
Die Ökostromlücke, ihre Effekte und wie sie gestopft werden kann

Effekte der Windenergiekrise auf Strompreise und CO₂-Emissionen sowie Optionen, um das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel 2030 noch zu erreichen

STUDIE

Agora
Energiewende



Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie sie gestopft werden kann

IMPRESSUM

STUDIE

Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie sie gestopft werden kann

Effekte der Windenergiekrise auf Strompreise und CO₂-Emissionen sowie Optionen, um das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel 2030 noch zu erreichen

ERSTELLT IM AUFTRAG VON

Agora Energiewende
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin | Germany

DURCHFÜHRUNG

Wattsight GmbH
Kurfürstendamm 68
10707 Berlin | Germany



Unter diesem QR-Code steht diese Publikation als PDF zum Download zur Verfügung.

AUTOREN

Thorsten Lenck, Agora Energiewende
Dr. Gerd Rosenkranz, Agora Energiewende
Fabian Hein, Agora Energiewende
Patrick Graichen, Agora Energiewende

Dr.-Ing. Carsten Trapp, Wattsight GmbH
Prof. Dr.-Ing. Konstantin Lenz, Wattsight GmbH

Korrekturat: infotext
Satz: UKEX GRAPHIC
Titelbild: Jenzig71 / Photocase mit grafischen Ergänzungen von Ada Rührung

177/02-S-2020/DE

Version 1.0, März 2020

Bitte zitieren als:

Agora Energiewende und Wattsight (2020): Die Ökostromlücke, ihre Strommarkteffekte und wie sie gestopft werden kann. Effekte der Windenergiekrise auf Strompreise und CO₂-Emissionen sowie Optionen, um das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel 2030 noch zu erreichen. Studie im Auftrag von Agora Energiewende.

www.agora-energiewende.de

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

große Ankündigungen sind gemacht worden, seit die Bundesregierung im Frühjahr 2018 ins Amt kam. So sollen bis 2030 die Erneuerbaren Energien 65 Prozent unseres Strombedarfs decken (derzeit sind es knapp 43 Prozent), gleichzeitig soll bis dahin die Kohleverstromung gegenüber heute um mehr als 60 Prozent reduziert werden. Das große Ziel heißt Klimaneutralität bis spätestens 2050.

Um das Erneuerbare-Energien-Ziel und damit das Klimaschutzziel 2030 zu erreichen, ist ein dynamischer Ausbau bei Wind- und Solarenergie nötig. Das Problem ist jedoch: Weil der Zubau von Windkraftanlagen an Land in den letzten beiden Jahren von über fünf auf nur noch ein Gigawatt geradezu kollabiert ist, droht eine massive Ökostromlücke. Und aktuell ist kaum Besserung in Sicht. Die folgende Kurzstudie befasst sich daher erstens mit der Frage, welche

Effekte es hätte, wenn die Windkraftkrise anhält. Und sie untersucht zweitens, mit welchem Mix aus Onshore-Windkraft, Offshore-Windkraft und Photovoltaik die befürchtete Ökostromlücke noch geschlossen werden kann.

Die Ergebnisse sind eindeutig: Ohne entschlossenes Eingreifen der Politik wird das 65-Prozent-Ziel der Bundesregierung für 2030 klar um etwa zehn Prozentpunkte verfehlt – mit entsprechend höheren Börsenstrompreisen und CO₂-Emissionen. Die Politik muss daher schnell umsteuern, denn mit jedem Monat, in dem die Windkraftkrise anhält, wird es schwieriger.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre!

Ihr
Dr. Patrick Graichen
Direktor Agora Energiewende

Ergebnisse auf einen Blick:

1

Weil der Ausbau der Windenergie an Land aktuell kollabiert, droht eine große Ökostromlücke: Erneuerbare Energien decken 2030 bei Fortschreibung der aktuellen Trends nur etwa 55 Prozent des Strombedarfs. Hierbei wurde bereits unterstellt, dass die Solarenergie weiterhin mit vier Gigawatt pro Jahr und Offshore-Windenergie auf 20 Gigawatt bis 2030 zugebaut wird. Das 65-Prozent-Erneuerbaren-Ziel für 2030 rückt so in weite Ferne.

2

Weniger Ökostrom und mehr Strom aus fossilen Energieträgern führen zu höheren Industriestrompreisen und höheren CO₂-Emissionen. Bei nur 55 Prozent Erneuerbaren-Anteil steigen die Börsenstrompreise im Jahr 2030 um etwa 5 bis 10 Euro je Megawattstunde und die Emissionen um etwa 5 bis 20 Millionen Tonnen CO₂.

3

Um die Ökostromlücke zu schließen, muss die Offshore-Windkraftleistung bis 2030 auf mindestens 25 Gigawatt steigen, Onshore-Windkraft wieder um mindestens 4 Gigawatt pro Jahr zugebaut und/oder eine Solaroffensive auf 10 Gigawatt pro Jahr gestartet werden. Bei gleichbleibendem Stromverbrauch sind für das 65-Prozent-Ziel zwei der drei genannten Zubaupfade für Offshore-Windkraft, Onshore-Windkraft und Solarenergie nötig. Geht man für 2030 von einem höheren Stromverbrauch aus – wegen zunehmender Elektromobilität, mehr Wärmepumpen, Wasserstoffgewinnung und zusätzlichem Ökostrombedarf in der energieintensiven Industrie –, müssen alle drei Maßnahmen umgesetzt werden.

4

Die Zubaukrise der Windenergie muss rasch politisch gelöst werden, andernfalls droht auch der Energiewende insgesamt schwerer Schaden. Hierzu gehört ein Maßnahmenpaket, das durch geeignete und einheitliche Planungsverfahren für ausreichend Flächen zur Errichtung von Windenergie an Land sorgt und Genehmigungsverfahren beschleunigt. Auch bei Offshore-Windkraft müssen jetzt rasch die Weichen für höhere Zubaumengen bis 2030 gestellt werden.

Inhalt

Zusammenfassung	7
Fünf Szenarien	8
CO ₂ -Emissionen	9
Import und Export	10
Strompreise	11
EEG-Umlage	12
Fazit	14
Darstellung der Szenarien und der Modellierung	15
Annahmen zum Rückbau von EEG-Anlagen und Marktaustritt nach Ablauf der 20-jährigen Vergütungsperiode	16
Annahmen für den Zubau Erneuerbarer-Energien-Anlagen und der Stromnachfrage sowie weitere Annahmen	17
Modellierung	20
Literaturverzeichnis	23

