

Gleichmäßige Windenergie – Flattening The Curve

Gestaltung von Windkraftanlagen zur Glättung zeitlich fluktuierender Stromproduktion

Markus Drapalik
Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften

Windkraftanlagen (WKA) spielen bereits jetzt eine wichtige Rolle als erneuerbare Energiequellen für die Stromproduktion. Ende 2021 waren in Österreich 1.307 WKA mit einer Nennleistung von insgesamt 3.300 MW in Betrieb. Sie produzierten etwa 7,6 Mrd. kWh in diesem Jahr und decken damit etwa 11 % des österreichischen Strombedarfs (Energie-Control Austria 2021).

Neben günstigen Eigenschaften der Windkraft gibt es aber auch potenziell problematische Faktoren, wie die über die Zeit fluktuierende Leistungsabgabe je nach meteorologischer Situation, sowohl im Tages- als auch Jahresverlauf. Diese Fluktuationen können die Netzstabilität negativ beeinflussen und damit zusätzliche netzstabilisierende Maßnahmen erfordern.

Österreich hat sich für 2030 das Ziel gesetzt, Strom zu 100% aus erneuerbaren Quellen zu erzeugen (EAG 2021). Um dieses Ziel zu erreichen und gleichzeitig erwartbare Probleme zu minimieren, sind weitere Maßnahmen notwendig, die eine gleichmäßigere Einspeisung von Windstrom ins Netz erlauben.

Die Ertragsleistung von WKA ist neben der Windgeschwindigkeit stark vom Rotordurchmesser abhängig. Dies führt zu dem naheliegenden Trend höherer Türme (stärkere und regelmäßige Windgeschwindigkeit) und größerer Rotordurchmesser.

Eine derartige Maximierung der Energieerträge kann jedoch dazu führen, dass bereits geringe Schwankungen in der Windgeschwindigkeit große Fluktuationen in der abgegebenen Leistung zur Folge haben. Diese wiederum sind für die Stromnetze im Gesamten herausfordernd: wird weniger produziert als verbraucht, muss kurzfristig Leistung aus anderen Quellen bereitgestellt, bzw. bei einem Produktionsüberschuss gespeichert oder anderweitig umgesetzt werden. Der Einsatz kurzfristiger Speicher, wie z.B. Batterien, ist aufgrund der hohen Kosten und dem intensiven Materialeinsatz unattraktiv. Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass über große räumliche Abstände auf überregionaler und internationaler Ebene ein großer Teil dieser Fluktuationen ausgeglichen werden kann. Dafür werden hohe Übertragungsleistungen auf großen Strecken benötigt, die aufwändig in der Bereitstellung sind. Zudem steigert eine starke und weiträumige Verflechtung das Risiko sich fortpflanzender Störungen, die wiederum zu großflächigen, ungeplanten Stromausfällen (Blackouts) führen können.

Daher sollten WKA so gestaltet werden können, dass nicht nur die Erträge sondern auch die Gleichmäßigkeit der Stromgenerierung gesteigert werden.

Angepasste Anlagen

Für diesen Zweck bietet sich eine Gestaltung der WKA an, die über ein kleineres Verhältnis von überstrichener Rotorfläche und Generatorleistung (Rotorleistungsdichte) verfügen, d.h. kleinere Generatoren und/oder größere Rotorblattlängen. In Abbildung 1 sind die Leistungskennlinien für zwei Varianten gezeigt: die optimierte Nordex N-131 produziert bereits bei niedrigen Windgeschwindigkeiten die maximale Leistung, muss aber aus Sicherheitsgründen bei 20 m/s Windgeschwindigkeit abgestellt werden, während die Referenz WKA Enercon E-101 noch bis 25 m/s produziert.

