

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz im Konflikt mit Gesetzen der Naturwissenschaft

Sigismund Kobe und Detlef Ahlborn

Durch die Ergebnisse des aktuellen Monitoringberichtes wird die Notwendigkeit einer Diskussion über eine Neujustierung der Ziele der Energiewende deutlich. Zielkonflikte wurden hauptsächlich durch eine bisher unzureichende Berücksichtigung von Gesetzen der Physik und Mathematik bei gesetzlichen Vorgaben verursacht. Grund für Zielkonflikte ist u. a. die Verwendung von Bilanzgrößen zur Bewertung von klimapolitischen Vorgaben in Verbindung mit monokausalen Erklärungsansätzen. Auch die Verwendung von Mittelwerten über statistische Grundgesamtheiten hat nicht unerheblichen Anteil an Fehleinschätzungen der damit ermittelten Kenngrößen.

Energie ist Gegenstand des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2023) [1] und als solche eine Kategorie der Physik. Dies gebietet eine sorgfältige Prüfung des Gesetzestextes hinsichtlich möglicher Konflikte mit naturwissenschaftlichen und mathematischen Gesetzmäßigkeiten. So heißt es in § 1 (2): „Zur Erreichung des Ziels nach Absatz 1 soll der Anteil des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch im Staatsgebiet der Bundesrepublik Deutschland [...] auf mindestens 80 Prozent im Jahr 2030 gesteigert werden.“ Um den Prozentsatz zu bestimmen, müssen zwei physikalische Größen ermittelt werden: die Energiemenge des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms sowie der Stromverbrauch, beides offensichtlich als Bilanzgrößen in einem Kalenderjahr.

Ein Anteil im mathematischen Sinne ist immer ein Bruchteil (z. B. gemessen in Prozent) von einem Ganzen, in der Sprache der Mathematik die Untermenge einer Gesamtmenge. Daher ist die Strommenge des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms ein Teil der insgesamt erzeugten Strommenge, nicht des Verbrauchs. In der gewählten Formulierung des Gesetzestextes – dem Anteil einer physikalischen Größe (erzeugter Strom) bezogen auf die Gesamtmenge einer anderen Größe (Bruttostromverbrauch) – wird also stillschweigend vorausgesetzt, dass die insgesamt während eines Jahres erzeugte Strommenge gleich dem Bruttostromverbrauch im gleichen Zeitraum ist.

Die Gleichheit dieser beiden physikalischen Bilanzgrößen folgt aus einem physikalischen Gesetz, dem 1. Kirchhoffschen Gesetz der Elektrodynamik (Kontinuitätsgleichung, Knotensatz der Elektrotechnik).

Die Kontinuitätsgleichung folgt direkt aus den Maxwellschen Gleichungen, den Grundgleichungen der Elektrodynamik. Das 1. Kirchhoffsche Gesetz fordert die Gleichheit von Erzeugungsleistung und Last durch die Verbraucher in jedem Augenblick.

Die Gleichheit der Bilanzgrößen ist aber nicht identisch mit dem Gesetz. Nur wenn das 1. Kirchhoffsche Gesetz erfüllt ist, gilt auch die Gleichheit der beiden im Gesetz verwendeten Bilanzgrößen, nicht aber umgekehrt. Mathematisch gibt es einen Unterschied zwischen „notwendiger“ und „notwendiger und hinreichender“ Bedingung. Die Verwendung von jahreskumulierten Bilanzgrößen im EEG anstelle der Leistungsbilanz ist eine Verletzung der Forderung nach Eineindeutigkeit im mathematischen Sinn.

Statistische Datenanalyse – Bilanzgrößen und Mittelwerte reichen nicht aus

Zur Überprüfung der im Gesetz festgelegten Zielgrößen müssen Daten erhoben werden. Diese ergeben sich aus Zeitreihen, bestehend aus den Viertelstundenwerten von Erzeugungsleistung und Verbrauch [2]. Dabei handelt es sich um jeweils 35.040 (in Schaltjahren 35.136) Einzeldaten, die jeweils eine Grundgesamtheit der Statistik bilden. Die zur Bewertung der Zielvorgaben verwendeten jahresbilanzierten Energiemengen (gemessen in TWh) sind jedoch proportional zu zeitlichen Mittelwerten der Leistung bzw. der Last (gemessen in GW) über einen Mittelungszeitraum von einem Jahr. Beide Zahlenwerte unterscheiden sich nur durch einen Zeitfaktor, die Anzahl der Stunden eines Jahres.

