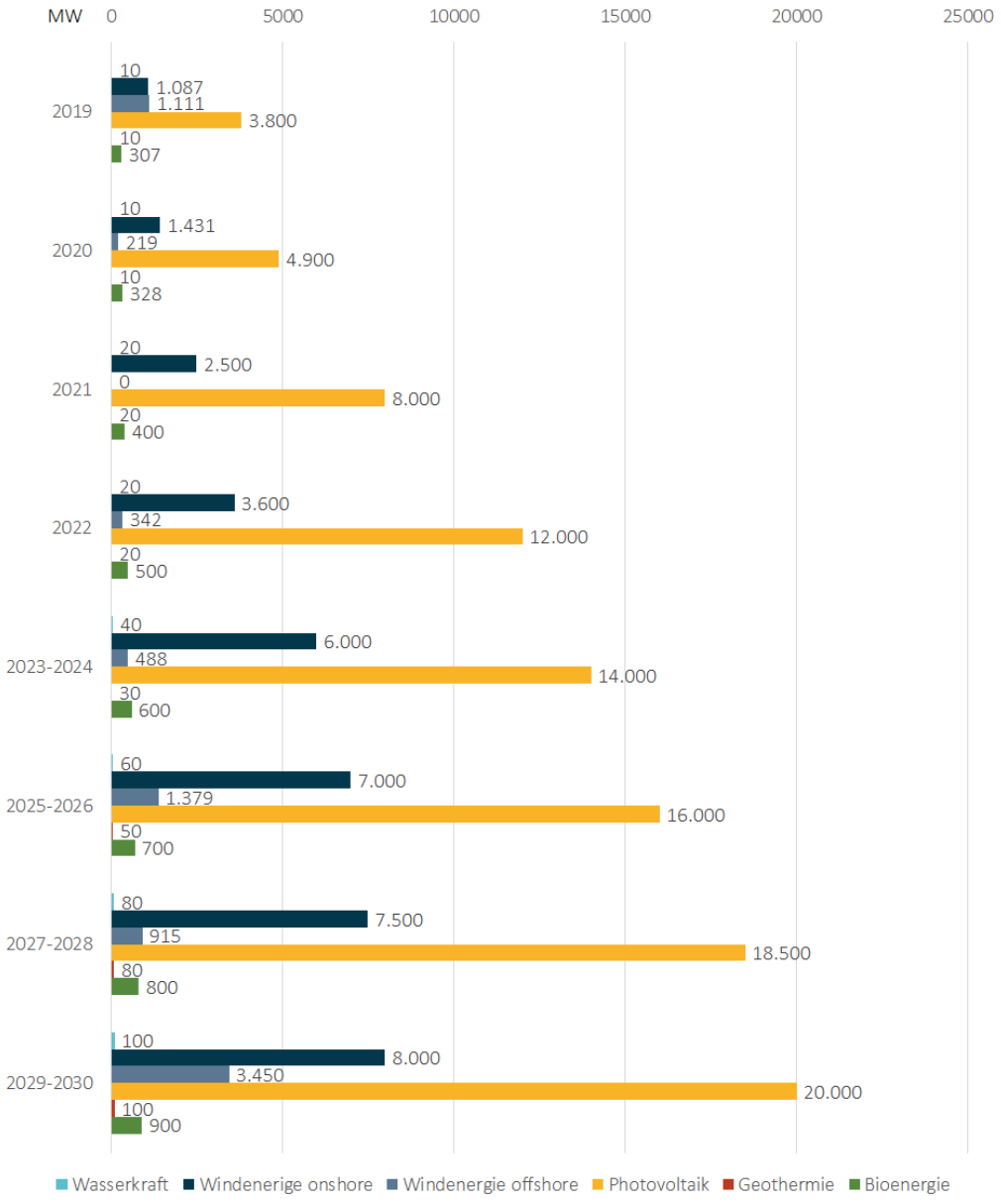
Die erforderliche, jährlich installierte Leistung im Zeitraum von 2021 bis 2030 muss in einem weiteren Schritt auf die jährliche Ausschreibungsmenge umgerechnet werden. Dafür müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, wie z.B.

- die Nichterfüllungsmenge der jährlich ausgeschriebenen Leistung
- die mehrjährigen Planungs- und Realisierungszeiten
- die installierte Leistung, die in den Jahren nach 2030 (nach dem diese aus der Systematik des EEG ausscheiden) ggf. rückgebaut wird
- Anteil der Ausschreibungsmenge an der gesamten jährlich installierten Leistung

Durch diese Anpassung kann die Ausschreibungsmenge zum Teil deutlich von der jährlich installierten Leistung abweichen, z.B. müssen rund 1.000 MW Bioenergie pro Jahr im Zeitraum von 2021 bis 2030 ausgeschrieben werden, um wegen der zwei- bis dreijährigen Planungs- und Realisierungszeit auch den Rückbau von Altanlagen nach 2030 zu kompensieren. Ähnliches ist bei den anderen Technologien zu beachten.

An der Ausschreibung der Bioenergie-Anlagen werden, wie bereits heute, auch Bestandsanlagen teilnehmen. Damit umfassen die Werte in der Abbildung 13 auch den Weiterbetrieb von Bestandsanlagen durch Teilnahme an der Ausschreibung.

Abb. 13: Jährlich installierte Brutto-Leistung Neubau (für 2023-2030 im 2-Jahresdurchschnitt)



4.6 Wärmesektor im BEE-Szenario

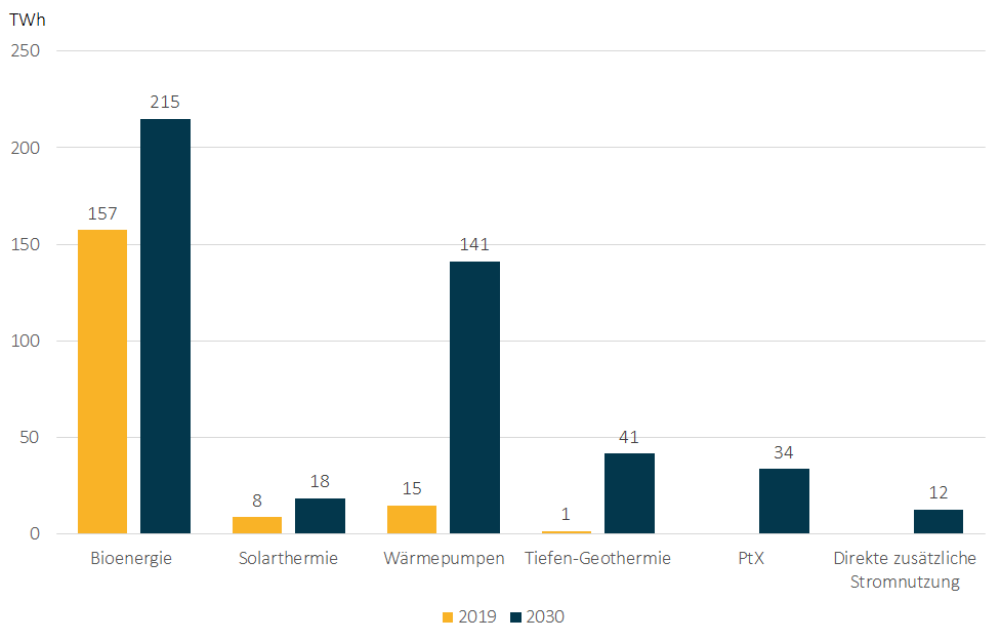
Wie in der Methodik (siehe Kapitel 3) beschrieben, waren mehrere Zwischenschritte erforderlich, um die beschriebenen Szenario-Ergebnisse zu berechnen, insbesondere die Modellierung des zusätzlichen Strombedarfs im Wärme- und Verkehrssektor.

