

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Strom aus Windenergie (Onshore) in Deutschland

### Anlagenleistung (elektrisch):

56,13 GW (2021)

54,9 GW (2020)

### Anlagenanzahl:

28.230 (2021)

29.608 (2020)

### Bruttostromerzeugung:

96,3 TWh (2021)

112 TWh (2020)

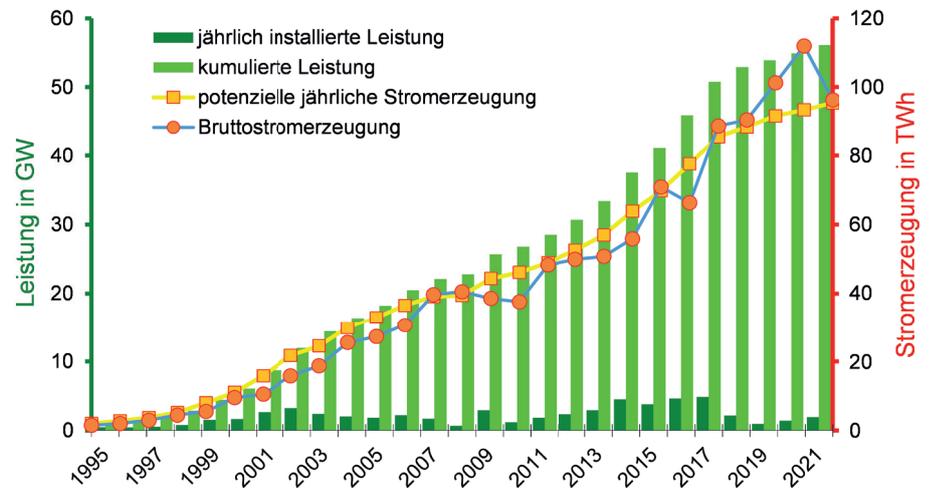


Abb. 1: Stand des Ausbaus der Onshore-Windkraft in Deutschland für die Jahre 1995 bis 2021

## Technischer Ansatz

Die von der Sonne auf die Erde eingestrahlte Sonnenenergie treibt auch die globalen Luftzirkulationssysteme an; diese sind z. T. auch für die Luftbewegungen in der planetarischen Grenzschicht verantwortlich. Ein Teil der Strömungsenergie dieser Luftbewegung kann mithilfe des Auftriebsprinzips – technisch typischerweise durch einen Dreiblattrotor einer Windkraftanlage realisiert – in eine Drehbewegung an der Rotorwelle umgewandelt werden. Diese Rotation treibt dann mittel- oder unmittelbar einen Generator an, durch den die Wandlung der Windgeschwindigkeit in elektrische Energie abgeschlossen wird.

## Stand der Nutzung

Ende 2021 waren in Deutschland 28 230 Onshore-Windkraftanlagen mit einer kumulierten Leistung von 56,13 GW in Betrieb (Abb. 1). Im Vergleich zum Vorjahr ist die kumulierte Leistung um 2,2 % (1,69 GW) gestiegen. Ab 2021 werden nur noch Anlagen mit einer elektrischen Nennleistung oberhalb von 100 kW statistisch erfasst; gegenüber dem Vorjahr hat sich die angegebene Anzahl an Anlagen dadurch um etwa 1 000 reduziert. 2021 erzeugten diese Onshore-Windkraftanlagen in Deutschland 96,3 TWh; dies entspricht ungefähr der bei durchschnittlichen Windverhältnissen erwarteten Stromerzeugung von 95,4 TWh. Im Vergleich zum Vorjahr fiel die Stromerzeugung 2021 somit um 14 % geringer aus (2020: 112 TWh) [4, 5].

## Laufende Entwicklungen

2021 wurden 484 Onshore-Anlagen errichtet; dies entspricht einer Steigerung um 35 % gegenüber 2020 (420). Gleichzeitig wurden 230 Anlagen zurückgebaut (Abb. 1). Daraus resultiert ein Nettozubau von 254 Anlagen (17,1 % mehr als 2020). Aufgrund deutlich niedrigerer Anlagenleistungen der rückgebauten gegenüber den neu zugebauten Windkraftanlagen kam es zu einem Nettozubau von 1.692 MW (d. h. einem Rückbau von rund 233 MW (2020: 222 MW) steht ein Zubau von 1.925 MW gegenüber). Seit dem Negativrekord im Nettoausbau von 2019 (981 MW) ist somit seit 2020 (1 432 MW) eine Trendwende zu verzeichnen [4, 5].

