

Glättung der Windeinspeisung durch Ausbau der Windkraft?

Detlef Ahlborn

In zahlreichen Untersuchungen, Werbeschriften und Studien wird die These vertreten, dass ein Ausbau der Windkraft insgesamt eine Glättung der Einspeisung zur Folge haben wird. Die Betrachtung realer Einspeisedaten kommt zu einem gegenteiligen Schluss. Sie zeigt, dass in den letzten Jahren die Leistungsspitzen durch den Windkraftzubaue zugenommen haben und keine Sicherheit für die Grundlast gewonnen wurde. Darüber hinaus wird deutlich, dass die Ausgangsthese auch langfristig falsch ist, da bei einem weiteren Ausbau der Windkraft alle Einspeisungen zukünftig weiterhin korrelieren werden. Die Energiewende steuert damit in ein grundsätzliches Dilemma.

Die Volatilität der Einspeisung aus Windkraftanlagen ist unstrittig. Dennoch behaupten zahlreiche Publikationen [1], dass ein breit angelegter Windenergieausbau zu einem Ausgleich der Energieversorgungsschwankungen führen werde. Zur Prüfung dieser Aussage lohnt sich z. B. ein Blick auf den Verlauf der Einspeisung aus dem Jahr 2014, wie er in Abb. 1 dargestellt ist.

Volatile Netzeinspeisung

Bei einer Nennleistung von 33 623 MW am Jahresanfang 2014 und 36 928 MW am Jahresende, lag die größte Netzeinspeisung aller Windkraftanlagen in Deutschland bei 29 687 MW. Die niedrigste Einspeisung lag bei 24 MW – aus technischer Sicht ist

das gleichbedeutend mit einem Ausfall der Stromerzeugung aus Windkraft.

Auch der Verbund von Windkraft- mit Photovoltaikanlagen (installierte Verbund-Nennleistung 74 800 MW) verbesserte die Situation nicht. Der Minimalwert der Summeneinspeisung betrug 2014 lediglich 118 MW. Das entspricht 0,15 % der Verbund-Nennleistung.

Beim derzeitigen Ausbaustand liegt die sicher zur Verfügung stehende Leistung aller Windenergie- und Photovoltaikanlagen im Verbund also praktisch bei Null. Prinzipbedingt sind Windkraft- und Photovoltaikanlagen auch im Verbund nicht in der Lage, eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten.

Grund dafür ist die ausgeprägte Korrelation der Stromerzeugung aus Windkraft. Aus einfachen physikalischen Gründen ergibt sich daraus, dass im Verbundnetz grundsätzlich die vollständige Erzeugungskapazität an konventionellen Kraftwerken vorgehalten werden muss.

Statistische Verteilung der Windleistung

Aufgrund der zufälligen Schwankungen der Windgeschwindigkeit schwankt die eingespeiste Leistung einzelner Windkraftanlagen ebenso wie die von Anlagen im Verbund. Derlei zufällig schwankende Größen werden üblicherweise durch statistische Kenngrößen wie Standardabweichung und durch entsprechende Verteilungsfunktionen, Verteilungsdichtefunktionen bzw. Histogramme beschrieben.

In Abb. 2 sind die Histogramme der eingespeisten Summen-Windleistung für ganz Deutschland für die Jahre 2010 bis 2014 dargestellt. In der Darstellung ist dieses Histogramm auf die installierte mittlere Nennleistung des jeweiligen Jahres bezogen. Obgleich die installierte Nennleistung zwischen Anfang 2010 und Ende 2014 um 42 % von 25 980 MW auf 36 928 MW angestiegen ist, hat sich die statistische Verteilung der Windleistung in diesem Zeitraum offensichtlich nicht verändert.