Im BEE-Szenario 2030 wurde eine exemplarische Verteilung der Bioenergie- und PtX-Mengen im Wärme- und Verkehrssektor angenommen (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15). Andere Allokationsvarianten und Nutzungspfade sind möglich.

Erneuerbare Energien im Wärmesektor

Die Wärmebereitstellung durch Umweltwärme und Geothermie (v.a. Wärmepumpen) steigt im BEE-Szenario 2030 im Vergleich zu den anderen Sparten am stärksten und nimmt im Zeitraum von 2019 bis 2030 von 15 auf 141 TWh zu (siehe Abbildung 14). Davon entfallen 119 TWh auf die Raumwärme sowie 22 TWh auf die industrielle und gewerbliche Prozesswärme. 119 TWh Raumwärme entsprechen einem Wärmepumpenbestand von rund 7 Mio. Anlagen (inkl. Großwärmepumpen für Nah- und Fernwärme). Dafür müssten sich die heutigen jährlichen Absatzzahlen bis zum Jahr 2030 nahezu verzehnfachen.

Abb. 14: Erneuerbare Energien im Wärmesektor in 2019 und 2030



Die Wärmebereistellung aus Solarthermie wächst ebenfalls sehr deutlich von heute etwa 8 auf 18 TWh im Jahr 2030, davon entfallen 16 TWh auf Gebäudewärme und 2 TWh auf industrielle und gewerbliche Prozesswärme. Für 18 TWh Solarthermie ist ein Ausbau von heute 21 Mio. m² auf rund 55 Mio. m² Kollektorfläche erforderlich. Dafür müsste die heutige jährlich installierte Kollektorfläche bis zum Jahr 2030 etwa um den Faktor 5 bis 6 wachsen.

Die Bioenergiewärme nimmt im Zeitraum von 2019 bis 2030 von 157 auf 215 TWh zu. Rund drei Viertel der zusätzlichen Bioenergie werden für die Gebäudewärme und etwa ein Viertel für die industrielle und gewerbliche Prozesswärme genutzt.

Im Wärmesektor sind bereits im Jahr 2030 34 TWh PtX für die Erzeugung von Prozesswärme in der Industrie für die Einhaltung der Klimaziele erforderlich. Weitere 18 TWh Wasserstoff werden in den Raffinerien benötigt, die hier getrennt vom Wärmesektor erfasst werden, da die Raffinerien dem Umwandlungssektor angehören. Wie bereits beschrieben, ist die Allokation von Bioenergie und PtX nur exemplarisch. Für das Jahr 2030 werden unter einer konservativen Betrachtung noch keine relevanten Mengen von Power-to-Gas (PtG) im Bereich des privaten Wärmeverbrauchs angenommen.

Mit der direkten Stromnutzung ist die Elektrifizierung von Prozesswärmeerzeugung der Industrie gemeint. Es werden dafür vor allem Steamcracker der chemischen Industrie auf Strom umgestellt und dadurch Erdgas und Naphtha ersetzt.

Die Tiefe-Geothermie nutzt geothermale Reservoire, die mehr als 400 Meter tief unter Geländeoberkante erschlossen werden. Die in Tiefen bis zu 5.000 Metern vorhandene Wärmeenergie lässt sich mittels verschiedener technischer Verfahren zur Energiegewinnung nutzen – zur Wärmeversorgung, aber auch zur Stromerzeugung. Die Tiefen-Geothermie wird vor allem für die Einspeisung in Fern- und Nahwärmenetze genutzt und kann so gesamte Stadtteile mit Wärme versorgen.

4.7 Verkehrssektor im BEE-Szenario

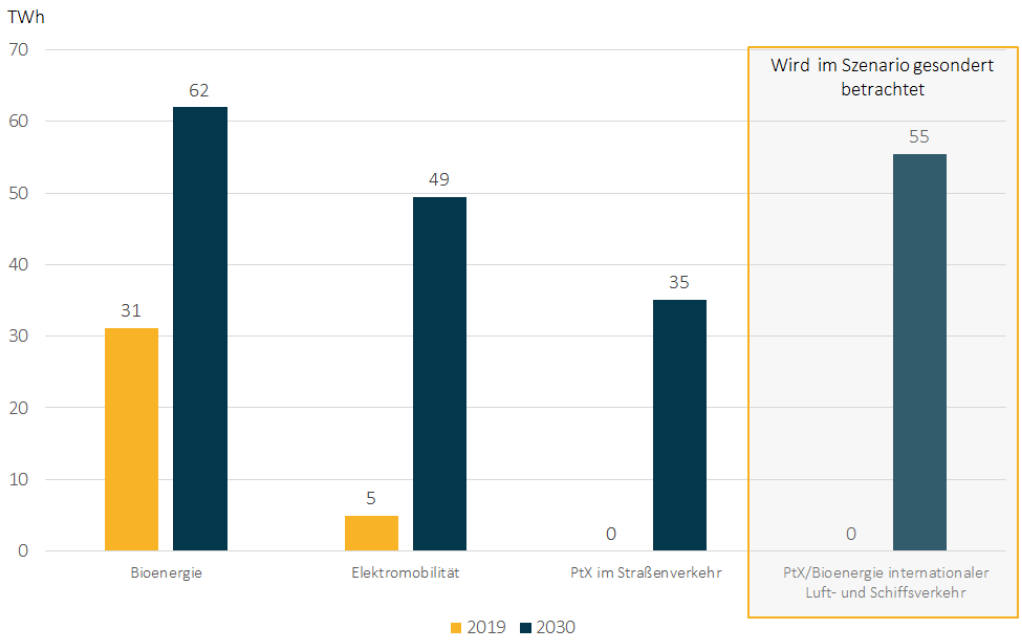
Im Verkehrssektor nehmen sowohl Bioenergie als auch Elektromobilität sehr deutlich zu (siehe Abbildung 15). Die Nutzung von Bioenergie im inländischen Verkehr (v.a. Straßenverkehr) verdoppelt sich von heute 31 auf 62 TWh im Jahr 2030.

