

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Photovoltaische Stromerzeugung

### Anlagenleistung (elektrisch):

59 GW (2021)

54 GW (2020)

### Anlagenanzahl:

2,2 Mio. (2021)

2,0 Mio. (2020)

### Bruttostromerzeugung:

50 TWh (2021)

50 TWh (2020)

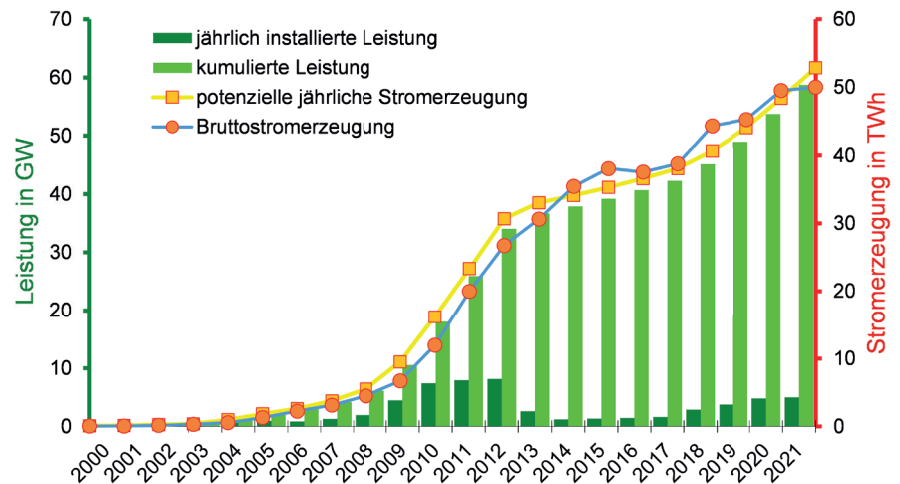


Abb. 1: Stand des Ausbaus der Photovoltaik in Deutschland für die Jahre 2000 bis 2024 (Daten nach [1], Referentenentwurf EEG 2023 (Stand 03.04.2022))

## Technischer Ansatz

Bei der photovoltaischen Stromerzeugung wird mithilfe von Solarzellen die auftreffende Solarstrahlung trägeheitslos in elektrische Energie umgewandelt. Derartige Photovoltaikzellen bestehen aus einem entsprechend konditionierten Halbleitermaterial, in dem die Solarstrahlung Elektronen aus dem Kristallgitter lösen kann. Die freien Elektronen befinden sich in einem materialinternen elektrischen Feld und werden dadurch an einer Rekombination gehindert; dadurch wirkt die Zelle als Strom- und Spannungsquelle. Derartige Solar- oder Photovoltaikzellen werden zu Modulen mit definierten Eigenschaften zusammengeschaltet. Eine Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) besteht in der Regel aus mehreren miteinander gekoppelten Modulen, die an einen Wechselrichter angeschlossen werden, der den photovoltaischen Gleichstrom in netzkompatiblen Wechselstrom wandelt. Letzteres ermöglicht dann eine Einspeisung des PV-Stroms ins Netz der öffentlichen Versorgung. PV-Module können z. B. per Aufständigung auf Freiflächen aufgestellt oder auch in bestehende bauliche Strukturen integriert werden (z. B. auf Hausdächer).

## Stand der Nutzung

Ende 2021 lag die installierte PV-Leistung in Deutschland in über 2,2 Mio. Anlagen bei 59 GW (9 % mehr im Vergleich zu 2020) [1–3]. Diese insgesamt in Deutschland installierte Leistung teilt sich zu rund

drei Vierteln auf Dachanlagen und zu einem Viertel auf Freiflächenanlagen auf [4].

Insgesamt wurde mit diesem Anlagenpark 2021 eine Bruttostromerzeugung von 50 TWh realisiert; dies lag etwas unterhalb der theoretischen Erzeugung bei durchschnittlicher Einstrahlung von rund 53 TWh (Abb. 1) [2, 5]. Im Vergleich zum sonnenreicheren Vorjahr wurde damit kein signifikanter Mehrertrag erzielt (2020: 50 TWh) [1, 2, 5, 6].