Wie Abb. 3 zeigt, gilt die gleiche Aussage für die Summeneinspeisung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Die Netzeinspeisungen der in den letzten fünf Jahren hinzugebauten Windkraftanlagen sind aus diesem Grund mit den Netzeinspeisungen

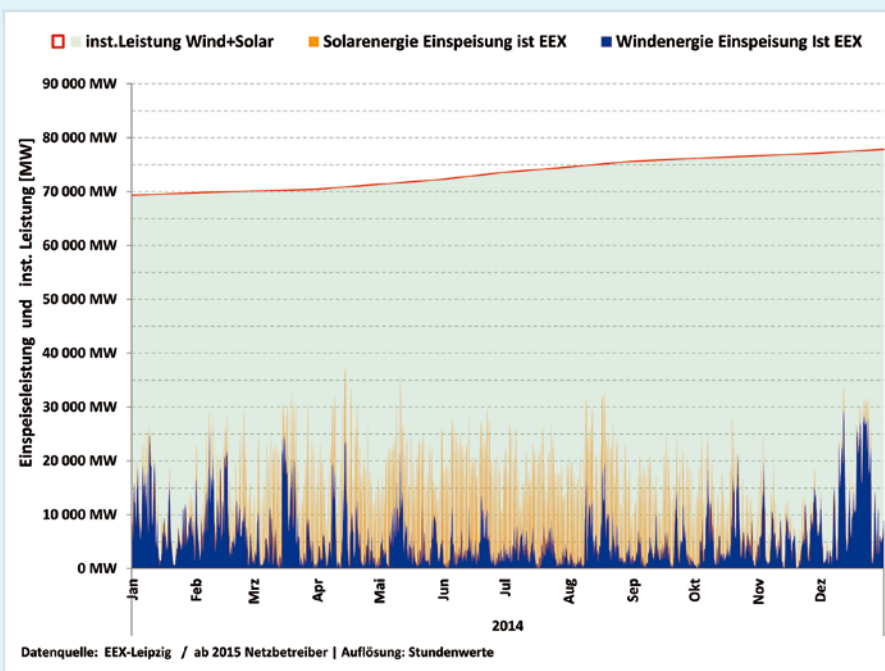


Abb. 1 Einspeisung aus Wind- und Solaranlagen in 2014

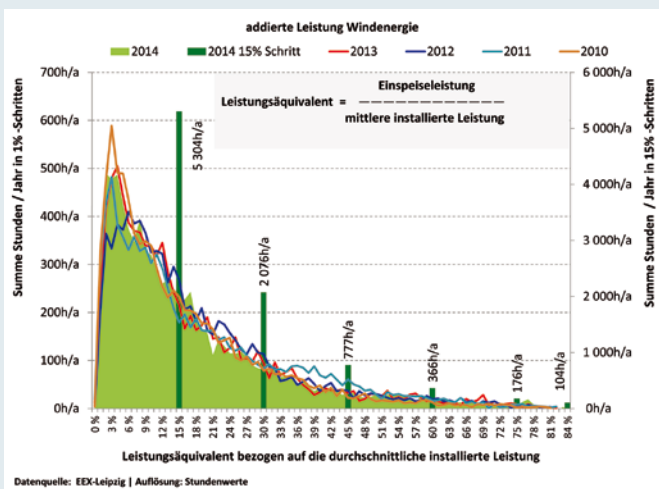


Abb. 2 Histogramm der Windeinspeisung

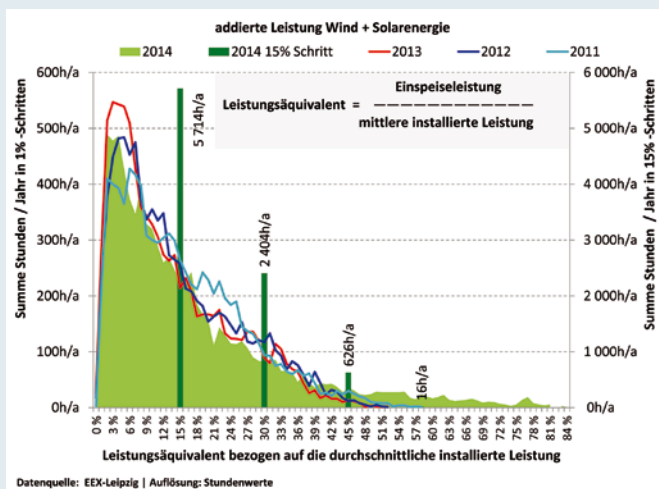


Abb. 3 Histogramm der Summeneinspeisung aus Wind- und Solaranlagen

der per Anfang 2010 vorhandenen Windenergieanlagen streng korreliert.

Diese Aussage ergibt sich aus der sog. Faltungsformel für Verteilungsdichtefunktionen [2]: Wären die Netzeinspeisungen der zwischen 2010 und 2014 neu installierten Windenergieanlagen statistisch unabhängig und deswegen mit den Einspeisungen der 2010 vorhandenen Anlagen nicht korreliert, würde sich die Form der Verteilungsdichtefunktionen bzw. Histogramme von Jahr zu Jahr ändern. Aufgrund des Zentralen Grenzwertsatzes der Statistik wäre dann zu erwarten, dass das Histogramm einer Normalverteilung langsam ähnlicher wird.

Das ist ohne jeden Zweifel nicht der Fall: Die Histogramme haben sich zwischen 2010 und 2014 praktisch nicht verändert. Daraus kann die strenge Korrelation der Einspeisung der zwischen 2010 und 2014 neu installierten Windenergieanlagen mit den per 2010 vorhandenen Anlagen gefolgert werden.

Die Volatilität wächst