Die Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien wächst von 5 auf 49 TWh. Der Anstieg ist vor allem auf die Bestandsentwicklung von Elektrofahrzeugen zurückzuführen, die bis zum Jahr 2030 auf 13 Mio. Fahrzeuge zunimmt (siehe Tabelle 3). Durch die E-Mobilität werden 2030 134 TWh fossile Kraftstoffe verdrängt.

PtX wird auch im Straßenverkehr bereits mit 35 TWh im Jahr 2030 in relevanten Mengen benötigt. Wie im Wärmesektor ist die Allokation von Bioenergie und PtX nur beispielhaft. PtX könnte z.B. in größeren Mengen im Straßenverkehr und Bioenergie stattdessen auch im Flugverkehr genutzt werden.

Wie im Kapitel 4.9 beschrieben, werden im Szenario-Update der internationale Luft- und Schiffsverkehr gesondert erfasst. Um die THG-Emissionen dieses Sektors im gleichen Umfang wie den inländischen Verkehr um rund 40 Prozent gegenüber 2019 zu reduzieren, ist die Nutzung von 55 TWh PtX bzw. Bioenergie notwendig.

Abb. 15: Erneuerbare Energien im Verkehrssektor in 2019 und 2030



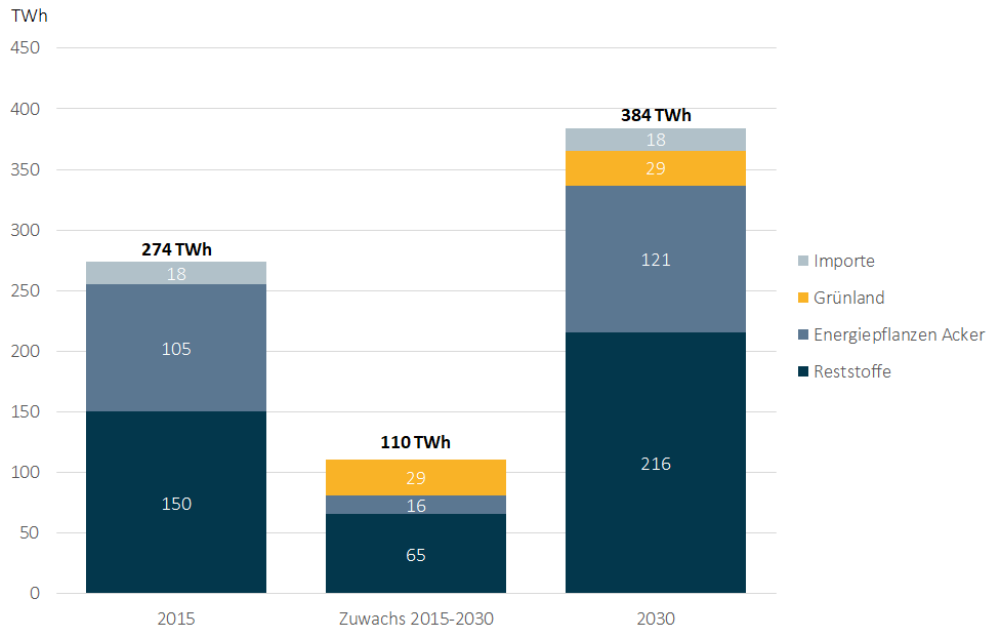
Tab. 3: Berechnung des Stromverbrauchs der Elektromobilität 2030

E-PKW		
Anzahl	Mio.	12
Fahrleistung pro Jahr	Km	13.602
Verbrauch pro 100 km	kWh	22,0
Stromverbrauch gesamt	**TWh**	**35,9**
Leichte LKW		
Anzahl	Mio.	0,9
Fahrleistung pro Jahr	Km	19.343
Verbrauch	kWh	28,10
Stromverbrauch gesamt	**TWh**	**4,9**
Schwere LKW		
Anzahl	Mio.	0,06
Fahrleistung pro Jahr gesamt	Km	93.136
Fahrleistung pro Jahr elektrisch Anteil	%	50
Fahrleistung pro Jahr elektrisch	Km	46.568
Verbrauch pro 100 km	kWh	147,34
Stromverbrauch gesamt	**TWh**	**4,12**

4.8 Potenzialannahmen für die Erneuerbaren Energien

Für alle Erneuerbaren Energien wurden im BEE-Szenario 2030 sehr ambitionierte Potenzialannahmen getroffen. Die jährliche Installation von Solarthermie und Wärmepumpen muss sehr deutlich gesteigert werden. Die Wärmeerzeugung dieser Technologien entspricht der oberen Bandbreite der Ergebnisse von Meta-Analysen und Literaturrecherchen[7]. Für die Bioenergieerzeugung ist die Ausnutzung der Hälfte der Reststoffpotenziale, eine Ausweitung der Nawaro-Fläche von heute 2,7 auf 3,4 Mio. ha und eine Nutzung von etwa 25 Prozent der Grünlandfläche (1,2 Mio. ha) erforderlich (siehe Abbildung 16).

Abb. 16: Bioenergie - Primärenergienutzung in 2015 und 2030



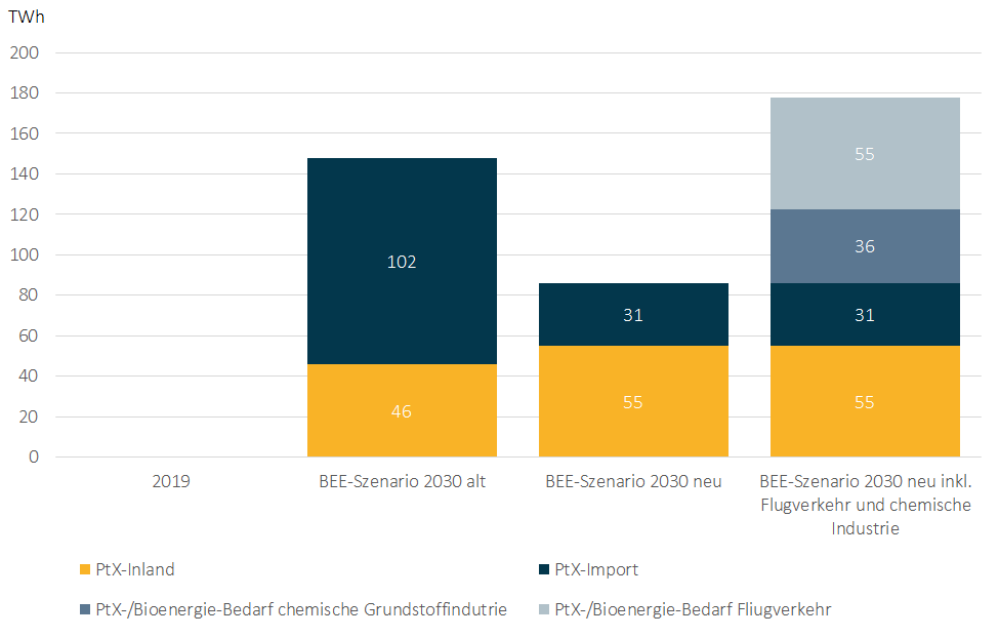
7 Agentur für Erneuerbare Energien (2017): Metaanalyse. Energiewende im Wärmesektor.
BINE Informationsdienst (2017): Solare Prozesswärme
Agora Energiewende (2017): Foliensatz Wärmewende 230.