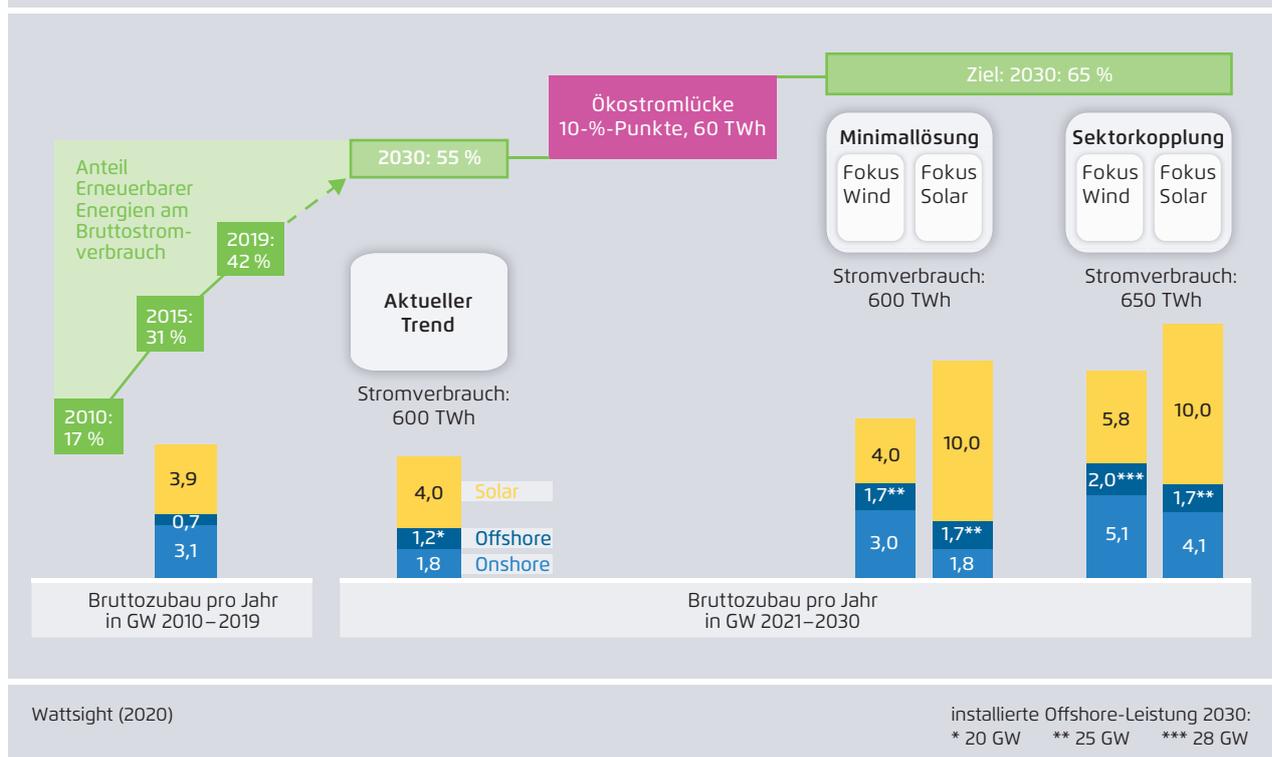
Zusammenfassung

Deutschland läuft Gefahr, das im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung angestrebte Ziel, bis 2030 mindestens 65 Prozent seines Stroms aus Erneuerbaren Energien zu erzeugen, deutlich zu verfehlen. Die Zielverfehlung um etwa zehn Prozentpunkte tritt selbst dann ein, wenn sich der Zubau von Windenergieanlagen an Land bis 2023 gegenüber dem Krisenjahr 2019 verdoppelt und der Ausbau der Windenergie auf See ebenso wie der der Photovoltaik entlang der Zielvorgaben des *Klimaschutzprogramms 2030* erfolgt. Ohne einen zusätzlichen politischen Impuls ergibt sich im Jahr 2030 ein Stromanteil aus Erneuerbaren Energien von nur etwa 55 Prozent. Das ist das Kernergebnis dieser Studie.

Hauptgrund für die sich öffnende Ökostromlücke ist der aktuelle Einbruch beim Zubau von Windenergieanlagen an Land. Erreichte deren Bruttozubau über eine Reihe von Jahren noch Leistungen um die vier Gigawatt oder sogar darüber, ist er in den letzten beiden Jahren geradezu kollabiert. Erschwerend für die Zielerreichung kommt hinzu, dass in diesem Jahrzehnt insbesondere ältere Windenergieanlagen an das Ende ihrer Lebenszeit kommen und diese Kapazitäten zusätzlich zum notwendigen Nettozubaubau ersetzt werden müssen. 2019 wurden nur noch Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa einem Gigawatt neu errichtet. Das entspricht einem Rückgang von mehr als drei Vierteln im Vergleich zu den durchschnittlichen jährlichen Zubaumengen zwischen 2013 und 2017.

Anteil Erneuerbarer Energien 2010 bis 2030 sowie durchschnittlicher Bruttozubau von Windenergieleistung an Land und auf See sowie von Photovoltaikleistung im Zeitraum 2010 bis 2019 und von 2021 bis 2030

Abbildung 1



Fünf Szenarien

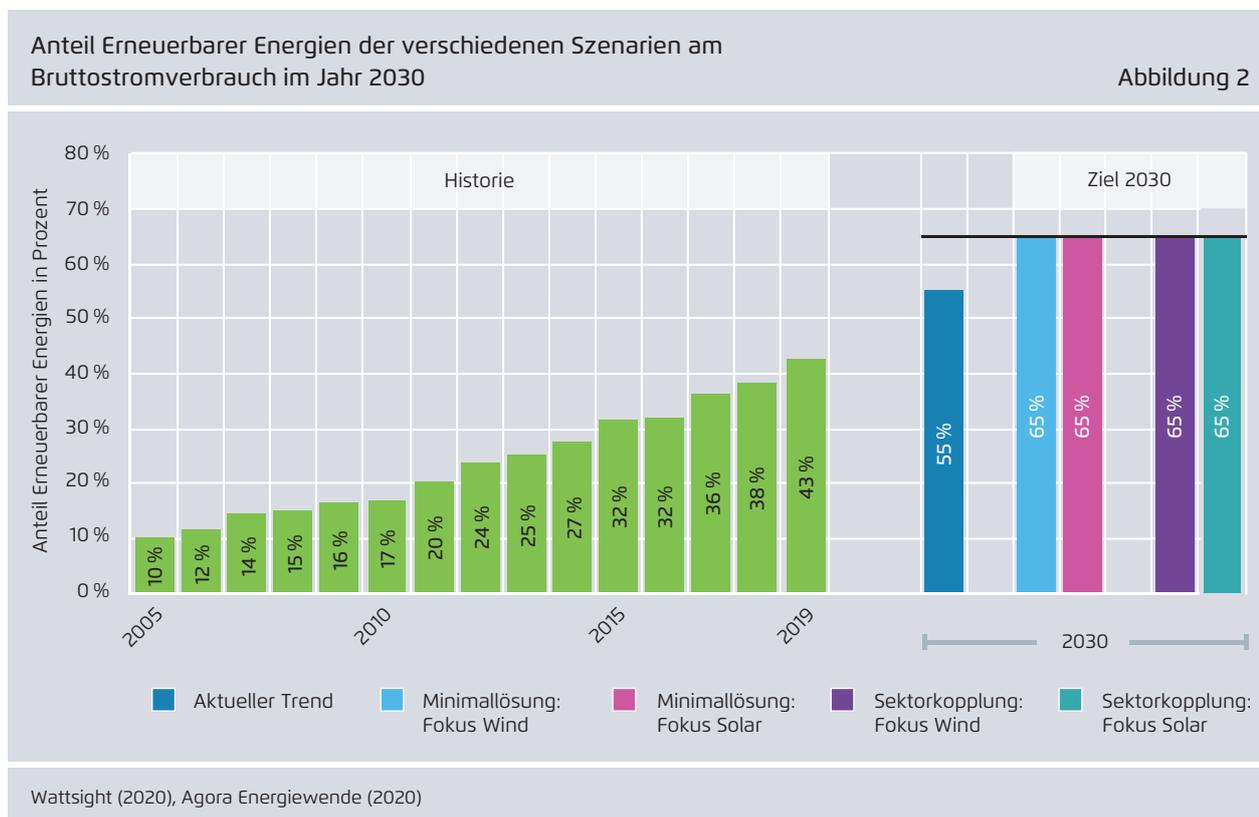
Die Studie untersucht, welchen Einfluss fünf unterschiedliche Ausbauszenarien Erneuerbarer Energien in Deutschland auf Strompreise, Import und Export sowie CO₂-Emissionen und EEG-Umlage im Jahr 2030 haben würden.

Das Szenario „Aktueller Trend“ geht davon aus, dass die zugebauten Onshore-Windkraftkapazitäten bis 2023 nur moderat vom historischen Tiefstand von einem Gigawatt im Jahr 2019 wieder auf zwei Gigawatt pro Jahr ansteigen. Die Zubaukrise bei Onshore-Windkraft dauert also in etwas milderer Ausprägung bis 2030 an. Der Ausbau der Photovoltaikleistung verharrt auf dem 2019 erreichten Wert von vier Gigawatt. Für Windkraft auf See wird das 20-Gigawatt-Ziel der Bundesregierung gemäß *Klimaschutzprogramm 2030* zugrunde gelegt.

Ebenso wie für das Szenario „Aktueller Trend“ wird für das Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“ ange-

nommen, dass es bei einem nur moderaten Zubau von Windkraftkapazitäten an Land bleibt. Dabei wird im Szenario „Aktueller Trend“ das Ziel von 65 Prozent Erneuerbare Energien am Stromverbrauch bis zum Jahr 2030 deutlich um etwa zehn Prozentpunkte verfehlt (Abbildung 2). Im Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“ soll dieses Ziel dagegen durch einen beschleunigten Zubau vor allem der Photovoltaik, kombiniert mit einer ebenfalls höheren Zubaugeschwindigkeit der Offshore-Windkraft auf 25 Gigawatt bis 2030 eingehalten werden.

In einem weiteren Szenario mit einem ausgewogenem Ausbau von Solar- und Windenergie („Minimallösung: Fokus Wind“) wird das 65-Prozent-Ziel im Wege eines gleichmäßigen, jedoch gegenüber dem Szenario „Aktueller Trend“ wieder deutlich ambitionierteren Ausbaus von Windenergie erreicht. Hier wird also unterstellt, dass die aktuelle Krise beim Ausbau der Windenergie an Land vollständig überwunden wird.



Mit dem Marker „Minimallösung“ wurden die beiden letztgenannten Szenarien („Fokus Solar“ und „Fokus Wind“) dennoch gekennzeichnet, weil die darin für den jährlichen Bruttostromverbrauch angesetzten 600 Terawattstunden voraussichtlich deutlich zu knapp bemessen sind, wenn die bis 2030 auch von der Bundesregierung anvisierte Sektorkopplung bis dahin Fahrt aufnimmt.