Für eine gegebene Verteilungsfunktion stehen Standardabweichung und Erwartungswert in einem festen Verhältnis. Das Anwachsen des Erwartungswerts führt dann immer zu einem Anwachsen der Standardabweichung. Im Falle der Windenergie-Einspeiseleistung bedeutet das ein Anwachsen der Volatilität der Einspeisung. Der Zuwachs der Standardabweichung ist dann proportional zum Zuwachs der mittleren Einspeiseleistung.

Man kann mit statistischen Methoden nachweisen, dass die Standardabweichung nicht auf größere Werte wachsen kann, d. h. in den vergangenen Jahren ist die Volatilität auf die größtmöglichen Werte angewachsen, die statistisch möglich sind. Dieser Zusammenhang ist der Tabelle dargestellt: In den vergangenen fünf Jahren lag das Verhältnis von Standardabweichung und Mittelwert zwischen 0,87 und 0,93, ohne dass ein Trend in die eine oder andere Richtung erkennbar gewesen wäre.

Durch diese elementare Überlegung ist nicht nur theoretisch, sondern auch empirisch nachgewiesen, dass der Ausbau der Windenergie in den vergangenen Jahren nicht zu einer Glättung der Einspeisung, sondern zu einer Vergrößerung der Schwankungen geführt hat. Vor diesem Hintergrund erweist sich die weit verbreitete Einschätzung, der weitere Ausbau führe zu einer Glättung, als unzutreffend. Schließlich hat der Ausbau der Erzeugungskapazitäten in der Vergangenheit gerade nicht zu einer Verringerung der Standardabweichung geführt. Das Gegenteil ist hingegen richtig: In den vergangenen fünf Jahren hat der Ausbau der Windkraft in Deutschland durchgängig zu einer Vergrößerung der Leistungsspitzen geführt, ohne dabei eine gesicherte Grundlast auszubilden.

Verbessert ein weiterer Ausbau die Situation?