4.9 PtX-Nutzung im BEE-Szenario

Wie bereits in Kapitel beschrieben werden im BEE-Szenario für das Erfüllen des 65 %-THG-Minderungsziel zunächst die Potenziale von ambitionierten Effizienzmaßnahmen und Solarwärme, Bioenergie, Umweltwärme, Geothermie und Elektromobilität ausgeschöpft.

Die verbleibende Lücke wird mit PtX (Power to Gas, Power to Liquids, Power to heat) geschlossen. Im Update des BEE-Szenarios steigt die inländische PtX-Menge auf 55 TWh gegenüber 46 TWh im 2019-Szenario und folgt damit der Steigerungsrate der EE-Stromerzeugung von 20 Prozent (Update versus 2019-Szenario).

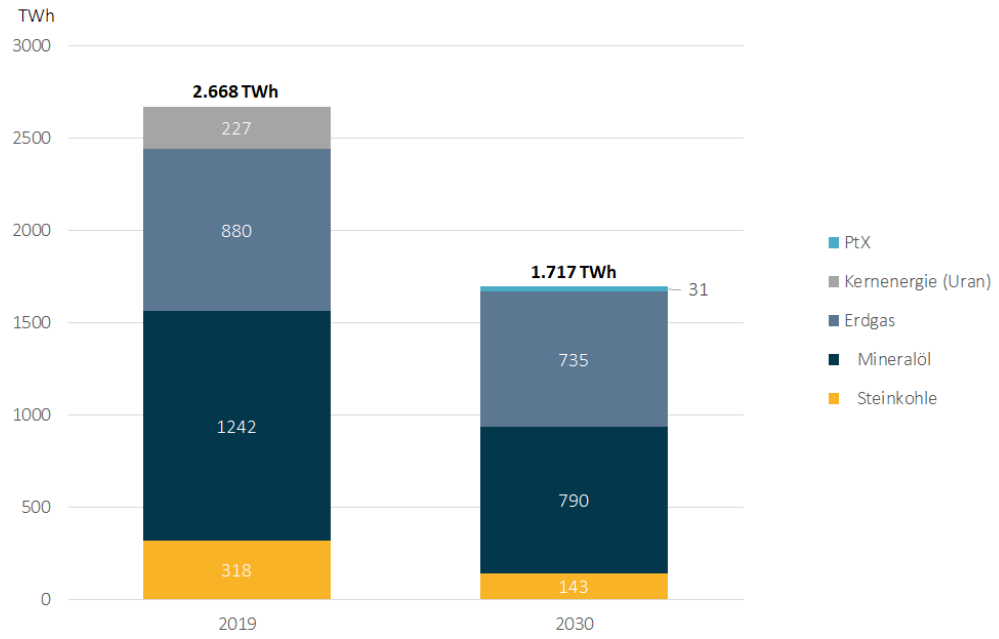
Abb. 17: PtX-Nutzung in 2030



Nach dem Ausschöpfen aller inländischen Potenziale wird der restliche PtX-Bedarf mit Importen gedeckt. Im Update des BEE-Szenarios beträgt der PtX-Import 31 TWh für alle Sektoren (siehe Abbildung 17), die im Klimaschutzplan erfasst sind. Für den internationalen Flugverkehr müssen weitere 55 TWh und für die chemische Grundstoffindustrie 36 TWh PtX oder Bioenergie importiert werden. Wie in Kapitel 4.6 erläutert, ist die Verteilung der Bioenergie- und PtX-Mengen im Wärme- und Verkehrssektor exemplarisch, sodass die Erneuerbaren Kraftstoffe für den Flug- und Schiffsverkehr sowohl aus PtX als auch aus Bioenergie stammen können.

Der PtX- bzw. Bioenergiebedarf für die chemische Grundstoffindustrie wird im Kapitel 6 näher erläutert. Die Abbildung 18 zeigt den PtX-Importbedarf der heutigen im Vergleich zu den zukünftigen Importen fossiler Energien und Uran, die von 2668 TWh auf unter 1700 TWh bis 2030 sinken.

Abb. 18: Energieimporte nach Deutschland in 2019 und 2030



Selbst wenn für den internationalen Flugverkehr und die chemische Grundstoffindustrie weitere PtX- oder Bioenergieimporte von etwa 90 TWh hinzukommen, entspricht der gesamte PtX-/Bioenergieimportbedarf mit etwa 120 TWh nur 5 Prozent der heutigen fossilen Importe.
Neben der PtX-Erzeugung mit einem Elektrolyseur kann grüner Wasserstoff auch aus Bioenergie gewonnen werden. Die Gesamtbilanz des Szenarios würde sich dadurch nur geringfügig verändern.

4.10 THG-Minderung: Beitrag der verschiedenen Sparten

Wie in Kapitel 3 beschrieben, werden die Sektorenziele des Klimaschutzplans auf die Endenergiesektoren Strom, Wärme (Gebäude und Industrie) und Verkehr übertragen. Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die Szenario-Ergebnisse für die THG-Minderung der verschiedenen Sektoren. Der Stromsektor hat bisher den größten Beitrag für die Minderung der Treibhausgasemissionen geleistet und bleibt auch bis zum Jahr 2030 der wichtigste Bereich für die Erreichung der Klimaschutzziele. Der Gebäudesektor ist der zweitwichtigste Bereich, Industrie (Prozesswärme) und Verkehr folgen an dritter und vierter Stelle (siehe Tabelle 4).