Deshalb wird in zwei weiteren Szenarien unterstellt, dass sich der Bruttostromverbrauch in den Sektoren Mobilität und Gebäudewärme, insbesondere aber auch der Strombedarf der (energieintensiven) Industrie im Rahmen einer industrieorientierten Klimaschutzstrategie deutlich erhöht. Der jährliche Bruttostromverbrauch im Jahr 2030 steigt so insgesamt im Vergleich zu den anderen Szenarien um 50 auf 650 Terawattstunden. Im Ergebnis erfordert dies naturgemäß auch einen gegenüber den „Minimal-Szenarien“ entsprechend stärkeren Ausbau Erneuerbarer Energien, um das 65-Prozent-Ziel einhalten zu können.

Im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Wind“ wird ebenso wie im Szenario „Minimallösung: Fokus Wind“ unterstellt, dass die Zubaukrise beim Ausbau der Windenergie an Land schnell überwunden werden kann. Der Zubaubedarf von Windenergieanlagen an Land steigt im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Wind“ wegen des höheren Bruttostrombedarfs noch einmal auf dann rund fünf Gigawatt pro Jahr im Mittel über die Jahre 2021 bis 2030 an. Das Gleiche gilt auch für den Zubau von Offshore-Windenergie, der im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Wind“ bis 2030 auf eine installierte Leistung von 28 Gigawatt steigen wird. Gegenüber den heutigen Zubauzahlen steigert sich der Zubau der Photovoltaik in diesem Szenario um die Hälfte und beträgt ab 2022 dann sechs Gigawatt pro Jahr.

Im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Solar“ steigt der Zubaubedarf der Photovoltaik – wie auch schon im Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“ – ab 2023 auf über zehn Gigawatt pro Jahr. Gleichzeitig muss

auch Onshore-Windenergie kräftig ausgebaut werden, um den notwendigen Zubau zu erreichen und die aus Altersgründen vom Netz gehenden Anlagen zu ersetzen. Der mittlere Zubau in den Jahren 2021 bis 2030 beträgt etwas mehr als vier Gigawatt pro Jahr. Offshore-Windenergie erreicht im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Wind“ eine installierte Leistung von 25 Gigawatt im Jahr 2030.

CO₂-Emissionen

Die Simulationen zeigen, dass im Szenario „Aktueller Trend“ mit andauernder Zubaukrise bei Windenergie an Land nicht nur das 65-Prozent-Ziel verfehlt und im Jahr 2030 nur ein Anteil von rund 55 Prozent Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch erreicht wird; der entsprechend größere Einsatz fossiler Stromerzeugung führt in diesem Szenario naturgemäß auch zu höheren CO₂-Emissionen im Vergleich zu den vier Zielszenarien, in denen das 65-Prozent-Ziel für Erneuerbare Energien auf unterschiedlichen Pfaden jeweils erreicht wird (Abbildung 3). Die CO₂-Emissionen lägen im Szenario „Aktueller Trend“ sogar noch höher, würde nicht ein Teil der Strommengen in Deutschland durch eine Erhöhung des Imports von Strom aus den elektrischen Nachbarländern gedeckt, dessen CO₂-Emissionen im jeweiligen Erzeugerland bilanziert werden (vgl. Abschnitt Import und Export).

Die Szenarien „Minimallösung: Fokus Wind“, „Minimallösung: Fokus Solar“ sowie „Sektorkopplung: Fokus Wind“, „Sektorkopplung: Fokus Solar“ weisen infolge des höheren Anteils Erneuerbarer Energien (das 65-Prozent-Ziel wird jeweils erreicht) deutlich niedrigere CO₂-Emissionen auf als das Szenario „Aktueller Trend“. Im Jahr 2030 liegt die CO₂-Minderung in den Szenarien „Minimallösung: Fokus Wind“ beziehungsweise „Minimallösung: Fokus Solar“ gegenüber dem Trendszenario zwischen 8 und 18 Millionen Tonnen. In den Szenarien „Sektorkopplung: Fokus Wind“ beziehungsweise „Sektorkopplung: Fokus Solar“ mit einem höheren Stromverbrauch von 650 Terawattstunden zwischen 5 und 15 Millionen Tonnen CO₂. Im Zeitraum 2021 bis 2030 summieren

sich die CO₂-Reduktionen gegenüber dem aktuellen Trend auf 51 bis 70 Millionen Tonnen.

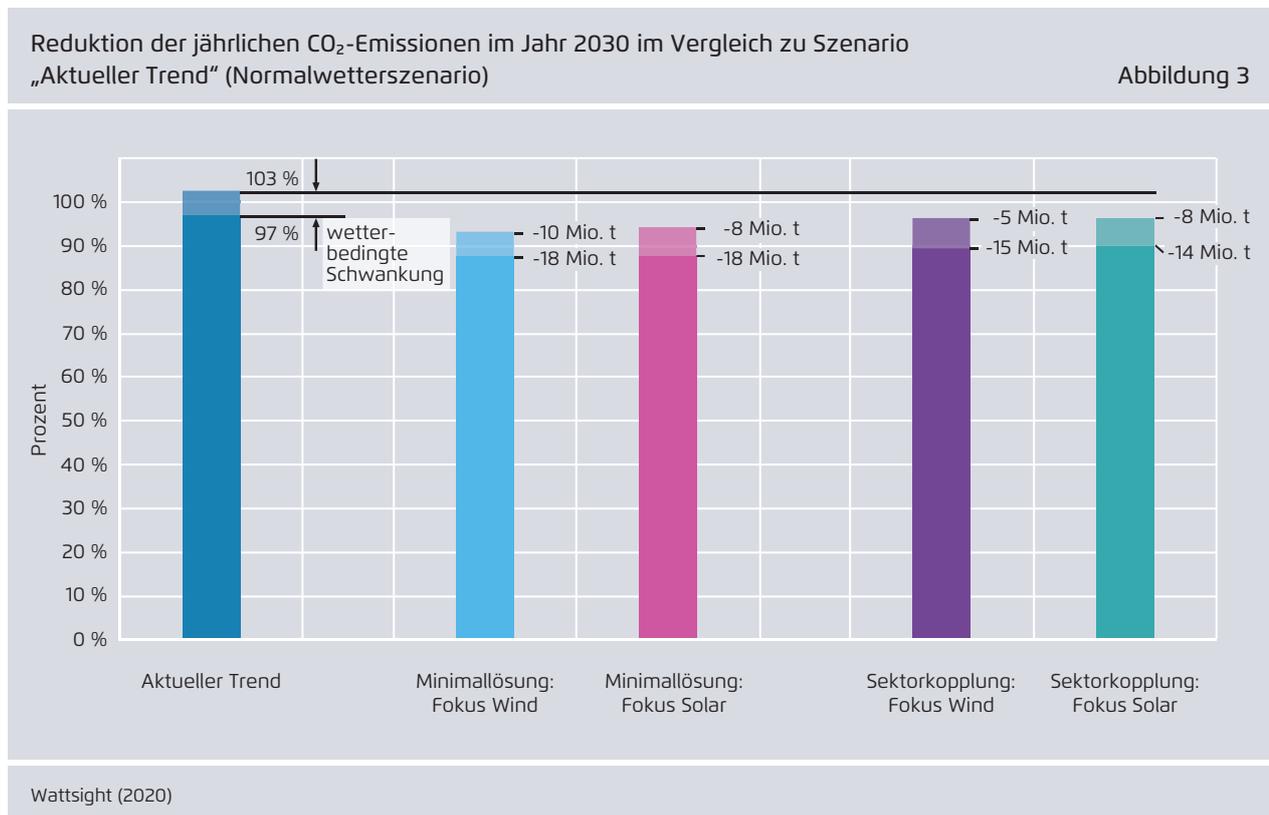
Die CO₂-Emissionen des Stromsektors steigen in den Szenarien „Sektorkopplung: Fokus Wind“ beziehungsweise „Sektorkopplung: Fokus Solar“ zwar leicht über das Niveau der anderen Zielszenarien mit geringerem Bruttostromverbrauch. Wichtig ist jedoch, dass sich hier gleichzeitig ein überproportionaler Ausgleichseffekt in einem anderen Emissionssektor (insbesondere auch angenommen: im Industriesektor) ergibt. Im Ergebnis resultiert also insgesamt eine Nettoerhöhung der Treibhausgasemissionen gegenüber den Minimallösungen. Das ist letztlich der klimapolitische Sinn der Sektorkopplung. Um eine stärkere Sektorkopplung entlang dieser Szenarien zu realisieren, wäre allerdings ein zweigleisiges politisches Vorgehen notwendig. Zum einen müsste, wie beschrieben, der Ausbau Erneuerbarer Energien frühzeitig beschleunigt werden, damit die Zubauraten im späteren Verlauf des Jahrzehnts nicht

sprunghaft ansteigen müssen. Zum anderen müssten parallel auf der Verbrauchsseite Anreize gesetzt werden, damit die Elektrifizierung der energieintensiven Industrie, des Verkehrssektors und der Gebäudewärme (hier insbesondere durch den stärkeren Einsatz von Wärmepumpen) auch tatsächlich einsetzt.