In der mathematischen Statistik ist der Mittelwert nur eine Kenngröße zur Charakterisierung der statistischen Grundgesamtheit. Mit Methoden der statistischen Datenanalyse lässt sich feststellen, ob die Angabe dieser einzigen Kenngröße hinreichend zur Beschreibung einer Grundgesamtheit ist. Weicht die Häufigkeitsverteilung der Merkmale von der einer Normalverteilung ab, müssen ggf. zusätzlich zum Mittelwert weitere Kenngrößen wie Standardabweichung, Maximal- und Minimalwerte, Quantile etc. berücksichtigt werden.

Die wichtigsten Ergebnisse einer Datenanalyse der Viertelstundenwerte mit Methoden der mathematischen Statistik lassen sich wie folgt zusammenfassen: Der Datensatz „Wasserkraft, Bio- und Geoenergie“ erfüllt näherungsweise die Anforderungen, die für eine Beschreibung durch den Mittelwert der Erzeugungsleistung erfüllt sein müssen. Der Datensatz „Last“ wird durch eine bimodale Häufigkeitsverteilung charakterisiert, die durch die unterschiedlichen Bedarfe zu Tag- und Nachtstunden verursacht wird. Wird stattdessen der Mittelwert über alle Viertelstundenwerte der Last zur Beschreibung des Systems verwendet, kann dies Anlass zu Fehlinterpretationen sein. Die Wahrscheinlichkeit für den Mittelwert der Gesamtheit weist ein relatives Minimum im Funktionsverlauf zwischen den Tages- und Nachtpitzen auf [3].

Die Häufigkeitsverteilung der Erzeugungsleistung von Windenergie wird durch die physikalischen Gesetze der Strömungslehre bestimmt und kann näherungsweise durch eine Weibull-Verteilung beschrieben werden. Die zugehörige Häufigkeitsverteilung weicht stark von der einer

Normalverteilung ab. So ist der wahrscheinlichste Wert kleiner als der Mittelwert. Dass bei einer Weibull-Verteilung gleichzeitig mit dem Mittelwert auch die Schwankungsbreite anwächst, blieb bisher unbeachtet und ist eine Ursache für das Auftreten von Zielkonflikten.

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Erzeugungsleistungen nahe null (dies entspricht den „Dunkelflauten“) ist endlich und unabhängig davon, wie viele Anlagen zugebaut werden. Zudem bereitet zunehmend das „long-tail“-Verhalten der Häufigkeitsverteilung Probleme, das damit zusammenhängt, dass Erzeugungsleistungen von Wind- und Solaranlagen betragsmäßig größer werden können als die Netzlast („Hellbrisen“) [4].

Eine notwendige Bedingung für die Einhaltung des Knotensatzes besteht darin, dass die Häufigkeitsverteilung der Wind- und Solarerzeugungsleistung mit der der Netzlast übereinstimmen muss. Es ist aber prinzipiell nicht möglich, ohne den Einsatz von Speichern beide Verteilungen zur Deckung zu bringen [3]. So kommt es bei weiterem Zubau immer häufiger zu Systemzuständen, bei denen überschüssige Leistung abgeregelt werden muss [4].

Fehlerhafte Datenanalyse der Erzeugungsleistung von Solaranlagen

Eine rein statistische Beschreibung der Solar-Zeitreihe führt zu fehlerhaften Ergebnissen. Das Hinzufügen von Viertelstundenwerten in den Nachtstunden mit dem Merkmal „exakt null“ zu einer Gesamtheit statistischer Elemente in den Tagesstunden ist eine Verletzung von Grundvoraussetzungen mathematischer Statistik. Die Erzeugungsleistung von Solaranlagen wird hauptsächlich durch den Sonnenstand bestimmt, der periodisch den Tag-Nacht-Zyklen folgt und zusätzlich durch jahreszeitliche Sommer-Winter-Perioden ausgeprägt wird.