Abb. 19: THG- Minderung gegenüber 2030 (Energiesektor) für altes und neues BEE Szenario

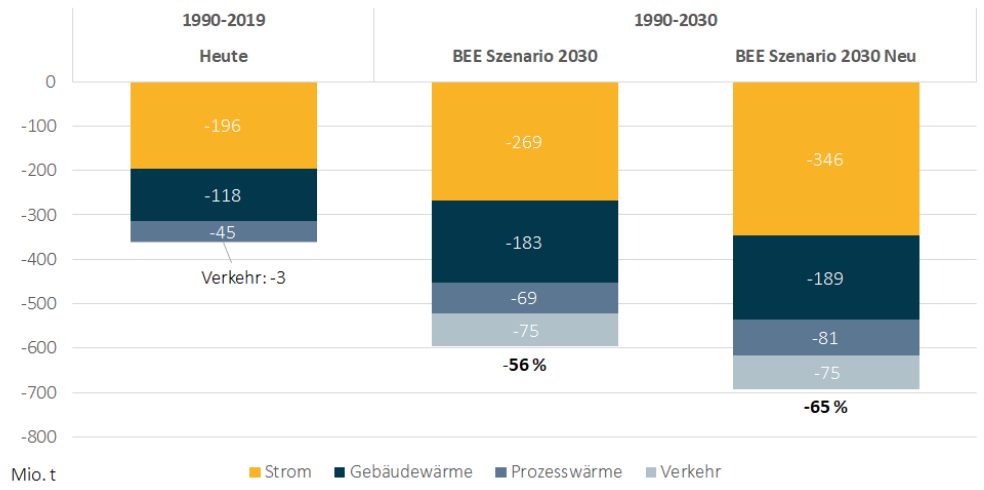
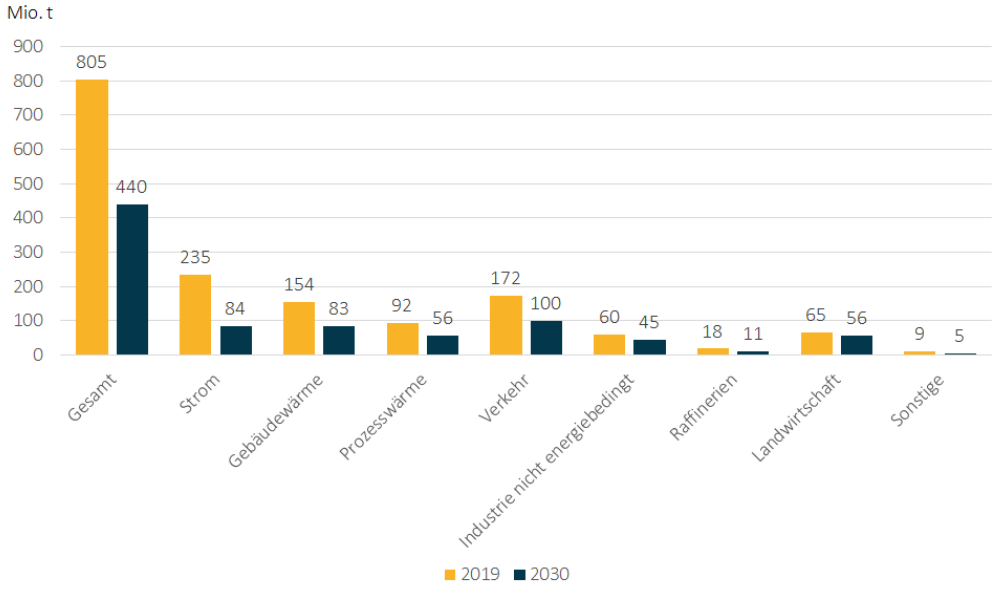


Abb. 20: THG-Emissionen in allen Sektoren in 2019 und 2030



Tab. 4: Übersicht über die prozentuale THG-Minderung zwischen 2019 und 2030 pro Sektor

Gesamt	45 %
Strom	64 %
Gebäudewärme	46 %
Prozesswärme	39 %
Verkehr	42 %

5 Unsicherheiten im Szenario

In einem bilanziellen Ansatz wird annähernd jede potentiell erzeugte Strommenge auch verwendet. Dieser bilanzielle Ansatz liegt dem BEE-Szenario 2030 zugrunde. Der gewählte bilanzielle Ansatz besitzt allerdings gegenüber einer stündlichen Simulation bestimmte Unsicherheiten, welche nachfolgend kurz erläutert werden sollen:

Vor allem bei sehr hohen volatilen Erzeugungs- und Einspeisungsspitzen treten Strommengen auf, welche zu diesem Zeitpunkt nur bedingt verbraucht werden können. Anhand einer vereinfachten zusätzlichen stündlichen Simulation lässt sich dieser Effekt, ohne Nutzung von Verlagerungsflexibilitäten (z.B. Speicher, Lastmanagement, usw.) zeigen, dass unter dem Rahmen der in dieser Studie angenommenen erneuerbaren Installation ca. 40 TWh erneuerbarer Erzeugung nicht direkt genutzt werden könnten. Dies stellt eine „Worst Case“ Variante dar, da es in der Realität zu entsprechenden Verlagerungsflexibilitäten kommen würde.

Innerhalb dieser vereinfachten zusätzlichen stündlichen Simulation wurde der zusätzliche Stromverbrauch von Sektorenkopplungstechnologien (z.B. Wärmepumpe, E-Mobilität) gleichverteilt über das Jahr angesetzt. Da vor allem Wärmepumpen (und im geringeren Umfang auch E-Mobilität) stärker in den Wintermonaten höhere Stromverbräuche aufweisen sind weitere Unsicherheiten von 5 bzw. 7 TWh im „Worst Case“ Ansatz zu erwarten.

Die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bedingt in bestimmten Zeitfenster eine stabile Fahrweise, sodass potentiell zusätzliche Überschussmengen der Erneuerbaren entstehen. Der Effekt kann nur sehr grob mit ca. 10 bis 20 TWh abgeschätzt werden, wobei dieser über den Einsatz von zusätzlichen stromgeführten Heizkesseln deutlich reduziert werden könnte.

Da innerhalb des BEE Szenarios die Effekte des Strommarkts nicht abgebildet werden sind freiwillige Abschaltungen Erneuerbarer Energien aufgrund negativer Strompreise ebenfalls nicht abgebildet. Zur Abschätzung der Unsicherheit dadurch wird in erster Näherung auf Basis des Netzentwicklungsplans 2035 der Übertragungsnetzbetreiber von ca. 9 TWh ausgegangen.