Import und Export

Die unterschiedlichen Szenarien beeinflussen neben den CO₂-Emissionen auch den Stromaustausch mit dem europäischen Ausland.

Abbildung 4 zeigt, dass die Stromimporte im Jahr 2030 in allen betrachteten Szenarien höher liegen als in den vergangenen Jahren beobachtet, besonders hoch jedoch im Szenario „Aktueller Trend“, in dem die Zubaukrise bei Windenergie an Land in abgeschwächter Form andauert. Der Stromexport bleibt in diesem Szenario dagegen gegenüber dem zuletzt im Jahr 2019 gemessenen Wert nahezu unverändert.



dert – mit der Folge eines annähernd ausgeglichenen Import-Export-Saldos. Der starke Zubau Erneuerbarer Energien in den vier Zielszenarien, die das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel jeweils erreichen, stabilisiert den Stromexport dagegen auf dem Niveau der Rekordjahre 2015/2017. Der Exportüberschuss bleibt in diesen Szenarien erheblich und unterscheidet sich nicht wesentlich von dem zuletzt 2018/2019 gesehenen.

Allerdings würde sich auch der Import von Strom von unseren Nachbarn gegenüber den zuletzt gesehenen Importmengen erhöhen, insbesondere in den beiden Szenarien mit angenommener stärkerer Sektorkopplung und einem höheren Bruttostromverbrauch von 650 Terawattstunden. Dieser Befund entspricht der politisch gewollten Entwicklung eines europäischen Strommarkts, in dem der Stromaustausch zwischen den Mitgliedstaaten insgesamt steigt.

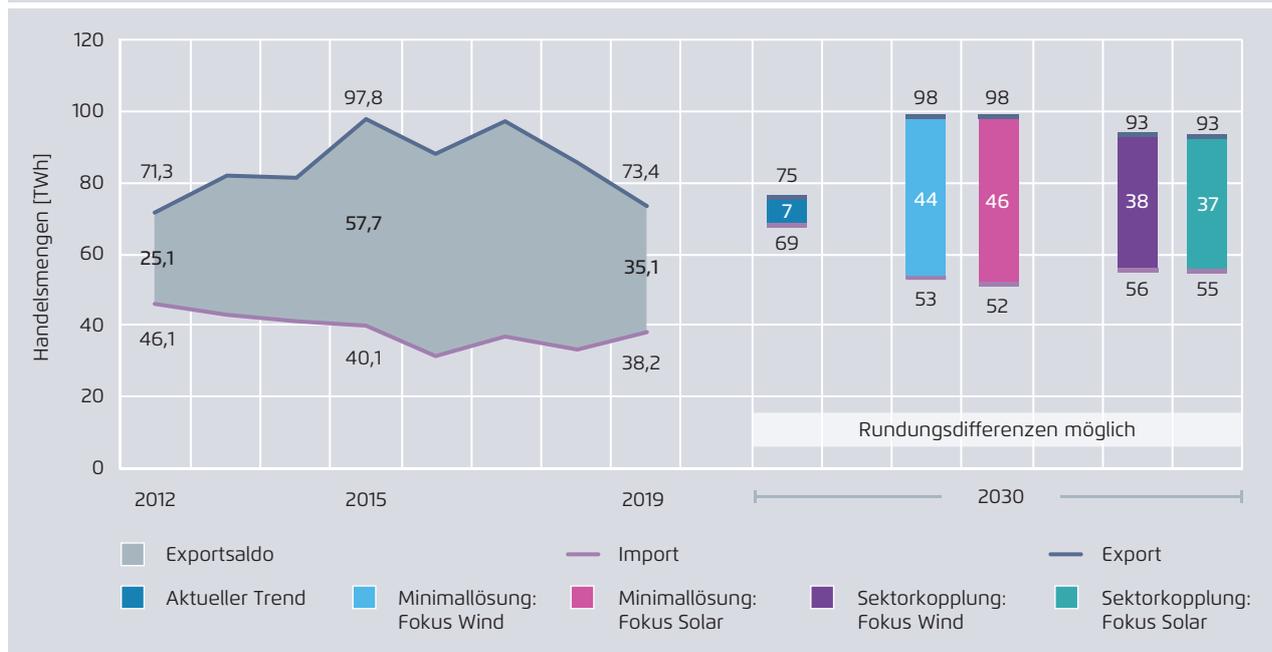
Strompreise

Eine Verfehlung des 65-Prozent-Erneuerbaren-Ziels im Jahr 2030 führt im Ergebnis auch zu spürbar höheren Großhandelsstrompreisen im Jahresmittel, weil in diesem Fall an der Börse weniger Strom aus Erneuerbaren Energien mit Grenzkosten nahe null gehandelt wird. Oder umgekehrt: Der größere Einsatz von Erneuerbaren Energien in den Szenarien, die das 65-Prozent-Ziel einhalten, führt dazu, dass die günstigen Erneuerbaren Energien teurere Stromerzeugungsanlagen aus dem Markt drängen.

Abhängig davon, ob der Wind in einem Jahr stark (modelliert mit den historischen Wetterdaten des Jahres 2007) oder nur schwach (modelliert mit den historischen Wetterdaten des Jahres 2009) weht, ergeben sich so im Szenario „Aktueller Trend“ – in dem das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel deutlich verfehlt wird – zwischen 5 und 10 Euro pro Megawattstunde höhere Großhandelspreise als in den Szenarien mit Zielerreichung (Abbildung 5).

Jährlicher Import, Export und Austauschsaldo für die Szenarien (Normalwetterszenario)

Abbildung 4



Agora, Wattsight (2020)

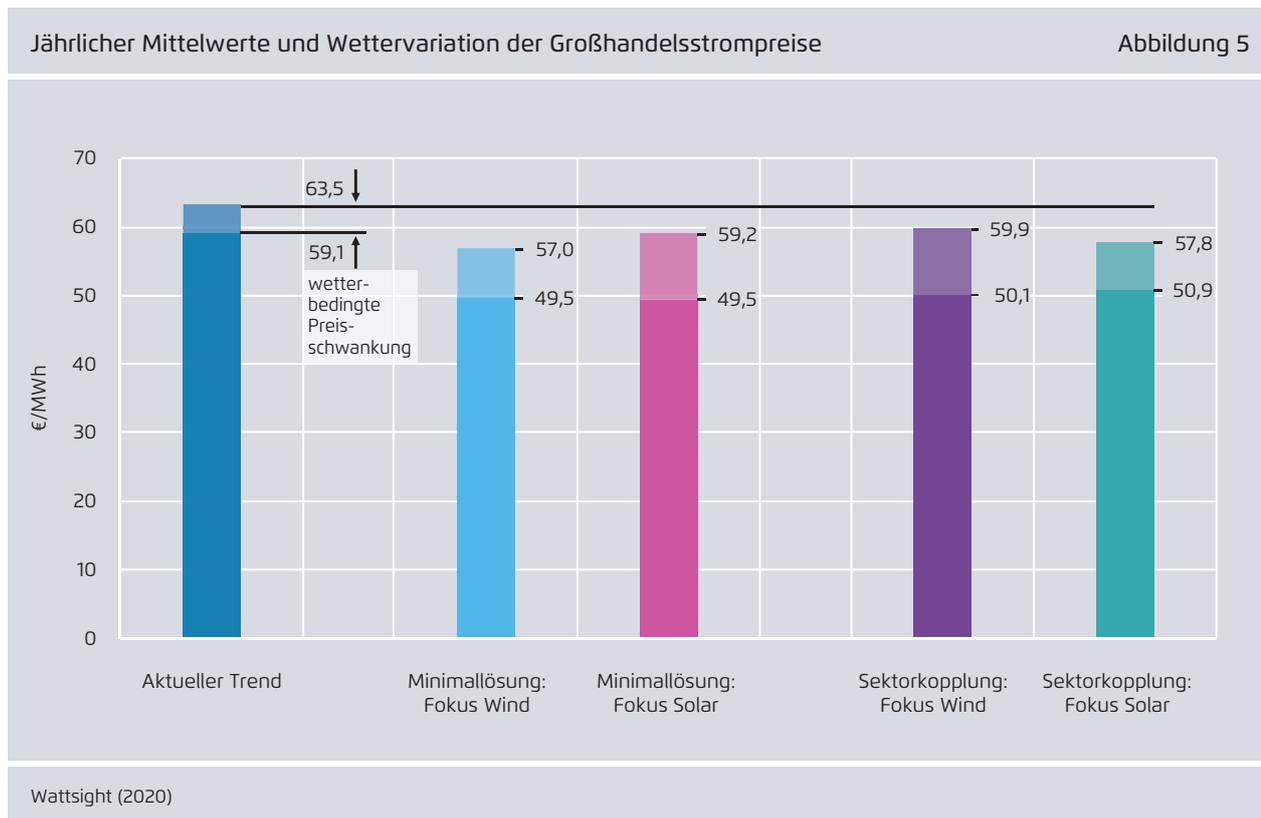
Die Szenarien „Minimallösung: Fokus Wind“ und „Minimallösung: Fokus Solar“ liegen im Jahresmittel der Großhandelsstrompreise auf einem ähnlichen Niveau. Allerdings zeigt sich beim Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“, dass der starke Ausbau der Photovoltaik durch die saisonale Einspeisecharakteristik zu einem deutlichen Preisunterschied zwischen den einzelnen Quartalen führt, während die Preisdifferenzen zwischen den Quartalen beim Szenario „Minimallösung: Fokus Wind“ geringer sind. So liegt für das Schwachwindjahr die Differenz zwischen dem teuersten und günstigsten Quartal beim Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“ bei rund 37 Euro pro Megawattstunde, beim Szenario „Minimallösung: Fokus Wind“ sind es nur knapp 8 Euro pro Megawattstunde.

