



Bild: stock.adobe.com_Soonthorn

In Deutschland werden knapp 42 Prozent des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt

Windkraft: vom Potenzial des Arbeitspferds der Energiewende

Einst war sie das Prestige- und Vorzeigeprojekt quer durch die Republik und zugleich Hoffnungsträgerin beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Rede ist von der Windkraft. Rund zehn Milliarden Euro jährlich flossen hierzulande durchschnittlich im Zeitraum von 2013 bis 2017 in den Ausbau „neuer Windenergieanlagen“ [1]. Allein im Spitzenjahr 2011 bedeutete das eine Investitionssumme von 11 Milliarden Euro. Zu jener Zeit herrschte so etwas wie Goldgräberstimmung in der Windenergiebranche. Nicht umsonst schreibt der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND): „Windenergie – das Arbeitspferd der Energiewende“ [2]. Und das Umweltbundesamt spricht von der Windenergie als tragende Säule bei der Energiewende [3]. Doch heute? Hoch gelobt und tief gefallen, könnte ein Resümee lauten. Zeit, das Potenzial der Windenergie von Nord nach Süd, von West nach Ost genauer zu beleuchten.

Autoren: David Hennecke, Carsten Croonenbroeck

Laut Aussagen des Statistischen Bundesamts (Destatis) erlebte die Windenergiebranche im Jahr 2018 einen Umsatzeinbruch von 30 Prozent. In der Pressemitteilung heißt es weiter: „Der Bau von Windkraftanlagen in Deutschland und die damit erzielten Umsätze sind dabei von vielen Faktoren beeinflusst, etwa von Genehmigungsverfahren, Mindestabstandsregeln zwischen Wohnsiedlungen und Windkraftanlagen oder auch der Akzeptanz in der Bevölkerung“ [4]. Es gab viele Regulatorien und Protestbewegungen, die in den letzten Jahren aufkamen. Kein Wunder, dass dabei manche Investition nicht realisiert werden konnte. Und das, obwohl die erneuerbaren Energien zunehmend an Bedeutung in der Stromversorgung gewinnen. In Deutschland werden laut AG-Energiebilanzen [5] bereits knapp 42 Prozent des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt. Die Windenergie ist hier einer der bedeutendsten Erzeuger und hat im Jahr 2019 zudem die Position der Braunkohle im deutschen Strommix abgelöst.

Potenzialanalyse für Politik und Wirtschaft

In diesem Beitrag wird eine deutschlandweite Potenzialanalyse auf Basis der LCOE präsentiert. Die Analyse wird weiterführend auf die Bundesländerebene übertragen und räumlich-statistisch ausgewertet. Generell werden Potenzialanalysen sowohl von der Regionalplanung als auch von der Wirtschaft durchgeführt.

Diese Analysen sind für die politische Entscheidungsfindung von großem Interesse. In der Regel liegt bei ihnen der Fokus auf dem potenziellen Energieertrag oder auf der Menge möglicher Anlagen vor Ort. Hinzu kommt die kalkulierte Mindestauslastung, sprich: der möglichen Volllaststunden im Jahr. Dabei wird auf Basis von Windgeschwindigkeitsdaten und den Leistungsdaten einer Referenzanlage ein möglicher Energieertrag berechnet. Danach können attraktive Flächen je nach festgelegtem Energieschwellenwert herausgefiltert und dann für die Potenzialberechnung, wie zum Beispiel die Turbinenanzahl, verwendet werden.

Neben der Ertragsfilterung werden die potenziellen Standorte zudem durch kritische Baubereiche begrenzt. Je nachdem, wie die politische und rechtliche Ausrich-

Erfolg, Rückgang, fehlende Wirtschaftlichkeit

Trotz des Erfolgs der erneuerbaren Energien in den letzten 20 Jahren und der Überarbeitung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2017 ist der Ausbau der Windenergie an Land heute sehr stark zurückgegangen [6]. Ein Grund dafür könnte eine fehlende Wirtschaftlichkeit der ausgeschriebenen Flächen sein. Ein wichtiges Merkmal diesbezüglich sind die Stromgestehungskosten (d. h. wie viel Euro kostet es, eine Kilowattstunde Strom zu produzieren? Engl. „Levelized Cost of Electricity“, LCOE), da diese vermutlich an windarmen Standorten die garantierte Marktprämie übersteigen und demnach solche Standorte nicht rentabel sind.

tion an den Standorten ist, fallen diese Filterungen häufig unterschiedlich stark oder schwach aus. Allgemeingültig ist jedoch das grundsätzliche Bauverbot auf Flächen wie Schutzgebieten, Flughäfen und Siedlungsflächen. Somit werden diese kritischen Bereiche häufig in großflächige Berechnungen mit einbezogen. Dieser Ansatz der Potenzialberechnung bildet jedoch nur den energetischen Bereich ab. Ein weiterer wesentlicher Aspekt in der Realisierung eines Windparkprojekts ist seine Wirtschaftlichkeit. Um den wirtschaftlichen Energieertrag zu berechnen, werden beide Ansätze miteinander verbunden.