Ob es eine berechtigte Hoffnung gibt, dass sich die Situation durch einen Ausbau än-

Tab.: Windleistungswerte zwischen 2010 und 2014

Jahr	Nennleistung am Jahresanfang	Nennleistung am Jahresende	Maximale Windleistung	Mittlere Windleistung	Minimale Windleistung	Standardabweichung der Windleistung	Verhältnis Standardabweichung Mittelwert
2010	25 980 MW	27 072 MW	21 679 MW	4 070 MW	113 MW	3 661 MW	0,90
2011	27 073 MW	28 606 MW	22 870 MW	5 051 MW	88 MW	4 391 MW	0,87
2012	28 614 MW	30 755 MW	24 086 MW	5 222 MW	115 MW	4 419 MW	0,85
2013	30 758 MW	33 614 MW	26 269 MW	5 380 MW	121 MW	4 864 MW	0,91
2014	33 623 MW	36 928 MW	29 687 MW	5 868 MW	24 MW	5 488 MW	0,93

dern kann, soll nun betrachtet werden: Wie Mono et al. [3] richtig feststellen, werden alle Einspeisungen bei einem weiteren Ausbau der Windkraft in Deutschland positiv korrelieren.

Negative Korrelationen, die einen Ausgleich der Einspeisungen bewirken würden, sind also nicht zu erwarten und es ist zu bezweifeln, ob eine solche negative Korrelation irgendwo überhaupt möglich ist. Wären die durch den Ausbau hinzukommenden Einspeisungen idealerweise mit den vorhandenen Einspeisungen nicht korreliert, würden sich zunächst nur die Varianzen der Einspeisungen addieren. Dieser Sachverhalt ist als Formel von Bienaymé bekannt.

Es lässt sich zeigen, dass sich bei strenger Korrelation die Standardabweichungen und bei idealer statistischer Unabhängigkeit die Varianzen addieren. Das Anwachsen der Volatilität liegt immer zwischen diesen beiden Extrema. Die Standardabweichung als Maß für die Volatilität wächst schon aus diesem Grund immer weiter mit dem Zubau an.

Die Korrelation der zusätzlichen mit den vorhandenen Einspeisungen bewirkt nun einen weiteren Anstieg der Varianz der Summeneinspeisung über das Maß der unkorrelierten Einspeisungen hinaus. Diese Aussage folgt aus dem Additionssatz für die Varianz korrelierter Zufallsgrößen [2]. Die genauen Zusammenhänge sind in [4] ausführlich diskutiert.

Damit ist nachgewiesen, dass jeder Zubau von Windkraftanlagen in Deutschland immer und ausnahmslos eine Erhöhung der Varianz und damit der Standardabweichung nach sich zieht. Die von Windkraftanlagen erzeugten Leistungsspitzen werden also durch den fortschreitenden Ausbau mit all ihren bekannten Auswirkungen wie z. B. Preisverfall bis hin zu Negativpreisen an den Strombörsen und Stromexporte ins angrenzende Ausland weiter ansteigen.