In den Szenarien, die die Sektorkopplung stärker berücksichtigen, wurde der Bruttostromverbrauch um 50 Terawattstunden höher angesetzt als in den anderen Szenarien. Der höhere Strombedarf wird auch 2030 noch zu gut einem Drittel (35 Prozent oder

17,5 Terawattstunden) aus fossilen Energien gedeckt, weshalb sich hier die Großhandelsstrompreise im Jahresmittel auf einem geringfügig höheren Niveau einpendeln als in den anderen Szenarien mit Zielerreichung und nur 600 Terawattstunden Stromverbrauch.

EEG-Umlage

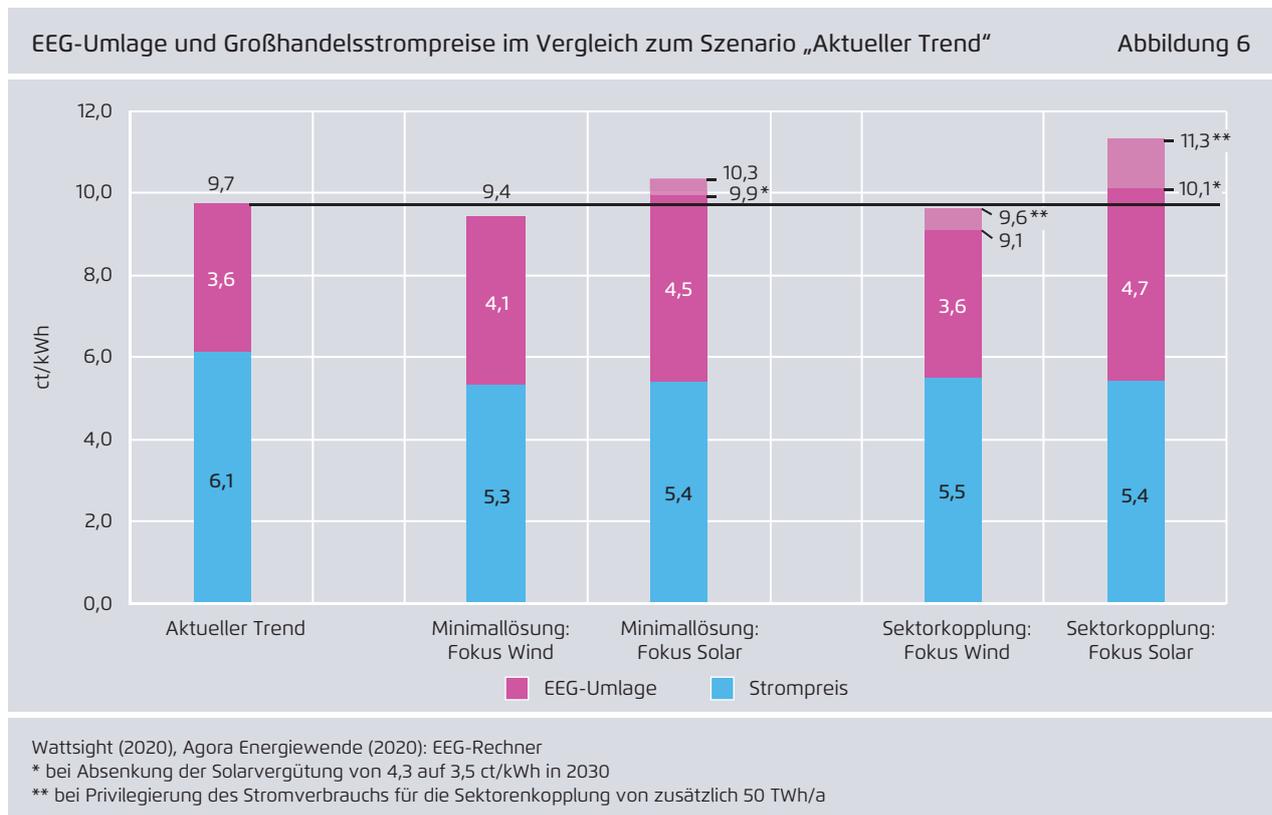
Obwohl sich die jährlichen Zubauraten von Windenergieanlagen an Land, Windkraft auf See sowie von Photovoltaik und somit ihre installierten Leistungen in den betrachteten Szenarios im Jahr 2030 deutlich voneinander unterscheiden, summieren sich Großhandelsstrompreis und EEG-Umlage zusammen in allen Szenarios jeweils auf etwa 10 Cent je Kilowattstunde (Abbildung 6). Dies entspricht in etwa dem heutigen Preisniveau für diese beiden Strompreisbestandteile. Die Szenarios „Minimallösung: Fokus Wind“ und „Sektorkopplung: Fokus Wind“ sind dabei rund 0,5 Cent je Kilowattstunde günstiger als das Trendszenario beziehungsweise bis zu 1 Cent je Kilowattstunde günstiger für die Stromverbraucher



als die Szenarios „Minimallösung: Fokus Solar“ und „Sektorkopplung: Fokus Solar“.

Ein Grund für die insgesamt vergleichsweise niedrigen Abweichungen ist, dass die EEG-Anlagen 2030 nur noch in etwa 25 bis 35 Prozent der Jahresstunden auf Förderung angewiesen sind; in den übrigen Stunden sind die Großhandelsstrompreise höher als der angenommene Förderanspruch der Anlagen. Das EEG-Konto wird also in einem Großteil der Jahresstunden nicht mehr belastet. Würde die angenommene Privilegierung von Abgaben und Umlagen bei den beiden „Sektorkopplungs“-Szenarios von zusätzlichen 50 Terawattstunden Stromverbrauch der energieintensiven und klimaneutral werdenden Industrie entfallen, würde die Summe aus Großhandelsstrompreis und EEG-Umlage im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Wind“ sogar rund ein Cent pro Kilowattstunde günstiger sein. Im Szenario „Sektorkopplung: Fokus Solar“ wären Großhandelsstrompreis und EEG-Umlage zusammen etwas teurer als im Trendszenario.

Ein zweiter Grund dafür, dass die Ergebnisse vergleichsweise nah beieinander liegen, ist, dass sich die EEG-Umlage und der Strompreis wie kommunizierende Röhren verhalten: Steigt der Strompreis, sinkt die EEG-Umlage. Weil dann Teile der EEG-Förderung durch höhere Markterlöse abgelöst werden, wird – bei gleichen Gesamterlösen für die Anlagenbetreiber – weniger EEG-Förderung benötigt und die EEG-Umlage sinkt. Umgekehrt steigt die EEG-Umlage an, wenn die Strompreise fallen, weil die Anlagenbetreiber dann eine höhere Förderung in Form der Marktprämie erhalten, um auf die gleichen Gesamterlöse zu kommen.