## Laufende Entwicklungen

2021 wurden etwa 200 000 PV-Anlagen mit einer kumulierten Leistung von 5,3 GW neu installiert. Durch einen parallel stattfindenden Rückbau von Anlagen mit einer kumulierten Leistung von etwa 0,3 GW resultierte daraus ein Nettozubau von etwa 5,0 GW. Im Vergleich zum Vorjahr konnte der Nettozubau damit um etwa 4 % gesteigert werden (2020: 4,8 GW) [1, 6]. Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2021 (EEG 2021) veränderten sich die Ausschreibungsmodalitäten für PV-Anlagen. Sie werden nun aufgeteilt in Ausschreibungen für Anlagen des ersten (z. B. Anlagen auf Freiflächen oder sonstigen baulichen Flächen) und zweiten Segments (z. B. Aufdachanlagen, Anlagen an oder in Gebäuden). Zusätzlich zu den ausgeschriebenen Mengen können Anlagen kleiner 750 kW mit einem festen Vergütungssatz – also ohne Teilnahme an einer Ausschreibung – gefördert werden. Hierunter fallen beispielsweise auch Kleinanlagen bis 10 kW, die üblicherweise von

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Photovoltaische Stromerzeugung



Privatpersonen als Aufdachanlagen auf Ein- oder Zweifamilienhäusern installiert werden. 2021 betrug der Leistungszubau von derartigen Anlagen rund 3,9 GW; diese Variante stellt damit den größten Anteil des Zubaus dar (73 %) [3, 4]. Von diesen 3,9 GW außerhalb der EEG-Ausschreibungen entfallen 200 MW auf Freiflächenanlagen.

Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, gänzlich auf eine EEG-Förderung zu verzichten. Dieses Modell wird z. B. für Power-Purchase-Agreements (PPA) genutzt oder wenn eine Direktvermarktung des PV-Stroms angestrebt wird. Nach aktueller Datenlage ist unklar, welchen Anteil ungeförderter PV-Anlagen am aktuellen Anlagenpark stellen, da diese zwar im Marktstammdatenregister erfasst, jedoch nicht explizit ausgewiesen werden. Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 10 % des Zubaus seit 2019 ohne Förderung durch das EEG errichtet wurden bzw. werden; die geschätzte kumulierte Leistung beträgt etwa 1 GW [7]. Zuletzt wurden z. B. im Februar 2022 zwei förderfreie Solarparks mit jeweils 150 MW installierter Leistung und je einem Batteriespeicher mit einer Kapazität von 3,9 MWh in Betrieb genommen [8].

Für das Jahr 2021 gab es im Bereich des ersten Segments drei Ausschreibungsrunden (März, Juni und November) mit einer ausgeschriebenen Leistung von 617 MW, 510 MW bzw. 509 MW mit einem zulässigen Gebotshöchstwert von 0,059 €/kWh. Abgegeben wurden 288, 242 bzw. 232 Gebote mit einer eingereichten Gebotsmenge von 1 504 MW, 1 130 MW bzw. 986 MW. Es wurden 103, 95 bzw. 133 Zuschläge mit einer Zuschlagsmenge bei 620 MW, 513 MW bzw. 512 MW erteilt [9]. Der Anteil der Zuschläge im Verhältnis zur Gebotsmenge lag damit zwischen 41 und 52 %. Der durchschnittliche, mengengewichtete Zuschlagspreis lag für diese Ausschreibungsrunden bei 0,0503 €/kWh (März) und bei 0,0500 €/kWh (Juni und November) [9].