Für die Potenzialanalyse wurden Korrekturfaktoren für ganz Deutschland auf Basis eines Rasters aus Windinformationen mit einer Pixelgröße von 200 m × 200 m mit 84 Turbinentypen auf neun Nabenhöhen berechnet. Der aus dem verwendeten Datensatz berechnete beste Korrekturfaktor der jeweiligen Windgeschwindigkeit wurde mit dem zugehörigen Standortertrag multipliziert, um den wirtschaftlich gewichteten Energieertrag für jede Rasterzelle aufstellen zu können.

Für die Gewinnberechnung eines Investors werden jedoch neben dem Umsatz auch die Kosten benötigt. Diese können als Stromgestehungskosten (LCOE) berechnet und dargestellt werden. Sie umfassen Installationskosten, Rückbaukosten und diskontierte Betriebskosten. Davon abgeleitet ergeben sich schließlich die jährlichen Durchschnittskosten, welche als Vergleichsmetrik zwischen Energieerzeugungsformen genutzt werden können. Insbesondere in der Welt der erneuerbaren Energien (EE) kann so der Bezug zu kon-

ventionellen Energieerzeugungsformen verständlicher dargestellt und analysiert werden.

Gewichtet, ungewichtet und die wirtschaftliche Attraktivität für mehr Windkraft

Die Korrekturfaktoren zu den jeweils besten Turbinentyp-/Nabenhöhenkombinationen werden für die statistische Auswertung auf Bundesländerebene wieder in Verbindung mit Geodaten gebracht. Der Windgeschwindigkeits-Rasterdatensatz wird dazu in einen Vektordatensatz umgewandelt und als Shapedatei gespeichert, wobei die Pixelwerte, also die Windgeschwindigkeiten, in den Vektordatensatz überführt werden. Die LCOE-Ergebnistabelle kann dadurch mittels Windgeschwindigkeiten mit den Geometrien verknüpft werden, wodurch alle generierten Informationen innerhalb der Shapedatei für weitere Analysen gebündelt werden können.

Bei den ungewichteten Ergebnissen, d. h. den LCOE ohne Anwendung des Korrekturfaktors, lässt sich eine Bevorzugung der nördlichen, küstennahen Bundesländer ausmachen. Dies liegt natürlicherweise an den dort herrschenden günstigen Windverhältnissen, was eine hohe Energieausbeute zur Folge hat. Jedoch ist die restliche Fläche Deutschlands diesbezüglich stark benachteiligt, insbesondere der Süden weist ein sehr geringes Maß an potenziell wirtschaftlichen Flächen auf.

Die mit dem Korrekturfaktor und somit den lokalen Windverhältnissen gewichteten Ergebnisse (ALCOE = adjusted LCOE) zeigen hingegen ein stark verän-

Korrekturfaktor

Der Korrekturfaktor ist ein Begriff aus dem EEG 2017 und sorgt dafür, dass erzeugter Strom an windschwächeren und windstärkeren Standorten unterschiedlich vergütet wird. Um die Vergütungshöhe zu berechnen, wird – vereinfacht gesagt – der bei der Vergabe der Betriebserlaubnis festgelegte Vergütungswert (in Eurocent pro Kilowattstunde) mit dem Korrekturfaktor multipliziert. Der Korrekturfaktor nimmt je nach Standortqualität (windreich bis windarm) Werte zwischen 70 und 150 Prozent an [7].

deres Bild. Der Korrekturfaktor mindert die Heterogenität der LCOE und bewirkt damit einen deutschlandweiten Zuwachs an attraktiven Flächen. Dabei verlieren zwar die norddeutschen Länder relativ an Attraktivität, jedoch stagniert hier der Ausbau ohnehin seit Jahren, da viele geeignete Flächen bereits bebaut sind. Mitteldeutschland hingegen profitiert vom Korrekturfaktor, wodurch insbesondere Flächen in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt gefördert werden. In ihrer Gesamtheit wird die Streuung der LCOE innerhalb Deutschlands gemindert. Dennoch gibt es starke Unterschiede innerhalb der Bundesländer.

Beispielhaft werden Schleswig-Holstein (SH), Sachsen-Anhalt (ST) und Nordrhein-Westfalen (NW) betrachtet. Bei diesen Bundesländern kommt der Einfluss der wirtschaftlichen Gewichtung am stärksten zum Tragen. Im Mittel scheint SH weiterhin bevorzugt zu sein.