Fazit

Die Einhaltung des 65-Prozent-Erneuerbare-Ziels bis 2030 ist noch möglich, setzt aber eine Politik voraus, die schnell und proaktiv auf Beschleunigung der Energiewende setzt

Die in dieser Studie betrachteten unterschiedlichen Szenarien zeigen zunächst, dass die aktuelle Zubaukrise bei Windenergieanlagen an Land in Deutschland ohne aktives Gegensteuern der Politik zu einer deutlichen Verfehlung des Erneuerbaren-Ausbauziels der Bundesregierung von 65 Prozent bis 2030 um etwa zehn Prozentpunkte führt. Die Zielverfehlung kann nur durch eine entschlossene Politik im Sinne der Energiewende noch vermieden, mindestens aber reduziert werden.

Die aktuelle Zubaukrise bei Onshore-Windenergie gefährdet mittel- und langfristig das Gelingen der Energiewende insgesamt. Um sie zu überwinden oder (teilweise) kompensieren zu können, stehen grundsätzlich drei Pfade zur Verfügung:

- Beseitigung der Ursachen, die zur aktuellen Zubaukrise bei der Onshore-Windenergie geführt haben,
- massive Beschleunigung des Photovoltaikzubaues auf Dächern und in der Freifläche sowie
- verstärkte Erschließung der Offshore-Windenergie in Nord- und Ostsee über die von der Bundesregierung im *Klimaschutzprogramm 2030* vorgeschlagene Erhöhung auf 20 Gigawatt hinaus.

Die im Rahmen dieser Studie vorgenommenen Simulationen legen den Schluss nahe, dass zur Einhaltung des im *Klimaschutzprogramm 2030* der Bundesregierung vorgesehenen Erneuerbaren-Ziels von 65 Prozent bis 2030 mindestens zwei der drei oben genannten Strategien greifen müssen. Vor dem Hintergrund der Perspektive Klimaneutralität bis 2050 und damit einer Erweiterung des Stromeinsatzes auf den Mobilitätssektor, den Gebäudebereich und wichtige Branchen der energieintensiven Industrie, werden jedoch alle drei Strategien erfolgreich umgesetzt werden müssen. Dies zeigen die Szenarien „Sektorkopplung: Fokus Wind“ sowie „Sektorkopplung: Fokus Solar“, in denen für das Jahr 2030 im Vergleich zu den anderen Szenarien von

einem um 50 Terawattstunden höheren Strombedarf von 650 Terawattstunden ausgegangen wird.

Eine beschleunigte Ausbaustrategie der erfolgreichen und inzwischen weitgehend ausgereiften Erneuerbare-Energien-Technologien erfordert einen entschiedenen politischen Willen. Eine Beschleunigung der Energiewende in diesem Sinne ist in den 2020er-Jahren grundsätzlich möglich und realistisch, weil ein rascher Zubau von Solar- und Windenergie im Gegensatz zur ersten starken Ausbauphase dieser Erneuerbare-Energien-Technologien zu Beginn der vergangenen Dekade heute mit keinen abschreckend hohen zusätzlichen Kosten mehr verbunden wäre. Insbesondere Großhandelsstrom wird mit einem zunehmenden Anteil Erneuerbarer Energien sogar günstiger.

Außerdem steht die Trendumkehr bei der Entwicklung der EEG-Umlage in den nächsten Jahren bevor.¹ Sie kann beschleunigt werden, wenn (wie von der Bundesregierung angekündigt) zusätzlich ein Teil der Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung zur Senkung der EEG-Umlage eingesetzt wird. Auf diese Weise profitieren auch industrielle Verbraucher jenseits der energieintensiven Unternehmen und Privatverbraucher von einer Beschleunigung des Ausbaus Erneuerbarer Energien. Großhandelsstrompreis und EEG-Umlage zusammen liegen in allen vier Szenarios auf einem vergleichbaren Niveau von rund 10 Cent je Kilowattstunde.

¹ vgl. Agora Energiewende (2020)

Darstellung der Szenarien und der Modellierung

Fünf Szenarien im Detail

In dieser Studie wurden insgesamt fünf Szenarien betrachtet:

- Szenario „Aktueller Trend“: Hier wird davon ausgegangen, dass sich die gegenwärtig zu beobachtende Zubaukrise bei Windenergieanlagen an Land fortsetzt, wenn auch etwas weniger dramatisch als im Jahr 2019. Im Vergleich zu den Jahren vor 2018 mit einem Bruttozubau bis zu mehr als fünf Gigawatt pro Jahr wird in diesem Szenario bis 2022 nur ein Bruttozubau von Windenergieanlagen an Land von einem Gigawatt pro Jahr sowie von zwei Gigawatt pro Jahr ab 2023 unterstellt. Bis einschließlich 2023 wird angenommen, dass die bekannten Projekte für Windenergieanlagen auf See wie geplant ans Netz gehen. Danach erfolgt der weitere jährliche Zubau bis 2030 gleichmäßig und entsprechend der Planungen der Bundesregierung im *Klimaschutzprogramm 2030* auf 20 Gigawatt. Der jährliche Photovoltaikzubau beträgt – wie zuletzt im Jahr 2019 – vier Gigawatt. Der für 2030 angenommene Bruttostromverbrauch liegt bei 600 Terawattstunden. Im Ergebnis des Trend-Szenarios wird das 65-Prozent-Ziel der Bundesregierung klar um zehn Prozentpunkte verfehlt.
- Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“: In diesem Szenario wird wie im Szenario „Aktueller Trend“ von demselben und im Vergleich zu den jährlichen Zubauraten der Vergangenheit niedrigen Bruttozubau von Windenergieanlagen an Land ausgegangen. Der Bruttostromverbrauch im Jahr 2030 liegt auch hier bei 600 Terawattstunden. Die Ökostromlücke wird jedoch in diesem Szenario geschlossen a) durch einen signifikanten zusätzlichen Zubau an Photovoltaik von anfänglich vier, sechs und acht Gigawatt pro Jahr in den Jahren 2020, 2021 und 2022 auf schließlich jährlich knapp elf Gigawatt pro Jahr bis 2030 und b) durch einen zusätzlichen Ausbau der Offshore-Windkraftkapazität von 20 auf 25 Gigawatt bis 2030.
- Szenario „Minimallösung: Fokus Wind“: In diesem Szenario wird das 65-Prozent-Erneuerbare-Ziel bis 2030 ebenfalls erreicht, jetzt jedoch vor allem durch einen ausgewogenen Ausbau von Windenergie an Land und Photovoltaik. Das bedeutet, dass die aktuelle Zubaukrise bei Onshore-Windenergie durch aktives politisches Handeln rasch erfolgreich überwunden wird. Konkret steigt der Bruttozubau von Windenergie an Land über zwei Gigawatt (2021) auf 3,5 Gigawatt (2022) und dann stetig weiter auf fünf Gigawatt im Jahr 2030. Dieser relativ hohe Bruttozubau dient auch dem Ausgleich von Windkraftkapazität, die in den 2020er-Jahren nach dem Erreichen der 20-jährigen Förderperiode schritt- und teilweise aus dem Markt geht. Wie im Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“ erreicht die Offshore-Windkraftkapazität auch im Szenario „Minimallösung: Fokus Wind“ 25 Gigawatt bis 2030. Der jährliche Photovoltaikausbau verharrt auf dem aktuellen Niveau des Jahres 2019 von vier Gigawatt pro Jahr. Dem Szenario liegt erneut ein Bruttostromverbrauch von 600 Terawattstunden im Jahr 2030 zugrunde.
- Szenario „Sektorkopplung: Fokus Solar“: Dieses Szenario geht (wie auch das nachfolgende) von einer verstärkten Elektrifizierung des Energiesystems durch Sektorkopplung aus – insbesondere auch von wichtigen Teilen der energieintensiven Industrie. Der Bruttostromverbrauch Deutschlands steigt infolgedessen um 50 auf dann 650 Terawattstunden im Jahr 2030. Auch in diesem Szenario wird die Ökostromlücke geschlossen. Absolut gesehen ist daher ein gegenüber den beiden Szenarien mit dem Marker „Minimallösung“ entsprechend stärkerer Ausbau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten erforderlich. In diesem Szenario, mit dem Fokus auf solare Stromerzeugung, steigt der Photovoltaikzubau

analog zum oben vorgestellten Szenario „Minimallösung: Fokus Solar“ auf knapp elf Gigawatt pro Jahr ab 2023. Zusätzlich steigt jetzt jedoch auch die jährlich zugebaute Onshore-Windenergiekapazität so an wie oben für das Szenario „Minimallösung: Fokus Wind“ angenommen. Die Offshore-Windkraftkapazität steigt erneut auf 25 Gigawatt bis 2030.