Die durchschnittliche Anlagenleistung steigerte sich 2021 um 17 % auf 3.978 kW (2020: 3 407 kW). Gleichzeitig stieg der Rotordurchmesser um 19 % auf 133 m (2020: 112 m), die Nabenhöhe um 3,7 % auf 140 m (2020: 135 m) und die durchschnittliche Gesamthöhe um 6 % auf 206 m an. Somit setzt sich der Trend größer werdender Anlagen mit abnehmender durchschnittlicher Flächenleistung (2021: 286 W/m<sup>2</sup>; 2020: 298 W/m<sup>2</sup>) weiter fort [4, 5].

2021 wurden nur 64 (2020: 102) Anlagen mit einer Gesamtleistung 244 MW (2020: 339 MW) repowered. Die durchschnittliche Leistung der Repowering-Anlagen beträgt dabei 3.813 kW (2020: 3.324 kW) und die mittlere Leistung der rückgebauten Anlagen 1 013 kW (2020: 1 094 kW). Das Repowering nimmt bezogen auf den Gesamtzubau 2021 einen Anteil von rund

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Strom aus Windenergie (Onshore) in Deutschland

13 % ein; gegenüber 2020 ist die Repoweringquote somit wieder gesunken (2020: 24 %) [4, 5].

Niedersachsen liegt in der regionalen Verteilung des Windenergiezubaues mit 421 MW (2020: 167 MW, Platz 3) auf Platz 1, gefolgt von Brandenburg mit 412 MW (2020: 238 MW, Platz 2) und Nordrhein-Westfalen 331 MW (2020: 317 MW, Platz 1). Die durchschnittlichen Nabenhöhen der neu installierten Anlagen liegen in den einzelnen Bundesländern zwischen 73 m in Sachsen und 161 m in Thüringen. Die Entwicklung hin zu größeren Nabenhöhen und geringeren spezifischen Flächenleistungen ist insbesondere in den südlicheren Bundesländern

2021 nur bedingt erkennbar; aufgrund des weiterhin geringen Zubaus sind die Daten jedoch stark durch Einzelprojekte bestimmt. Auf Norddeutschland (Niedersachsen, Bremen, Hamburg, Schleswig-Holstein sowie Mecklenburg-Vorpommern) entfallen rund 40 % der Neustallationen (2020: 29 %) und auf die südlichen Bundesländer Rheinland-Pfalz, Bayern, Baden-Württemberg und Saarland nur rund 11 % [4, 5].

Auch im Ausschreibungsjahr 2021 wurde das ausgeschriebene Volumen unterdeckt. Allerdings konnte – trotz der Tatsache, dass insgesamt 22 % des Volumens ohne Vergabe blieben – gegenüber 2020 eine deutliche Steigerung der Beteiligung verzeichnet werden (2020: 32 % ohne Vergabe) [4, 5].

Von den 2021 ausgeschriebenen 4.354 MW wurden 3.296 MW bezuschlagt. Da damit ein merklicher Teil der ausgeschriebenen Leistung nicht vergeben wurde, liegt der mengengewichtete Zuschlagswert mit 0,06 €/kWh wie im Vorjahr nahe dem zulässigen Höchstwert [4, 5].

Derzeit sind im Marktstammdatenregister Genehmigungen für rund 888 Windenergieanlagen mit 4,1 GW an Anlagenleistung für 2021 gemeldet; entsprechend kann erwartet werden, dass sich der steigende Trend der letzten Jahre fortsetzt. Allerdings liegt die Anzahl an Genehmigungen als Grundvoraussetzung für die Teilnahme an den kommenden Ausschreibungen, niedriger als vor Einführung des Ausschreibungsverfahrens [4, 5].

Der Zubau der Windkraft hat damit 2021 insgesamt eine Trendwende vollzogen und weist wieder steigende Zahlen auf. Damit könnte das Niveau von 2018 (2 154 MW) voraussichtlich in den kommenden Jahren überboten werden; das Ausbauniveau vom Rekordjahr 2017 (5.009 MW) dürfte dennoch zeitnah nicht wieder erreicht werden [3]. Die Ausbauziele werden ohne Veränderung der aktuellen Rahmenbedingungen potenziell weiterhin unterschritten – nicht zuletzt aufgrund genehmigungsrechtlicher Hindernisse. Zwar konnte sich die Genehmigungslage im Vergleich zu 2020 etwas verbessern. Für einen Ausbau gemäß