Wie beschrieben sind die meisten der Unsicherheitsannahmen auf Basis eines „Worst Case“ Ansatzes und können sich im Zusammenspiel untereinander zum Teil saldieren bzw. über die Berücksichtigung der nicht berücksichtigten Verlagerungsflexibilitäten bzw. der Umsetzung von sinnvollen Investitionen (u.a. stromgeführte Heizkessel) deutlich reduzieren. Realistisch ist somit von einer Unsicherheit von ca. 20 bis 40 TWh auszugehen, was im Bezug zum Bruttostrombedarf eine relative Größe von 2,7 bis 5,4 Prozent entspricht.

Eine weitere Unsicherheit liegt in der Annahme inländischer Produktion von grünem Wasserstoff vor, welche vorwiegend nur dann betrieben werden sollte, wenn eine Netzeinspeisung nicht möglich ist oder Einspeisespitzen abgefangen werden sollen. Der BEE setzt auf einen energie- und volkswirtschaftlich sinnvollen Einsatz von Elektrolyseuren mit 3.500 bis 4.000 Volllaststunden. Durch einen solchen Einsatz lassen sich Erzeugungsspitzen der EE auffangen. Fehlender erzeugter inländischer grüner Wasserstoff kann mit grünem importiertem Wasserstoff substituiert werden, sodass diese Unsicherheit keine Auswirkung auf die Höhe des benötigten grünen Wasserstoff hat, sondern nur auf dessen Herkunft.

6 Anpassungen des BEE-Szenarios: Erläuterungen

Anpassung des Basiswertes (2019 statt 2017)

Gegenüber dem BEE-Szenario ist der Bruttostromverbrauch bereits vor Corona deutlich gesunken. Gegenüber dem Basiswert 2017 mit 599 TWh ist der Bruttostromverbrauch bis 2019 um 28 TWh auf 571 TWh zurückgegangen. Davon sind 22 TWh auf Verbrauchsrückgänge und 6 TWh auf eine veränderte Berechnungsmethodik zurückzuführen. In der neuen Stromstatistik der AG Energiebilanzen und des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) wird die Pumpstromerzeugung (PSE) beim Bruttostromverbrauch herausgerechnet und als Speicher betrachtet, um Doppelzählungen zu vermeiden. Diese Änderung der Stromstatistik wurde übernommen und der neue Bruttostromverbrauchswert der AG Energiebilanzen und des BDEW als Basiswert für das BEE-Szenario 2030 zugrunde gelegt.
Darüber hinaus wurden der Energieverbrauch sowie der Anteil der fossilen und der Erneuerbaren Energien ebenfalls in den Sektoren Wärme- und Verkehr an das neue Basisjahr 2019 angepasst.
Zusätzlich wurde der Energieverbrauch der Raffinerien bis zum Jahr 2030 an die Elektrifizierung des Verkehrs angepasst und dementsprechend ein Produktionsrückgang angenommen.

PtX für die chemische Grundstoffindustrie

Für die Herstellung von Olefinen (Ethylen, Propylen und Butadien) und Aromaten (Benzol, Toluol und Xylol) wird Naphtha und Erdgas durch PtX (Wasserstoff und Methanol) ersetzt. Die Annahmen für den PtX-Bedarf basieren auf der Roadmap Chemie 2050 des Verbands der Chemischen Industrie (VCI) . Der Wachstumspfad der Roadmap Chemie wurde an die Klimaschutzziele der Bundesregierung angepasst. Im Gegensatz zur VCI-Studie beginnt im BEE-Szenario die Substitution von Naphtha und Erdgas bereits vor 2030. Dabei wird berücksichtigt, dass die Marktreife dieser Technologien noch nicht erreicht ist und deswegen in den ersten Jahren ein langsamerer Zuwachs erfolgt.

PtX für die Stahlindustrie

In der Stahlerzeugung kann Steinkohle durch Wasserstoff ersetzt werden. Dafür kann Wasserstoff anstatt Koks genutzt werden, um das Eisenerz zu reduzieren (Direktreduktion mit Wasserstoff). Die Berechnungen des BEE stützen sich auf den Bericht „Klimaneutrale Industrie“ der Agora Energiewende und den Klimaschutzzielen der Bundesregierung. Deswegen erfolgt im BEE-Szenario ebenso wie in der chemischen Grundstoffindustrie der Einsatz von PtX schon vor 2030. Nach Einschätzung der Studie „Klimaneutrale Industrie“ der Agora Energiewende[8] kann die Marktreife der Direktreduktion mit Wasserstoff bereits vor dem Jahr 2030 erreicht werden. Dennoch geht die Studie davon aus, dass zunächst vor allem Erdgas für die Direktreduktion von Eisenerz eingesetzt wird und Wasserstoff (aus Erneuerbaren Energien erzeugt) lediglich beigemischt wird. Aufgrund der Klimaschutzziele gibt es im BEE-Szenario bereits 2030 eine signifikante Direktreduktion mit Wasserstoff. Es wird, ebenso wie bei PtX für die chemische Grundstoffindustrie, in den Anfangsjahren ein langsameres Wachstum angenommen, bis die Marktreife der Technologien erreicht ist.

Anstieg der Stromnachfrage für Industrie und Gewerbe (Elektrifizierung von Prozesswärmeerzeugung)

Im BEE-Szenario beginnt bis 2030 die Umrüstung von gas- auf strombasierte Prozesse. Es werden dafür vor allem Steamcracker der chemischen Industrie auf Strom umgestellt und dadurch Erdgas und Naphtha ersetzt. Zusätzlich beginnt bis 2030 die Installation von Stromkessel, um Temperaturen bis 500 Grad bereitzustellen.

Die Annahmen für den Strombedarf stützen sich auf die Roadmap Chemie 2050 des VCI und dem Bericht „Klimaneutrale Industrie“ der Agora Energiewende. Die Strommengen dieser Studien wurden an die Klimaschutzziele der Bundesregierung angepasst und in den Anfangsjahren ein langsameres Wachstum angenommen, bis die Marktreife der Technologien erreicht ist.

Anpassung der Annahmen für die Entwicklung der Elektromobilität

Die Annahmen für die Entwicklung des Schienenverkehrs wurden angepasst. Aufgrund der langen Planungszeiten für die Schieneninfrastruktur und die Beschaffung der Züge erscheint für den Zeitraum von 2020 bis 2030 das bislang im BEE-Szenario angenommene 75 prozentige Wachstum für den Schienenverkehr (Personen- und Güterverkehr) zu hoch. Für das Update des BEE-Szenarios wurden stattdessen die Wachstumsannahmen der BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“ übernommen. Im Update steigt dadurch der Personenverkehr um 20 Prozent und der Güterverkehr um 40 Prozent auf der Schiene bis 2030.