→ Szenario „Sektorkopplung: Fokus Wind“: Ziel dieses Szenarios ist wieder, das 65-Prozent-Ziel für Erneuerbare Energien bis 2030 in einem Deutschland mit fortgeschrittener Sektorkopplung und mit einem Bruttostromverbrauch von 650 Terawattstunden einzuhalten. Dazu muss der Bruttozubau von Windenergie an Land bis zum Jahr 2023 steil auf fünf Gigawatt ansteigen. Danach geht der Ausbau jährlich moderat zunehmend weiter und erreicht mehr als sechs Gigawatt im Jahr 2030. Auch der Zubau der Offshore-Windenergie wird in diesem Szenario weiter angehen, sodass im Jahr 2030 eine Gesamtleistung von 28 Gigawatt erreicht wird. Der Ausbau der Photovoltaik verharret in diesem Szenario zunächst 2020 und 2021 bei vier Gigawatt und steigt in den Jahren 2022 bis 2030 auf jeweils sechs Gigawatt.

Annahmen zum Rückbau von EEG-Anlagen und Marktaustritt nach Ablauf der 20-jährigen Vergütungsperiode

Erstmals werden in den 2020er-Jahren, nach Ablauf der 20-jährigen Vergütungsperiode (zuzüglich des Jahres der Inbetriebnahme) und/oder dem Erreichen ihrer technischen Lebensdauer, EEG-Anlagen in wachsender Zahl vom Netz gehen. Die so entfallende Stromerzeugung muss bei der Ermittlung der Zubauszenarien berücksichtigt werden, wenn das Ziel der Bundesregierung, bis 2030 mindestens 65 Prozent des Stromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien bereitzustellen, eingehalten werden soll. Erforderlich ist der jährliche Zubau zusätzlicher Kapazitäten in der Höhe, in der EEG-Anlagen im jeweiligen Jahr vom Netz gehen. Der Bruttozubau gibt die Kapazität der

Erneuerbare-Energien-Anlagen an, die im jeweiligen Jahr neu ans Netz gehen. Der Nettozubau berücksichtigt dagegen auch die Anlagen, die im selben Jahr aus dem Markt gehen. Er liegt also immer dann niedriger als der Bruttozubau, wenn Anlagen endgültig vom Netz gehen. Im Extremfall, wenn in einem Zeitraum Anlagen mit einer größeren Kapazität endgültig abgeschaltet werden, als neue hinzugebaut werden, ist der Nettozubau negativ; die insgesamt installierte Leistung der am Netz angeschlossenen Anlagen sinkt.

Das in dieser Studie verwendete Modell berücksichtigt den Rückbau von Anlagen am Ende ihrer Lebenszeit. Bei Windkraft auf See ist bis 2030 aufgrund der Anlagenlebensdauer noch kein Rückbau zu erwarten, weil die Anlagen noch zu jung sind. Anders stellt sich die Situation bei der Windenergie an Land dar. Hier kommen in den 2020er-Jahren immer mehr Anlagen an das Ende ihrer Förderdauer und/oder ihrer technischen Lebensdauer. Der im Zeitraum 2021 bis 2030 insgesamt zu erwartende Rückbau summiert sich auf eine Leistung von rund zwölf Gigawatt. Bei für Altanlagen an Land angenommenen durchschnittlichen 1.600 Vollbenutzungsstunden (theoretische Einsatzstunden mit Nennleistung pro Jahr) würde ein ersatzloser Rückbau von zwölf Gigawatt den Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch im Jahr 2030 um etwa drei Prozentpunkte mindern.

Damit das 65-Prozent-Ziel 2030 dennoch erreicht werden kann, muss der zu erwartende Rückbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen durch einen entsprechend größeren Bruttozubau zusätzlich zum benötigten Aufwuchs der installierten Leistungen (Nettozubau) kompensiert werden. In den Szenarios „Aktueller Trend“ und „Minimallösung: Fokus Solar“ wird unterstellt, dass sich die Bruttozubauren des Jahres 2019 bei Windkraftanlagen an Land zwar leicht erholen, jedoch nicht so stark, dass sie die gleichzeitig aus dem Netz gehenden Anlagen voll kompensieren. Bei den anderen Szenarios hingegen, steigt die Zubaurate mit der Zeit weiter an, um die von Jahr zu Jahr größeren Mengen auszugleichen, die

nun entlang des Aufwuchses der EEG-Anlagen von vor 20 Jahren schrittweise wieder wegfallen.

Dabei geht die Modellierung in allen Szenarien davon aus, dass von den Windenergieanlagen, die das Ende ihrer Förderperiode nach 20 Jahren erreichen, ab dem 21. Jahr jährlich zehn Prozent der ursprünglichen Kapazität vom Netz gehen. Daraus ergibt sich eine angenommene mittlere Lebensdauer von 25 Jahren beziehungsweise eine gleichmäßige Spreizung der Betriebszeiten von 20 bis 30 Jahren.

Bei der Photovoltaik kommt bis zum Jahr 2030 zwar eine große Anzahl von Anlagen an das Ende ihrer Förderdauer. Weil in der Anfangszeit des EEG jedoch weit überwiegend sehr kleine, leistungsschwache Anlagen installiert wurden, bleibt der Einspeiseverlust ins Netz hier im Vergleich zu den Strommengen bei Onshore-Windkraft bis 2030 gering.

Annahmen für den Zubau Erneuerbarer-Energien-Anlagen und der Stromnachfrage sowie weitere Annahmen

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der Annahmen in den fünf betrachteten Szenarien.

Für die Szenarien wurden die in den Abbildungen 7, 8 und 9 dargestellten, jährlichen Zubaukapazitäten angenommen. Zur besseren Einordnung sind in den Abbildungen auch die in den vergangenen Jahren jeweils real zugebauten Kapazitäten dargestellt.

Grundsätzlich liegen die in den verschiedenen Szenarien angenommenen jährlichen Bruttozubaukapazitäten im Korridor von Zubaumengen, die in früheren Jahren schon einmal erreicht wurden, mit folgenden Ausnahmen: In den Szenarien „Minimallösung: Fokus Solar“ und „Sektorkopplung: Fokus Solar“ findet ein erheblich stärkerer Zubau von Photovoltaikanlagen beziehungsweise von Windenergieanlagen auf See statt, als wir ihn in der Vergangenheit gesehen beziehungsweise geplant haben.

Überblick über die jährlichen Bruttozubauraten von Windkraftanlagen an Land, Windkraft auf See und Photovoltaik bis 2030 sowie die Bruttostromnachfrage 2030 in den Szenarien

Tabelle 1

Szenario	Aktueller Trend	Minimallösung: Fokus Wind	Minimallösung: Fokus Solar	Sektorkopplung: Fokus Wind	Sektorkopplung: Fokus Solar
Zubau Windkraft an Land	1 GW/a bis 2022; 2 GW/a ab 2023	1 GW 2020; 2 GW 2021; 3,5 GW ab 2022 ansteigend bis auf 5,1 GW 2030	1 GW/a bis 2022; 2 GW/a ab 2023	1 GW 2020; 2 GW 2021; 3,5 GW 2022 ansteigend bis auf 6,3 GW in 2030	1 GW 2020; 2 GW in 2021; 3,5 GW ab 2022 ansteigend bis auf 5,1 GW 2030
Zielkapazität Windkraft auf See	20 GW 2030	25 GW 2030	25 GW 2030	28 GW 2030	25 GW 2030
Zubau Photovoltaik	4 GW/a	4 GW/a	4 GW 2020; 6 GW 2021; 8 GW 2022; 10,5 GW/a ab 2023	4 GW/a bis 2021; 6 GW/a ab 2022	4 GW 2020; 6 GW 2021; 8 GW 2022; 10,5 GW/a ab 2023
Bruttostromverbrauch 2030	600 TWh/a	600 TWh/a	600 TWh/a	650 TWh/a	650 TWh/a

Wattsight und Agora Energiewende (2020)



Jährlicher Bruttozubau von Photovoltaik

Abbildung 9



BMWi, BNetzA, Wattsight (2020)

Folgende Annahmen wurden szenarienübergreifend getroffen:

- Wegen der nach 20 Jahren (zuzüglich des Jahrs der Inbetriebnahme) auslaufenden Förderung werden – ohne Anschlussförderung – vorhandene Biomassekapazitäten vom Netz gehen. Die Biomassekapazität wird auf rund 5,5 Gigawatt bis zum Jahr 2030 rückgebaut. Dies entspricht dann noch einer jährlichen Produktion von circa 30 Terawattstunden.
- Dem Stilllegungspfad für Braunkohlekraftwerke liegt das Kohleausstiegsgesetz zugrunde, das am 29. Januar 2020 von der Bundesregierung beschlossen wurde.
- Der Stilllegungspfad für Steinkohlekraftwerke wurde so festgelegt, dass die Eckwerte des Kohleausstiegsgesetzes in den Referenzjahren eingehalten werden.
- Es wurde angenommen, dass die geplanten Grenzkuppelleitungen gemäß ENTSO-E (2019) wie vorgesehen in Betrieb genommen werden.