Im zweiten Segment wurden 2021 in zwei Runden bei einem zulässigen Gebotshöchstwert von 0,09 €/kWh je 150 MW ausgeschrieben. Von den 168 bzw. 209 Geboten mit einem Gesamtvolumen von 213 bzw. 233 MW wurden 114 bzw. 136 Gebote mit einem Volumen von 153 MW bzw. 154 MW bezuschlagt (72 bzw. 66 % der Gebotsmengen). Der durchschnittliche, mengengewichtete Zuschlagswert lag dabei bei 0,0688 €/kWh bzw. 0,0743 €/kWh. Im Vergleich zum Vorjahr waren die Auktionen damit leicht weniger überdeckt; 2020 wurden insgesamt lediglich 29 % der Gebots-

mengen bezuschlagt [9].

Jüngst werden auch vermehrt PV-Anlagen in Kombination mit Batteriespeichern installiert. Mögliche Gründe hierfür sind sinkende Einspeisevergütungen für Kleinanlagen sowie (befürchtete) steigende Strombezugskosten aus dem Netz der öffentlichen Versorgung. Vor allem aus der Sicht privater Betreiber von Dachanlagen kann dieser Punkt ein Anreiz für möglichst hohe Eigenverbrauchsanteile darstellen, da der Stromspeicher die Möglichkeit bietet, den selbst produzierten Photovoltaik-Strom zeitversetzt zu nutzen und somit den Eigenverbrauch (sowie den Autarkiegrad) zu erhöhen [10].

Darüber hinaus bieten Batteriespeicher in Kombination mit einem Batterie-elektrischen Fahrzeug (BEV) die Option, den selbst erzeugten PV-Strom als Ladestrom zu nutzen. Dadurch können die Eigenverbrauchsanteile von Kleinanlagen privater Anlagenbetreiber weiter erhöht und – in Abhängigkeit von den Gestehungskosten des jeweiligen Systems – ggf. auch Kostenreduktionen beim Betrieb des Elektrofahrzeugs erreicht werden. Hingegen können auch Batterie-elektrische Fahrzeuge selbst als mobiler Zwischenspeicher für den selbst produzierten Solarstrom genutzt werden und ggf. die separate Installation eines ortsfesten Batteriespeichers ersetzen.

2021 wurden etwa 120.000 Batteriespeicher installiert. Daraus resultiert zum Ende 2021 ein Speicherbestand von etwa 392.000 (2020: 272 000). Damit hat sich die Anzahl an Speichersystemen in Kombination mit einer PV-Anlage seit 2019 mehr als verdoppelt [11, 12].

## Ausblick

Im EEG 2021 wird ein Ausbauziel von 63 GW bis zum Jahr 2022 ausgegeben. Für dieses Ziel ist ein Netozubau von 4 GW nötig. Dieser Wert wurde in den Jahren 2020 und 2021 erreicht, sodass eine Zielerreichung bei einem weiteren Ausbau auf diesem Niveau möglich scheint. Für 2022 werden insgesamt 5,9 GW für Photovoltaikanlagen des ersten und zweiten Segments ausgeschrieben. Eine vollständige Bezuschlagung dieser Mengen würde genügen, um das Ausbauziel 2022 zu erreichen. Hinzu kommt der Ausbau von PV-Anlagen außerhalb der Ausschreibungspflicht und solche ohne Förderung durch das EEG.

Im Koalitionsvertrag sowie dem Referentenentwurf zum EEG 2023 (Fassung vom 04.03.2022) wurden die

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Photovoltaische Stromerzeugung



Ziele des EEG 2021 für den Ausbau von PV-Anlagen bis zum Jahr 2030 verdoppelt (Abb. 2) [13]. Darüber hinaus werden im Referentenentwurf, dem höheren Ausbauziel bis 2030 entsprechend, auch die Zwischenziele angepasst. Als Ziel für 2024 werden beispielsweise 88 GW statt 73 GW genannt. Zu dieser Zielerreichung wird ein jährlicher Zubau von rund 13,5 GW/a für 2023 und für 2024 benötigt.

Die im EEG 2023 geplante Anhebung der festen Einspeisevergütung für Anlagen unter 750 kW installierter Leistung könnte dabei einen Anreiz zum verstärkten Ausbau von Anlagen dieser Größenklasse geben, für die weiterhin ungenutzte Potenziale bestehen und die den größten Anteil am PV-Zubau stellen sollen [3, 14].