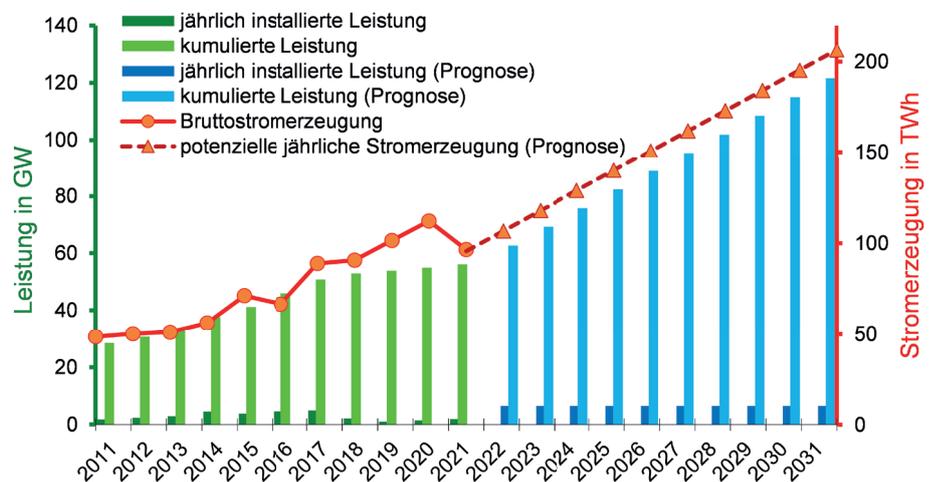


Abb. 2: Ausbau der Offshore-Windkraft in den vergangenen 10 Jahren sowie die prognostizierte Entwicklung, für den Fall, dass die gesetzten Ausbauziele erreicht werden.

den im Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung definierten Zielen werden jedoch deutlich mehr Genehmigungen sowie zusätzliche Flächen benötigt. Insgesamt besteht außerdem weiterhin ein großes Ausbauehemnis in den vielen rechtlichen Anfechtungen selbst genehmigter Windkraftprojekte – der größte Teil der Windkraftprojekte liegt vor Gericht [4, 5].

### Ausblick

Der generelle Trend der Zunahme von Projekten in windschwächeren Standorten und der damit einhergehenden Veränderung der durchschnittlichen Konfiguration neu installierter Anlagen (d. h. höhere Nabenhöhen, größere Rotordurchmesser, niedrigere spezifischen Flächenleistungen) wird voraussichtlich weitergehen. Diese Veränderungen werden sich jedoch entsprechend abschwächen.

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Strom aus Windenergie (Onshore) in Deutschland



Nach dem Regierungswechsel 2021 wurden neue Ausbauziele für die erneuerbaren Energien bis 2030 definiert; demnach sollen die Windkraftanlagenkapazitäten bis 2030 auf etwa 115 GW gesteigert werden [1]. Das würde eine durchschnittliche jährliche Steigerung der Leistung von 6,5 GW für Onshore-Windenergieanlagen bedeuten (Abb. 2) [2].

Um neue Flächen für diesen Ausbau zu erschließen, können Windenergieanlagen ab Mitte 2022 beispielsweise deutlich näher an Flugsicherungsanlagen mit Drehfunkfeuern gebaut werden. Dabei ist eine Reduktion des Sicherheitsabstands von 15 km auf etwa 6 bis 7 km geplant; dadurch kann ein zusätzliches Flächenpotenzial für den Ausbau von etwa 5 GW an Onshore-Windkraft erschlossen werden [6].

Für das Jahr 2022 sind Ausschreibungen mit einem Gesamtvolumen von 4 GW vorgesehen. Diese verteilen sich auf drei Ausschreibungstermine mit Volumina von jeweils 1,33 GW. Neben den Auktionen für den regulären Ausbau von Onshore-Windenergieanlagen sind weitere 700 MW für Innovationsausschreibungen geplant. Hier können beispielsweise Projekte partizipieren, die Windenergieanlagen mit Speichertechnologien kombinieren. Dafür sind zwei Ausschreibungen zu jeweils 350 MW vorgesehen [3].

## Literatur

- [1] BDEW. 2021. Koalitionsvertrag gibt Grund zu Optimismus für mehr Tempo bei der Energiewende. <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/koalitionsvertrag-gibt-grund-zu-optimismus-fuer-mehr-tempo-bei-der-energiewende/>. Accessed 9 June 2022.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Klima. 2022. Referentenentwurf. Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Berlin.
- [3] Bundesnetzagentur. 2022. Ausschreibungen für EE- und KWK-Anlagen. Ausschreibungen 2022. <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/start.html>. Accessed 9 May 2022.
- [4] Deutsche WindGuard. 2021. Status des Windenergieausbaus an Land. Jahr 2020, Varel.
- [5] Deutsche WindGuard. 2022. Status des Windenergieausbaus an Land. Jahr 2021, Varel.
- [6] Strom-Forschung. 2022. Forschungsprojekte schaffen Platz für zusätzliche Windenergie. <https://www.strom-forschung.de/aktuelles/news/2022/forschungsprojekte-schaffen-platz-fuer-zusaetzliche-windenergie>. Accessed 13 April 2022.

### Verantwortliche Autoren:

Michael Schulthoff, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Technische Universität Hamburg  
Jelto Lange, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Technische Universität Hamburg  
Martin Kaltschmitt, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Technische Universität Hamburg