Windstromversorgung ist bedarfsgerecht unmöglich

Die Korrelation der Einspeisungen ist gleichbedeutend mit einer funktionalen

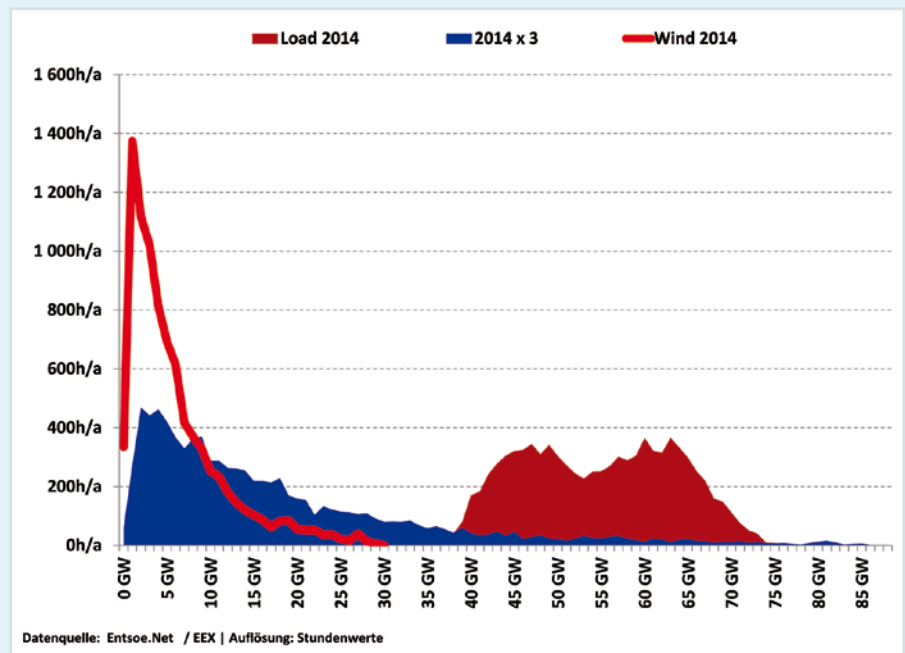


Abb. 4 Histogramm von Windstrom und Last per heute und bei Verdreifachung der Nennleistung

Kopplung der zahlreichen Wind-Einspeisungen untereinander. Diese Kopplung ist in Deutschland so stark ausgeprägt, dass die Stromerzeugung in Deutschland durch einige wenige statistische Freiheitsgrade bestimmt ist [4]. Daher wird sich der Verlauf der Einspeisung aus Windkraftanlagen durch einen weiteren Ausbau nicht wesentlich ändern können. Diese Aussage ergibt sich aus dem fundamentalen Zentralen Grenzwertsatz der Statistik.

Für die Energiewende ergibt sich daraus ein ganz grundsätzliches Dilemma, das in einem einzigen Bild verdichtet werden kann: Abb. 4 zeigt die Histogramme der Wind-Einspeisung und der Netzlast. Ein Ausbau der Windenergie in Deutschland kann den prinzipiellen Verlauf dieser Verteilung aufgrund der Korrelation nicht wesentlich ändern, das Histogramm wird bestenfalls zu größeren Leistungen hin gestreckt. Es ist daher prinzipiell unmöglich, beide Verteilungen in einem Land von der Größe Deutschlands zur Deckung zu bringen.

Diese Aussage kann als Sättigung aufgefasst werden, weil das Wettergeschehen in dieser Fläche den Grad der statistischen Unabhängigkeit bestimmt [5]. Es ist daher durch den Zubau an Erzeugungskapazitäten in Deutschland prinzipiell unmöglich,

Windstrom bedarfsgerecht produzieren zu können.

Anmerkungen

- [1] Arbach, S.; Gerlach, A.-K.; Kühn, P.; Pfaffel, S.: Entwicklung der Windenergie in Deutschland. AGORA Kurzstudie. Fraunhofer IWES, Kassel, Juni 2013; Mono, R.; Glasstetter, P.; Horn, F: Ungleichzeitigkeit und Effekte räumlicher Verteilung von Wind und Solarenergie in Deutschland. Eine Untersuchung der 100 Prozent erneuerbar stiftung, April 2014.
- [2] Fisz, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1989.
- [3] Mono et al. [1], S. 29.
- [4] Ahlborn, D.: Statistische Verteilungsfunktion der Leistung aus Windkraftanlagen In: World of Mining – Surface & Underground, 67. Jg. (2015) Nr. 4, S. 272-277.
- [5] Louie, H.; Slougher, J. M.: Probabilistic Modeling and Statistical Characteristics of Aggregate Windpower. In: Houssain, J.; Mahmud, A. (Hg.): Large Scale Renewable Power Generation. Singapur, Springer 2014, S. 19-51.

Dr.-Ing. D. Ahlborn, Fachbereichsleiter
Technologie, VERNUNFTKRAFT. e. V.
detlef.ahlborn@vernunftkraft.de