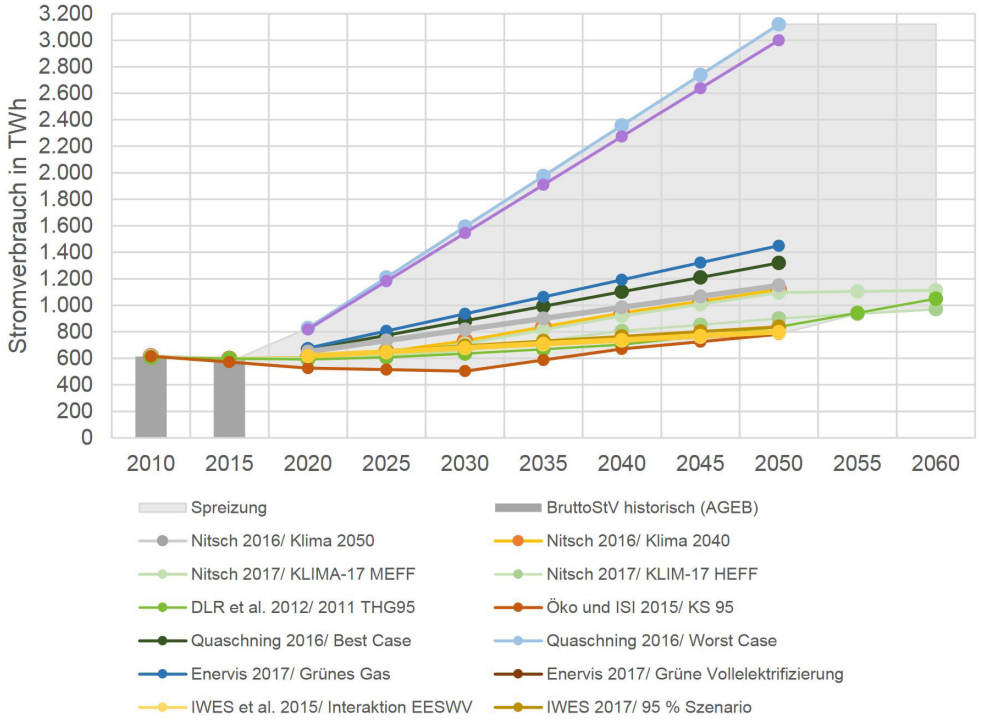
8 Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019): Klimaneutrale Industrie

7 Vergleich mit anderen Studien

Eine Auswertung von Klimaschutzstudien[9] hat ergeben, dass der Schlüsselfaktor für den Bruttostromverbrauch der zusätzliche Stromverbrauch durch die Sektorenkopplung, v.a. durch Wärmepumpen, Elektromobilität und PtX (Power-to-Gas, Power-to-Liquids, Power-to-Heat) Ist. Daher beschäftigt sich das BEE-Szenario 2030 nicht nur mit dem Stromsektor, sondern auch mit den Sektoren Wärme und Verkehr.

Der Bruttostromverbrauch liegt heute mit rund 571 TWh ungefähr auf gleicher Höhe wie im Jahr 2009. Seitdem wurden Effizienzerfolge (u.a. durch Energiesparlampen, LEDs, verbesserte Heizungspumpen) durch Wirtschaftswachstum sowie neue Verbraucher (u.a. Telekommunikation) kompensiert. Heute gehen die meisten Studien, die außerhalb der Ministerien erstellt wurden, von einem steigenden Stromverbrauch aus, insbesondere wenn eine stärkere Elektrifizierung des Ver-kehrs- und Gebäudebereichs zu Grunde gelegt wurde (siehe Abbildung 21 bzw. Tabelle 5).

Abb. 21: Projektionen des Bruttostromverbrauchs in aktuellen Energiesystemstudien



Quelle: Fraunhofer ISI, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 01/2018[10]

9 Enervis 2017, 2018, Nitsch 2016, IWES 2017, Quaschning, Fraunhofer ISI 2018.

10 Fraunhofer ISI (2018): Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen, No. S 01/2018

Tab. 5: Vergleich von Erwartungen zur Entwicklung des Bruttostromverbrauchs im Jahr 2030

Studien	Prognose für 2030	Zusätzl. Mehrverbrauch gegenüber 2019 in TWh
BEE-Szenario 2030	745	174
dena Leitstudie 2018, Szenario TM80	745	174
dena Leitstudie 2018, Szenario EL80	886	315
BMVI Studie IEK 2050[11]	750 bis 790	179 bis 219
EWI 2019	748	177
AGORA 2020	643	72
Fraunhofer 2021	700 bis 780	129 bis 209

Einige wenige Studien – darunter das aktuelle BMWi-Leitszenario sowie das UBA-Szenario – gehen hingegen von einem relevanten Verbrauchsrückgang aus. Hier zeigt sich allerdings, dass deren Effizienzpfade bereits deutlich von der Realität überholt wurden. Gegenüber den verwendeten Szenarien ergibt sich schon heute eine Abweichung um 10 bis 20 TWh nach oben. Von einer Rückkehr auf die dort angenommenen Effizienzpfade kann aktuell nicht ausgegangen werden, da diese eine erhebliche Trendumkehr bedeuten würden. Derartige Einschnitte würden wohl nur in Folge einer Wirtschaftskrise eintreten.

11 Studie „Rechtliche Rahmenbedingungen für ein integriertes Energiekonzept 2050 und die Einbindung von EE-Kraftstoffen (IEK 2050)“- Kurzfassung des Abschlussberichts | „Stromverwendung“ 2030 in den Szenarien S85: 754 TWh, S90: 791 TWh, S95: 769 TWh.

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Methodik der CO2-Reduktion und der EE-Entwicklung in den Endenergiesektoren 8

Abb. 2: Entwicklung des Bruttoendenergieverbrauchs inkl. Raffinerieverbrauch und stoffliche Nutzung von energetischen Rohstoffen 10

Abb. 3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den Sektoren (nach EU-RL, ohne Luft- und Schiffsverkehr) 12

Abb. 4: Erneuerbare Energien in allen Sektoren* in 2019 und 2030 13

Abb. 5: Entwicklung der Erneuerbaren Energien in allen Sektoren in 2019 und 2030 13

Abb. 6: Gesamte Endenergie Erneuerbarer Energien in allen Sektoren in 2019 und 2030 14

Abb. 7: Stromsektor: Entwicklung des Stromverbrauchs bis 2030 (konventionell + zusätzlich) 15

Abb. 8: Zusätzlicher Stromverbrauch für die Sektorenkopplung in TWh 16

Abb. 9: Installierte Leistung Erneuerbarer Energien in 2030 17

Abb. 10: Stromerzeugung Erneuerbarer Energien in 2030 18

Abb. 11: Stromerzeugung aus erneuerbaren und fossilen Energien in 2030 19

Abb. 12: Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in 2019 und 2030 (altes und neues BEE Szenario) 19