Der tägliche Zeitverlauf der mittleren Solarerzeugungsleistung folgt den mechanischen Gesetzen der Erdrotation und muss daher deterministisch beschrieben werden, modellmäßig z. B. durch eine parabel- bzw. halbsinusförmige Funktion [5]. Diesem Prozess ist die Zufälligkeit

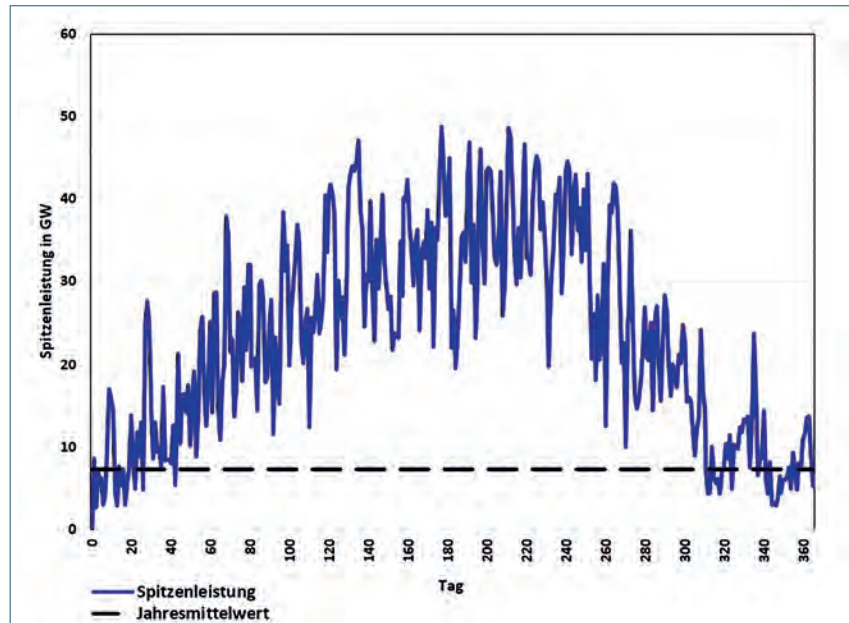


Abb. 1 Schwankungen der täglichen Solar-Leistungsspitzen im Jahr 2024

Quelle: eigene Darstellung

der Wolkenverdeckung der Sonne überlagert, die zu Schwankungen der täglichen Leistungsspitzen führt (siehe Abb. 1). Der fluktuierende Anteil der Solarproduktion lässt sich auf die statistische Beschreibung einer Gesamtheit der Werte von Solar-Leistungsspitzen reduzieren.

Von Klimazielen zu Flächenzielen – Zielkonflikte der Energiewende

Im weiteren Gesetzestext wird von der Möglichkeit der Erreichbarkeit von festgelegten Zielwerten ausgegangen. Daraus werden in § 4 EEG Ersatzzielstellungen abgeleitet, ohne die Berechtigung eines solchen Vorgehens zu begründen. Ein monokausaler Zusammenhang des Anteils des aus erneuerbaren Energien gewonnenen Stroms und der installierten Leistung von Anlagen zu dessen Erzeugung wird nur postuliert, aber nicht nachgewiesen.