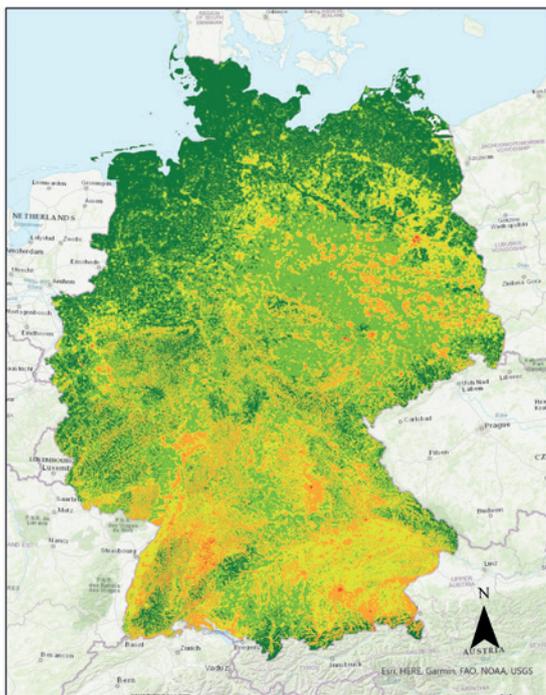
Bei der räumlich-statistischen Analyse soll der wirtschaftlich attraktive Flächenanteil beleuchtet werden. Um einen sicheren Gewinn gewährleisten zu können, wird ein LCOE-Schwellenwert von 6 ct pro kWh angenommen. In diesem Fall sind bei einer einfachen LCOE-Berechnung über 80 Prozent der Fläche von SH unterhalb dieses Werts und damit rentabel.

bel. NW und ST liegen hingegen unter 30 Prozent bzw. unter 10 Prozent. Betrachtet man jedoch die ALCOE-Flächen, sieht man einen starken Aufschwung, insbesondere bei ST. In diesem Szenario scheinen NW und ST vom prozentualen Flächenanteil her führend in Deutschland zu sein. Die Anzahl attraktiver Flächen in den nördlichen Ländern, wie zum Beispiel SH, sinkt hingegen im Vergleich zum einfachen LCOE drastisch um gut 50 Prozentpunkte. Jedoch ist auch hier zu erkennen, dass die Bundesländer insgesamt näher zusammenrücken und sich der Großteil bei 40 bis 50 Prozent der Landesfläche einpendelt.

Natürlich ist nicht die gesamte wirtschaftlich potenziell sinnvolle Fläche auch wirklich nutzbar. Dennoch zeigt diese Analyse die starken Auswirkungen des Korrekturfaktors. Außerdem erbringt sie die Erkenntnis, dass eine Potenzialanalyse hinsichtlich der Energieausbeute nicht unbedingt die Verteilung des wirtschaftlichen Potenzials widerspiegelt.

Neben der reinen Energiepotenzialanalyse ist es also auch wichtig, den wirtschaft-

Levelized Cost of Electricity (LCOE)



Adjusted Levelized Cost of Electricity (ALCOE)



Ungewichtete LCOE-Ergebnisse (links) und gewichtete ALCOE-Ergebnisse (rechts) in Kartenform

Den ausführlichen Beitrag mit dem Thema „Räumlich-wirtschaftliche Potenzialanalyse von Windkraftanlagen in Deutschland“ finden Sie nach der AGIT 2021 unter www.agit-journal.net.

lichen Hintergrund zu beleuchten, da es sonst zwischen Wirtschaft und Politik zu Missverständnissen kommen kann. Dennoch ist festzuhalten, dass der Einsatz des Korrekturfaktors durchaus seine geplante Wirkung erzielt. Die wirtschaftliche Attraktivität der gesamten Bundesrepublik Deutschland steigt, was zumindest aus wirtschaftlicher Sicht einen Ausbau der Windkraft weiter fördern sollte. Und das wäre dann im Sinne der Energiewende. Also nutzen wir stärker das Potenzial des Arbeitspferds der Energiewende – die Windkraft.

Quellen:

- [1] de.statista.com/statistik/daten/studie/162632/umfrage/investitionen-in-windenergieanlagen-in-deutschland-und-weltweit-seit-2000
- [2] www.bund.net/energiewende/erneuerbare-energien/windenergie
- [3] www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/windenergie#strom
- [4] www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/05/PD20_184_325.html
- [5] AG-Energiebilanzen: Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zur Entwicklung im Jahr 2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2020
- [6] Fraunhofer IEE: Windenergieausbau stagniert (2. 7. 2019). www.iese.fraunhofer.de/de/presse-infothek/Presse-Medien/Pressemitteilungen/2019/windenergieausbau-stagniert.html
- [7] www.wind-lexikon.de/cms/lexikon/95-lexikon-k/1283-korrekturfaktor.html

Kontakt:

David Hennecke, Carsten Croonenbroeck
Universität Rostock
E: david.hennecke@uni-rostock.de
carsten.croonenbroeck@uni-rostock.de

Mapping the future with the new Z+F PROFILER® 9020

Get in contact with our sales team for more information about our new product

Z+F[®]
Zoller+Fröhlich