Für die Preise von Brennstoffen und CO₂-Emissionzertifikaten wurden ebenfalls eigene Annahmen angesetzt. Sie können Tabelle 2 entnommen werden.

Angenommene Preisentwicklung für Gas, Kohle und CO₂-Zertifikate

Tabelle 2

	Gas (€/MWh)	Kohle (€/t)	CO ₂ -Zertifikate (€/t)
2020	11,50	51,00	24,00
2021	15,00	59,00	24,00
2022	16,50	63,80	24,00
2023	17,00	63,80	24,30
2024	18,57	63,80	24,60
2025	20,14	63,80	25,00
2026	21,71	64,46	26,50
2027	23,29	65,12	28,00
2028	24,86	65,78	29,50
2029	26,43	66,44	31,00
2030	28,00	67,10	32,50

Wattsight und Agora Energiewende (2020)

Modellierung

Grundlage für die Simulationen war das Basisszenario für den europäischen Strommarkt der Langfristpreisprognose von Wattsight. Das Basisszenario wurde entsprechend der fünf oben eingeführten Szenarien adaptiert. Mittels fundamentaler Simulation wurden Sensitivitätsstudien durchgeführt. Im Fokus der Betrachtungen stand die Frage, welche Differenzen sich für die Spotpreise und für die CO₂-Emissionen für die betrachteten Szenarien ergeben. Weiterhin wurde untersucht, wie sich die veränderten Kapazitäten auf Erzeugungsmix, Import-Export-Bilanz sowie auf das Auftreten von negativen Preisen und Knappheitspreisen auswirken. Fokussiert wurde dabei auf das Jahr 2030.

Unter Nutzung einer Modellierung des europäischen Strommarktes in der fundamentalen Preissimulationsumgebung PLEXOS wurde der deutsche und europäische Strommarkt bis zum Jahr 2030 in stündlicher Auflösung simuliert.

Zur Simulation wurde zum einen ein Normalwetterzenario verwendet, das auf dem 30-jährigen meteorologischen Mittel basiert und somit keine Extreme aufweist. Zum anderen wurden zwei reale historische Wetterjahre, ein windärmeres und ein windreicheres, für die Simulationen eingesetzt, um

auch den Einfluss von realen Wetterverläufen und Extremen zu studieren. Dabei wurden die historisch reanalysierten Wetterdaten der entsprechenden Jahre auf die zukünftig angenommenen Kapazitäten von Windkraft und Photovoltaik hochskaliert, um die entsprechende Stromproduktion zu simulieren. Auch die Temperatursensitivität des Stromverbrauchs wurde entsprechend mit den historischen Temperaturdaten angepasst. Zu weiteren Untersuchungen und Erläuterungen hinsichtlich der Wettersensitivitäten von Spotpreisen sei an dieser Stelle auf Lenz und Trapp (2019) verwiesen.

Als windreiches Wetterjahr wurde das Jahr 2007 und als windarmes Wetterjahr das Jahr 2009 ausgewählt. Tabelle 3 charakterisiert die beiden Wetterjahre hinsichtlich ihrer Abweichungen in Windstrom- und Photovoltaikproduktion für das Referenzjahr 2021, Tabelle 4 hinsichtlich der Temperaturabweichung vom Normal der vier Quartale.

Der Vorteil der Auswahl der beiden genannten Wetterjahre besteht darin, dass in beiden Fällen die jährlichen Mittelwerte den Werten des Normalzenarios wieder recht nahekommen. Das Jahr 2007 weist so beispielsweise 107,9 Prozent der Windproduktion auf See auf bezogen auf die erwarteten Kapazitäten im Jahr 2021, im Jahr 2009 sind es 92,0 Prozent. Im

Wind- und Solarenergieertrag der betrachteten Wetterjahre in Relation zum Normalwetterzenario

Tabelle 3

Wetterszenario	Normal	2007	2009
Windkraft an Land	100,0 %	107,9 %	92,0 %
Windkraft auf See	100,0 %	105,0 %	96,8 %
Solarstrom	100,0 %	99,1 %	101,1 %

Wattsight (2020)

Deutschlandweite Temperaturabweichung von Normal der Quartale der betrachteten Jahre (in °C) Tabelle 4

Temperaturabweichung von Normal	Normal	2007	2009
1. Quartal	0,0	5,5	-3,1
2. Quartal	0,0	1,8	0,6
3. Quartal	0,0	-2,6	1,3
4. Quartal	0,0	-3,3	0,2

Wattsight (2020)

Mittel sind dies fast genau 100 Prozent, was eine gute Vergleichbarkeit zum Normalszenario erlaubt. Die Erzeugung aus Photovoltaik fluktuiert in den beiden Wetterszenarien insgesamt nicht so stark.

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2020): *Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2019. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2020,* www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/die-energiewende-im-stromsektor-stand-der-dinge-2019/

ENTSO-E (2019): *Network Development Plan 2018; Final version after consultation and ACER opinion,* Oktober 2019

Lenz, K., Trapp, C. (2019): *Wettersensitivitäten von Spotpreisen und Marktwerten,* emw Heft 5/2019

Publikationen von Agora Energiewende

AUF DEUTSCH

Klimaneutrale Industrie

Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement

Charta für eine Energiewende- Industriepolitik

Ein Diskussionsvorschlag von Agora Energiewende und Roland Berger

Dialog „Energiewende und Industriepolitik“

Abschlussbericht

Flex-Efficiency

Ein Konzept zur Integration von Effizienz und Flexibilität bei industriellen Verbrauchern

Aktionsplan Lastmanagement

Endbericht einer Studie von Connect Energy Economics

Vom Wasserbett zur Badewanne

Die Auswirkungen der EU-Emissionshandelsreform 2018 auf CO₂-Preis, Kohleausstieg und den Ausbau der Erneuerbaren

Die Kohlekommission

Ihre Empfehlungen und deren Auswirkungen auf den deutschen Stromsektor bis 2030

65 Prozent Erneuerbare bis 2030 und ein schrittweiser Kohleausstieg

Auswirkungen der Vorgaben des Koalitionsvertrags auf Strompreise, CO₂-Emissionen und Stromhandel

15 Eckpunkte für das Klimaschutzgesetz

Verteilnetzausbau für die Energiewende

Elektromobilität im Fokus

Stromnetze für 65 Prozent Erneuerbare bis 2030

Zwölf Maßnahmen für den synchronen Ausbau von Netzen und Erneuerbaren Energien

Die Kosten von unterlassendem Klimaschutz für den Bundeshaushalt

Die Klimaschutzverpflichtungen Deutschlands bei Verkehr, Gebäuden und Landwirtschaft nach der EU-Effort-Sharing-Entscheidung und der EU-Climate-Action-Verordnung

Klimaschutz auf Kurs bringen

Wie eine CO₂-Bepreisung sozial ausgewogen wirkt

Publikationen von Agora Energiewende

AUF ENGLISCH

Supporting the Energy Transition in the Western Balkans

The German Power Market: State of Affairs in 2019

State of Affairs in 2019

The Liberalisation of Electricity Markets in Germany

History, Development and Current Status

A Word on Low Cost Renewables

The Renewables Breakthrough: How to Secure Low Cost Renewables

Building sector Efficiency: A crucial Component of the Energy Transition

Final report on a study conducted by Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (Ifeu), Fraunhofer IEE and Consentec

Climate-neutral industry (Executive Summary)

Key technologies and policy options for steel, chemicals and cement

Distribution grid planning for a successful energy transition – focus on electromobility

Conclusions of a study commissioned by Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Regulatory Assistance Project (RAP)

Unlocking Low Cost Renewables in South East Europe

Case Studies on De-risking Onshore Wind Investment

Climate (Un)ambition in South East Europe

A Critical Assessment of the Draft National Energy and Climate Plans

The German Coal Commission

A Roadmap for a Just Transition from Coal to Renewables

The Southeast European power system in 2030

Flexibility challenges and regional cooperation benefits

The French CO2 Pricing Policy:

Learning from the Yellow Vests Protests

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

Wie gelingt uns die Energiewende?

Welche konkreten Gesetze, Vorgaben und Maßnahmen sind notwendig, um die Energiewende zum Erfolg zu führen?

Agora Energiewende will den Boden bereiten, damit Deutschland in den kommenden Jahren die Weichen richtig stellt. Wir verstehen uns als Denk- und Politiklabor, in dessen Mittelpunkt der Dialog mit den relevanten energiepolitischen Akteuren steht.



Unter diesem QR-Code steht
diese Publikation als PDF zum
Download zur Verfügung.

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin

T +49 (0)30 700 14 35-000

F +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-energiewende.de

info@agora-energiewende.de