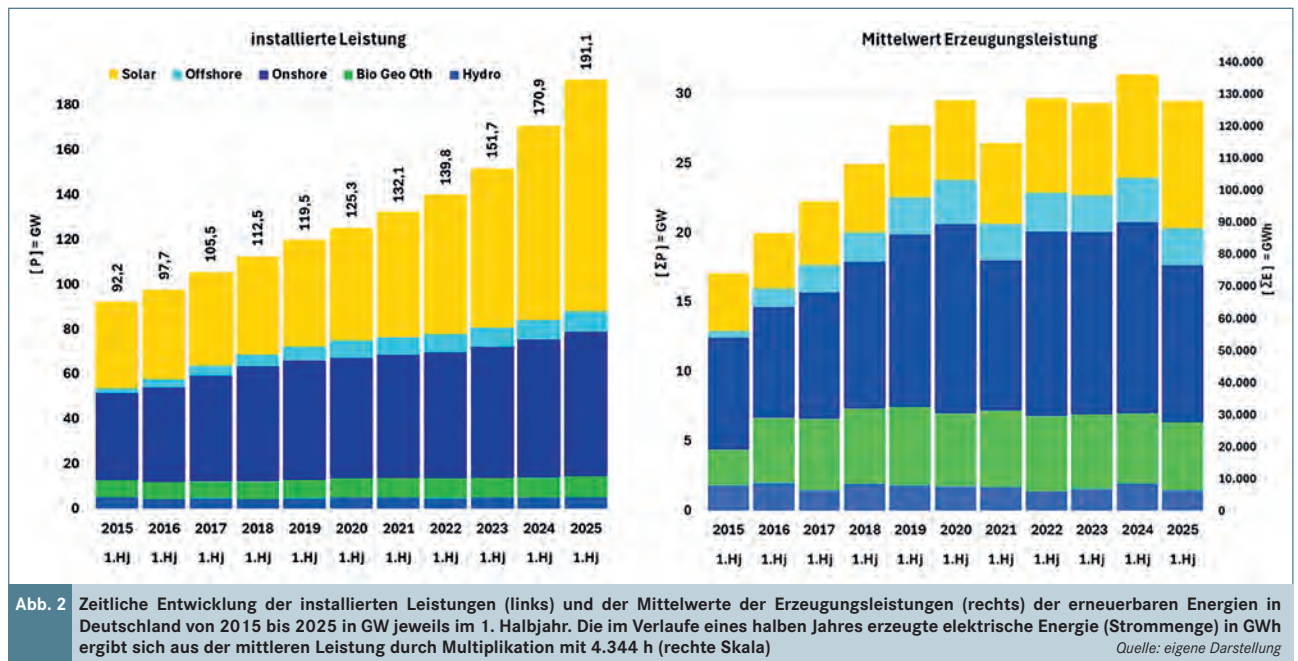
So soll z. B. die installierte Leistung von Windenergieanlagen an Land von 64 GW (Stand 2024) bis 2030 auf 115 GW gesteigert werden, die von Solaranlagen entsprechend von 92 auf 215 GW. Des Weiteren werden Zielvorgaben aus § 4 durch das Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) [6] untersetzt, in dem unterstellt wird, dass diese Ziele durch verbindliche Vorgaben für durch die Bundesländer bereitzustellende Flächen zur Errichtung von Windenergieanlagen erreichbar wären.

In einer mehrstufigen monokausalen Argumentationskette [7] werden also durch die derzeit gültigen Gesetze Klimaziele durch Flächenziele ersetzt. Trotz eines durch weiteren Zubau erreichten enormen Anstiegs der installierten Leistungen blieb seit etwa fünf Jahren die Menge des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stroms nahezu unverändert (Abb. 2).

Damit wird deutlich, dass Maßnahmen, die vorrangig auf den Ausbau von Wind- und Solaranlagen und auf einen weiteren Anstieg von installierten Leistungen gemäß EEG § 4 ausgerichtet sind, nicht zielführend sind und das Erreichen eines „80-Prozent-Ziels“ im Jahr 2030 gefährden. Zudem wird mit zunehmender Elektrifizierung der Verbrauch an Elektroenergie nicht wie bisher weiter abnehmen.

Lösung der Zielkonflikte: Speicher vs. Netze

Zielkonflikte werden hauptsächlich durch die Besonderheiten der Energiebereitstellung aus Wind- und Solaranlagen verursacht. Der Strom wird aus Sicht der Verbraucher meist zur falschen Zeit am falschen Ort erzeugt. Deshalb müssen Speicher und Netze ausgebaut werden. Für den zeitlichen Ausgleich sind Speicher erforderlich, für den räumlichen Leitungen und Netze. Oft wird übersehen, dass aus ökonomischen Gründen der Speicherausbau Vorrang haben muss, da eine Übertragung von



zeitlich fluktuierender Elektroenergie z. B. von Norden nach Süden ungleich höhere Ressourcen binden würde.