Ob Batteriespeicher künftig größere Verbreitung finden, könnte neben den Speicherkosten selbst und der Vergütung für (anteilig) eingespeiste Strommengen von Kleinanlagen vor allem auch durch die Strombezugskosten privater Haushalte bestimmt sein. Mit der Ankündigung, dass die EEG-Umlage noch im Jahr 2022 abgeschafft werden soll [15], ist eine Reduktion der Versorgungskosten über das Netz der öffentlichen Versorgung denkbar. Die Kostendifferenz zwischen dem Strombezug und dem selbsterzeugten PV-Strom würde somit potenziell sinken. Aus aktueller Sicht (Stand Mai 2022) bleibt jedoch abzuwarten, ob die derzeit hohen Kosten für fossile Energien den Wegfall der EEG-Umlage ausgleichen oder gar zu einem Anstieg der Strombezugskosten führen.

Auch in Kombination mit der Elektromobilität ist der weitere Ausbau von Heimspeichern von vielen Faktoren abhängig (u. a. Verfügbarkeit und den anfallenden Kosten bei öffentlichen Ladepunkten, Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen), die derzeit nur schwer in ihrer Tragweite abzuschätzen sind.

Insgesamt wird der Photovoltaik-Ausbau fortgeführt und entsprechend den politischen Zielsetzungen in den kommenden Jahren stark ausgeweitet. Ebenso wird der Ausbau in Kombination mit Speichertechnologien nach den aktuellen Trends weiter zunehmen, u. a. auch getrieben durch (vermeintliche) Unsicherheiten in Verbindung mit der öffentlichen Energie-

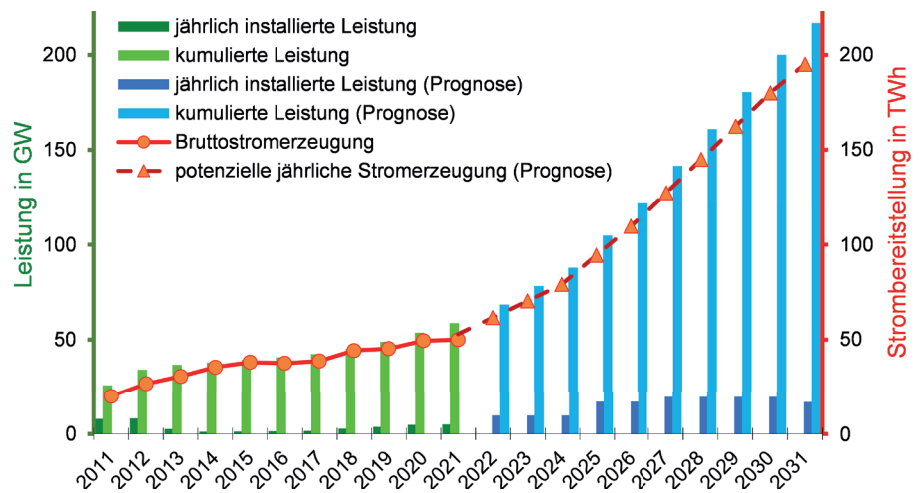


Abb. 2: Ausbau der Photovoltaik in den vergangenen 10 Jahren sowie die prognostizierte Entwicklung, für den Fall, dass die gesetzten Ausbauziele nach dem EEG 2023 erreicht werden

versorgung, ausgelöst durch aktuelle geopolitische Krisen, und die langfristigen Trends zu sinkenden Preisen auf Seiten der PV-Module sowie der Batteriespeicher. Zusätzlich können sich der Hochlauf der Elektromobilität und der weitere PV-Ausbau gegenseitig begünstigen und attraktive Nutzungsmodelle, insbesondere für private Haushalte, ermöglichen.