Abb. 13: Jährlich installierte Brutto-Leistung Neubau (für 2023-2030 im 2-Jahresdurchschnitt) 21

Abb. 14: Erneuerbare Energien im Wärmesektor in 2019 und 2030 22

Abb. 15: Erneuerbare Energien im Verkehrssektor in 2019 und 2030 24

Abb. 16: Bioenergie- Primärenergienutzung in 2015 und 2030 26

Abb. 17: PtX-Nutzung in 2030 27

Abb. 18: Energieimporte nach Deutschland in 2019 und 2030 28

Abb. 19: THG- Minderung gegenüber 2030 (Energiesektor) für altes und neues BEE Szenario 29

Abb. 20: THG-Emissionen in allen Sektoren in 2019 und 2030 29

Abb. 21: Projektionen des Bruttostromverbrauchs in aktuellen Energiesystemstudien 33

8.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht der realen Effizienzsteigerung (2014 – 2019) gegenüber den Szenarioannahmen 11

Tab. 2: Übersicht über die angenommenen Volllaststunden der einzelnen Erneuerbaren Energien 17

Tab. 3: Berechnung des Stromverbrauchs der Elektromobilität 2030 25

Tab. 4: Übersicht über die prozentuale THG-Minderung zwischen 2019 und 2030 pro Sektor 29

Tab. 5: Vergleich von Erwartungen zur Entwicklung des Bruttostromverbrauchs im Jahr 2030 34

8.3 Quellen

AG Energiebilanzen (2021). Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020. Berlin, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.

AG Energiebilanzen (2021): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2018 (Stand März 2021).

Agentur für Erneuerbare Energien (2017). Metaanalyse. Zusammenspiel von Strom- und Wärmesystem. Berlin, Agentur für Erneuerbare Energien. https://www.hamburg-institut.com/images/pdf/studien/150925%20AEE_Metaanalyse_Waermewende_jul15.pdf

Agora Energiewende (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Berlin, Agora Energiewende.

Agora Energiewende (2018): Stromnetze für 65 Prozent Erneuerbare bis 2030. Berlin, Agora Energiewende.

Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019). Klimaneutrale Industrie. Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement.

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

AGORA (2020). Klimaneutrales Deutschland, https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-zusammenfassung/

BMWi and AGEE Stat (2021). Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik.

BMWI 2021: Energiedaten. Zahlen und Faktoren. Nationale und internationale Entwicklung.

BMUB (2016). Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

Brandes et al. (2020). Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen – Update unter einer Zielvorgabe von 65 % CO2-Reduktion in 2030 und 100 % in 2050. Freiburg Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Bundesregierung (2020). Die Nationale Wasserstoffstrategie.

DECHEMA und FutureCamp (2019). Roadmap Chemie 2050. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie.

Ecke, J. and A. Fricke (2018). META-Studie Sektorenkopplung: „Analyse einer komplexen Diskussion“. Berlin, Enervis Energy Advisors GmbH, VNG Gruppe.

ENCON und Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST) 2018. Potentialatlas für Wasserstoff - Analyse des Marktpotentials für Wasserstoff, der mit erneuerbaren Strom hergestellt wird, im Raffineriesektor und im zukünftigen Mobilitätssektor. Studie im Auftrag der IG BCE Innovations-forum Energiewende e. V. Mineralölwirtschaftsverband e. V. und NOW GmbH.

Europäische Union (2009). Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. L 140/16. Europäisches Parlament and Rat der Europäischen Union.

EWI (2018). dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Gutachterbericht, Entwurf 3, 14. Mai 2018. Köln, Deutsche Energie-Agentur (dena).

EWI (01/2019) | Auswirkungen d. Klimaschutzprogramms 2030 auf d. Anteil erneuerbarer Energien an d. Stromnachfrage, https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/01/EWI-Analyse-Anteil-Erneuerbare-in-2030_final.pdf

Fraunhofer IWES (2017). Mittel- und langfristige Potenziale von PtL- und H2- Importen aus internationalen EE-Vorzugsregionen. Teilbericht im Rahmen des Projektes: KLIMAWIRKSAM-KEIT ELEKTROMOBILITÄT- Entwicklungsoptionen des Straßenverkehrs unter Berücksichtigung der Rückkopplung des Energieversorgungssystems in Hinblick auf mittel- und langfristige Klimaziele, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Gerbert, P., et al. (2018). Klimapfade für Deutschland, The Boston Consulting Group (BCG), Prognos.

Gerhardt, N. (2016). Plattform Strommarkt. Die Rolle von Sektorkopplung und Flexibilisierung zur kosteneffizienten Zielerreichung auf Basis der Studie Interaktion Strom, Wärme, Verkehr. Berlin, Fraunhofer IWES.

Harthan et al. (2017). Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO2-Emissionen. Arbeitspapier.

Berlin, Öko-Institut e.V.

Hecking, H., et al. (2018). dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Gutachterbericht, Entwurf 3, 14. Mai 2018. Köln, Deutsche Energie-Agentur (dena). IEA (2020). Hydrogen production costs using natural gas in selected regions, 2018. Last updated 12 Mar 2020. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/hydrogen-production-costs-using-natural-gas-in-selected-regions-2018-2

Ifeu (2019). Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen. Studie im Auftrag der Agora Verkehrswende.

Klein, S., et al. (2017). Erneuerbare Gase- ein Systemupdate der Energiewende, Enervis Energy Advisors GmbH.

Nitsch, J. (2016). Die Energiewende nach COP 21- Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung. Stuttgart.

NOW Studie (2018) IndWEDe. Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme.

Quaschning, V. (2016). Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Aus- bau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin.

Repenning, J., et al. (2015). Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Berlin, Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI.

Schlesinger, M., et al. (2014). Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Endbericht. Basel/Köln/Osnabrück, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

Schmitt et al. 2017. Solare Prozesswärme. Mit Solarthermie Abläufe in Industrie und Gewerbe unterstützen. BINE-Themeninfo II/2017. Bonn, BINE Informationsdienst.

UBA (2017). Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2016. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016.

Wietchel, M., et al. (2018) Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen. Working Paper Sustainability and Innovation. No. S 01/2018. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.

BEE
Bundesverband
Erneuerbare Energie e.V.

Als Dachverband der Erneuerbare Energien-Branche in Deutschland bündelt der Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. die Interessen von 50 Verbänden, Organisationen und Unternehmen mit 30 000 Einzelmitgliedern, darunter mehr als 5 000 Unternehmen. Unser Ziel: 100 Prozent Erneuerbare Energie in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität.

Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.
EUREF-Campus 16
10829 Berlin

www.bee-ev.de