Ein Dilemma besteht allerdings darin, dass die notwendigen Speicherkapazitäten zum Ausgleich der Erzeugungskapazitäten zwischen Tag und Nacht sowie zwischen Sommer und Winter so gigantisch groß und gegenwärtig mit solch hohen Kosten verbunden sind, dass eine Umsetzung eines entsprechenden Speicherkonzeptes jetzt und in absehbarer Zukunft nicht möglich erscheint.

Zusammenfassung

Deutlich ist, dass Zielvorgaben im EEG 2023 im Widerspruch zu physikalischen Gesetzen stehen. Die Verwendung von Bilanzgrößen zur Bewertung von klimapolitischen Vorgaben und eine monokausale Betrachtungsweise führen zu Zielkonflikten, z. B. zwischen installierten Leistungen und zeitaufgelösten Erzeugungsleistungen volatiler erneuerbarer Energien. Bei der Auswertung der Zeitreihen für volatile erneuerbare Energien hat der Gesetzgeber Grundprinzipien der mathematischen Statistik ignoriert.

Insbesondere führt die Verwendung von Mittelwerten über statistische Grundgesamtheiten zu Fehleinschätzungen der damit ermittelten Kenngrößen. Eine unzureichende Berücksichtigung von naturwissenschaftlichen und mathematischen

Gesetzmäßigkeiten leistet damit einen nicht unerheblichen Beitrag zu Konflikten bei der Umsetzung von Zielen der Energiewende.

Eine Novellierung des EEG 2023 ist dringend notwendig. Ziele müssen unter Berücksichtigung des Monitoringberichtes zur Energiewende [8] und in Übereinstimmung mit naturwissenschaftlichen und mathematischen Gesetzmäßigkeiten so festgelegt werden, dass sie den komplexen Anforderungen einer Transformation des Energiesystems genügen. Durch eine sorgfältige techno-ökonomische Analyse muss zuvor sichergestellt werden, dass öffentliche Mittel effektiv und zielführend verwendet werden.

Quellen

- [1] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2023), abrufbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html
- [2] Datenquelle für die Analysen ist die ENTSO-E Transparency Platform (<https://transparency.entsoe.eu/>).
- [3] D. Ahlborn: „Glättung der Windeinspeisung durch Ausbau der Windkraft?“, in: „et“, 65. Jg. (2015) Heft 12, S. 37-39.
- [4] S. Kobe, D. Ahlborn und R. Schuster: „Wodurch wird ein weiterer Ausbau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen in Deutschland begrenzt?“, in: M. Beckmann und A. Hurtado (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2022: Power Plant Technology, Freiberg, 2022, S. 187-196.

- [5] Vgl. K. Rangelova und D. Jones: Solar electricity every hour of every day is here and it changes everything, Ember Report, 21.06.2025, abrufbar unter: <https://ember-energy.org/app/uploads/2025/06/Ember-24-Hour-Solar-Electricity-June-2025-6.pdf>
- [6] Gesetz zur Festlegung von Flächenbedarfen und zur Genehmigungserleichterung für Windenergieanlagen an Land und für Anlagen zur Speicherung vom Strom oder Wärme aus erneuerbaren Energien in bestimmten Gebieten (Windenergieflächenbedarfsgesetz - WindBG), abrufbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/windbg/WindBG.pdf>
- [7] H. Watter: Vermeidung der Konflikteskalation in der Energiewende, 2025, abrufbar unter: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17133.09444>
- [8] EWI & BET: Energiewende. Effizient. Machen. Monitoringbericht zum Start der 21. Legislaturperiode, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, September 2025, abrufbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energiewende-effizient-machen.pdf?__blob=publicationFile&v=20

*Prof. Dr. S. Kobe, Technische Universität Dresden, Dr.-Ing. D. Ahlborn, Fachbereichsleiter Technologie, Vernunftkraft e. V., Borchsen
sigismund.kobe@tu-dresden.de*

Die Autoren danken Herrn Rolf Schuster für Datenanalyse und grafische Darstellung.