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand: Februar 2020 unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand: Februar 2022, [https://www.erneuerbare-energien.de/cae/servlet/actions/BMWI/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html?\\_\\_act=renderPdf&\\_\\_iDocId=90924](https://www.erneuerbare-energien.de/cae/servlet/actions/BMWI/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html?__act=renderPdf&__iDocId=90924), 2022. Zuletzt geprüft: 11.05.2022
- [2] Bundesverband Solarwirtschaft e.V.: Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik), Berlin, 2022
- [3] [www.pv-magazine.de: Photovoltaik-Zubau in Deutschland 2021 brutto bei 5263,2 Megawatt](https://www.pv-magazine.de/2022/01/31/photovoltaik-zubau-in-deutschland-2021-brutto-bei-52632-megawatt/), <https://www.pv-magazine.de/2022/01/31/photovoltaik-zubau-in-deutschland-2021-brutto-bei-52632-megawatt/>, 2022. Zuletzt geprüft: 11.05.2022
- [4] Umweltbundesamt (UBA): Photovoltaik - Flächeninanspruchnahme durch Freiflächenanlagen, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/photovoltaik#freiflaechen>, 2021. Zuletzt geprüft: 11.05.2022
- [5] Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A.: Erneuerbare

# ERNEUERBARE ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG

## Photovoltaische Stromerzeugung



- Energien, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2020
- [6] Bundesverband Solarwirtschaft e.V.: Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik), Berlin, 2021
  - [7] [www.pv-magazine.de: Förderfreie Photovoltaik-Anlagen mit etwa einem Gigawatt in Deutschland installiert](https://www.pv-magazine.de/2022/04/01/foerderfreie-photovoltaik-anlagen-mit-etwa-einem-gigawatt-in-deutschland-installiert/), <https://www.pv-magazine.de/2022/04/01/foerderfreie-photovoltaik-anlagen-mit-etwa-einem-gigawatt-in-deutschland-installiert/>, 2022. Zuletzt geprüft:
  - [8] [www.pv-magazine.de: EnBW nimmt zwei förderfreie Solarparks mit je 150 Megawatt Leistung in Betrieb](https://www.pv-magazine.de/2022/02/24/enbw-nimmt-zwei-foerderfreie-solarparks-mit-je-150-megawatt-leistung-in-betrieb/), <https://www.pv-magazine.de/2022/02/24/enbw-nimmt-zwei-foerderfreie-solarparks-mit-je-150-megawatt-leistung-in-betrieb/>, 2022. Zuletzt geprüft:
  - [9] Bundesnetzagentur: Ausschreibungen für EE- und KWK-Anlagen, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/start.html>, 2022. Zuletzt geprüft: 11.05.2022
  - [10] Verbraucherzentrale: Lohnen sich Batteriespeicher für Photovoltaikanlagen?, <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/lohnensich-batteriespeicher-fuer-photovoltaikanlagen-24589>, 2022. Zuletzt geprüft: 11.05.2022
  - [11] Bundesverband Solarwirtschaft e.V.: Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Speicher/Mobilität), Berlin, 2022
  - [12] Bundesverband Solarwirtschaft e.V.: Solarbatterie-Boom, [https://www.solarwirtschaft.de/wp-content/uploads/2021/08/bsw\\_infogr\\_solarbatterie.jpg](https://www.solarwirtschaft.de/wp-content/uploads/2021/08/bsw_infogr_solarbatterie.jpg), 2022. Zuletzt geprüft:
  - [13] SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP: Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP - Mehr Fortschritt Wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800>, 2021. Zuletzt geprüft: 11.05.2022
  - [14] [www.solarserver.de: Photovoltaik-Potenzial in Deutschland: 89 Prozent auf Hausdächern noch ungenutzt](https://www.solarserver.de/2021/04/08/photovoltaik-potenzial-in-deutschland-89-prozent-auf-hausdaechern-noch-ungenutzt/), <https://www.solarserver.de/2021/04/08/photovoltaik-potenzial-in-deutschland-89-prozent-auf-hausdaechern-noch-ungenutzt/>, 2021. Zuletzt geprüft:

### Verantwortliche Autoren:

Philipp Anstett, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Technische Universität Hamburg  
Martin Kaltschmitt, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Technische Universität Hamburg