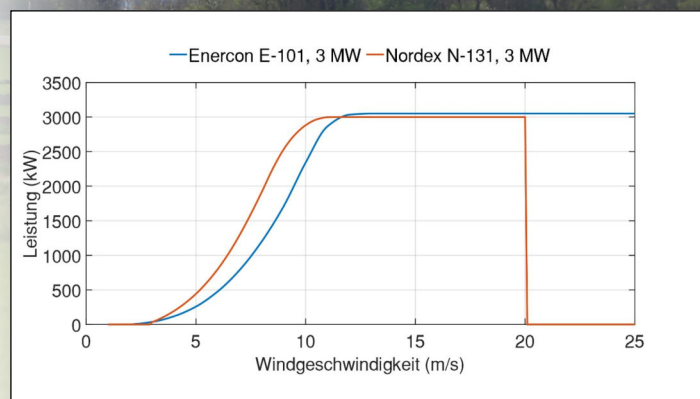


Abb.1: Leistungskennlinien der Referenz-WKA Enercon E-101/3050 und der für niedrige Windgeschwindigkeiten optimierten Nordex N131/3000 (Quelle: Enercon 2017; Wind Turbine Models 2022).

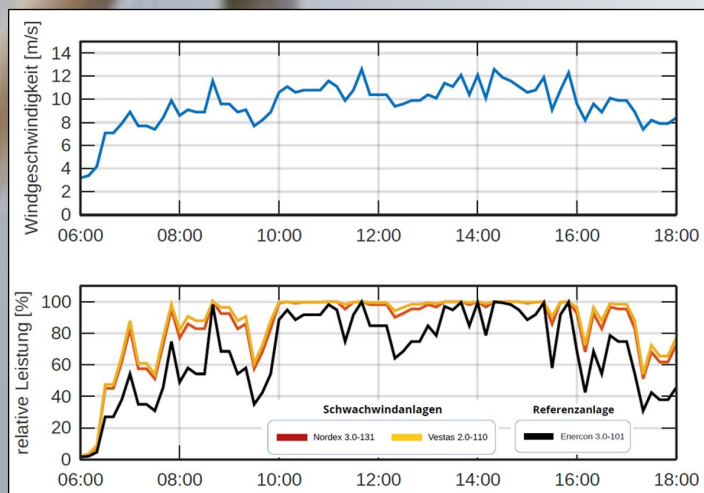


Abb 2: Produktionsfluktuation ausgewählter Anlagen bei hohen (> 8 m/s) Windgeschwindigkeiten. Die alternativen Anlagen führen beide zu einer deutlichen Glättung der Produktion.

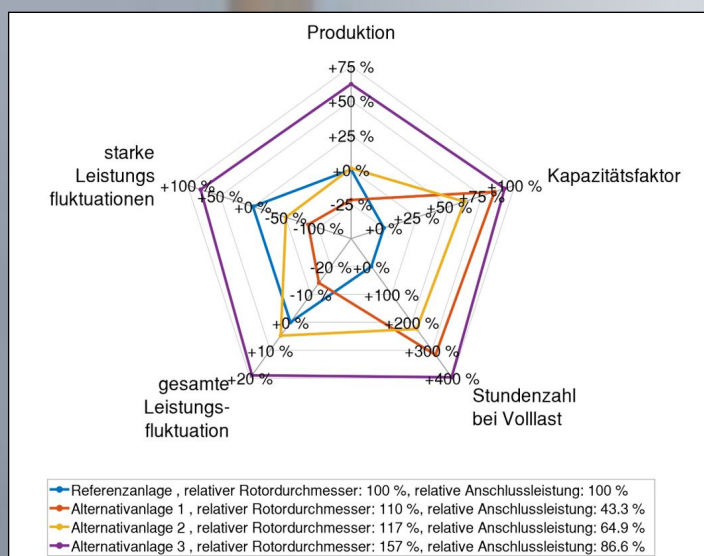


Abb 3: Relative Änderung verschiedener Leistungsparameter für einen ausgewählten Standort.
 Alternativanlage 1: Fluktuationen und Produktion reduziert
 Alternativanlage 2: starke Fluktuationen (> 500 kW in 10 min) reduziert, kein Produktionsverlust
 Alternativanlage 3: erhöhte Produktion und stark erhöhte Fluktuationen

Veränderte Leistungsfluktuationen

Aus dem Vergleich zwischen einer Referenzanlage und zwei alternativen Anlagen mit geringerer Rotorleistungsdichte in Abbildung 2 lässt sich das Potenzial zur Reduktion von Fluktuationen erkennen. So zeigt sich hier, dass bei höheren Windgeschwindigkeiten eine deutliche Glättung der Produktion beim Einsatz von Anlagen mit geringerer Generatorleistung auftritt. Eine Vergrößerung der Rotorblattlänge bei gleichbleibender Leistung führt ebenso zu insgesamt gleichmäßigeren Produktionskurven, ist allerdings bei niedrigen Windgeschwindigkeiten weniger effektiv. Um eine gleichmäßigere Stromproduktion zu ermöglichen kann daher beim Neubau von Anlagen in Richtung möglichst niedriger Generatorleistung optimiert werden.

Eine Frage der Optimierung

Der Einsatz kleinerer Generatoren führt ggf. auch zu Verlusten bei der Jahresproduktion (Regner et al 2022). Diese lassen sich aber durch eine gute Abstimmung der WKA-Auslegung auf die lokalen Bedingungen (Wind, Netzanschluss etc.) minimieren. So konnte in Modellrechnungen für einen ausgewählten Standort gezeigt werden, dass eine 1,65 MW WKA mit 82 m Rotordurchmesser anstatt einer 2,3 MW WKA mit 70 m Durchmesser bei fast identischer Produktion zu halb so starken Fluktuationen im oberen Leistungsbereich führt. Weiters nehmen die Betriebsstunden bei Nennlast um 224 % und der Jahresnutzungsgrad um 56% zu, wie bei der Alternativanlage 2 (gelb) in Abbildung 3 zu sehen ist.

Da die angepassten Anlagen evtl. mehr Fläche für die gleiche Leistung in Anspruch nehmen, ist das Ergebnis bei einem gesamten Windpark besonders relevant. In einem einfachen Beispielfall könnten auf derselben Fläche statt 20 Anlagen mit 80 m Durchmesser und 2 MW Leistung 16 Anlagen mit 100 m Durchmesser und 1,6 MW Leistung errichtet werden. Die Jahresproduktion des gesamten Parks wird dadurch zwar nur um 3 % erhöht, die Fluktuationen in der Stromerzeugung jedoch drastisch reduziert. Da die Produktionsspitzen wegfallen, ist die nötige Anschlussleistung an das Stromnetz um 36% geringer. Das reduziert den Bedarf für weiteren Netzausbau trotz höherer Produktion.

Bei anderer Parkgeometrie könnten allerdings auf der gleichen Windparkfläche weniger Anlagen installiert werden, wodurch die Jahresproduktion reduziert wäre. Die Optimierung muss daher anhand des Gesamtsystems erfolgen und Jahresproduktion, notwendige Fläche und Netzverträglichkeit gegeneinander abwägen. Eine entsprechende Gestaltung von Förderungen sollte die Wahl netzfreundlicher Anlagen attraktiver machen.

Referenzen:

- Ahmed et al. (2020): Grid Integration Challenges of Wind Energy: A Review. IEEE Access, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964896
- EAG (2021): Bundesgesetz über den Ausbau von Energie aus erneuerbaren Quellen (Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz - EAG) BGBl I 150/2021.
- Enercon (2017): ENERCON Produktübersicht. Verfügbar in: https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/ENERCON_Produnkt_de_042017.pdf
- Energie-Control Austria (2021): Ökostrombericht 2021. Energie-Control Austria. URL: https://www.e-control.at/documents/1785851/1811582/E-Control_Oekostrombericht_2021_Final.pdf
- Regner et al. (2022): The decline in specific power reduces wind power density and system efficiency. arXiv:2107.14699, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.14699>
- Wind Turbine Models (2022): Verfügbar in: <https://www.wind-turbine-models.com/turbines/837-nordex-n131-3000-delta>

Impressum:

BOKU-Energiecluster, Universität für Bodenkultur Wien

Koordination:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot Stöglehner
 Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien

energiecluster@boku.ac.at

<https://boku.ac.at/boku-energiecluster>

Stand: April 2023

ISSN 2791-4143 (Online)