

Wind über den Zäunen

In Windparks können günstig angebrachte Windschutzzäune den Ertrag steigern.

Joachim Peinke und Bernhard Stoevesandt

Bringt man Zäune in der Nähe der einzelnen Windturbinen von Windparks an, können die Parks bis zu zehn Prozent mehr Ertrag liefern. Diese überraschende Aussage haben zwei Physiker der University of Twente kürzlich veröffentlicht [1]. Damit widersprechen sie zum einen der Annahme, dass möglichst flache und hindernisarme Umgebungen für Windturbinen, auch Windenergieanlagen genannt, ideal seien. Zum anderen widerlegen sie Untersuchungen, die zwar eine Leistungssteigerung mit einem Windzaun vor einer Anlage erzielen, aber bei einem großen Windpark das Gegenteil bewirken [2, 3].

Der Klimawandel und unser von Energienutzung geprägtes Leben erfordern den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien. Dabei spielt die Windenergie eine wichtige Rolle, sodass der Bau von Anlagen auch an weniger idealen Standorten zur Diskussion steht. Große Parkformationen mit hundert oder mehr Anlagen sind die wirtschaftlichste Variante, haben jedoch den Nachteil, dass sich die Anlagen gegenseitig den Wind nehmen. Seit einigen Jahren wird intensiv daran geforscht, wie sich durch optimale Anordnung der Anlagen oder durch ihre spezielle Regelung der Ertrag eines Windparks erhöhen lässt. Arbeiten Anlagen in der dem Wind zugewandten Seite eines Parks z. B. weniger effizient und lassen damit mehr Wind durch, kann dies die gesamte Effi-

zienz steigern. Schon wenige Prozent entsprechen beim Jahresertrag eines größeren Windparks einem Wert von hunderttausenden Euro.

Die Windenergieleistung hängt von der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ab, sodass die Geschwindigkeit maßgeblich die optimale Leistungsabgabe bestimmt. Weil sich Windgeschwindigkeiten und -richtungen fortwährend ändern, sind aber kaum direkte Untersuchungen an realen Windparks möglich. Für eine Optimierung gilt es aber, wohldefinierte Fälle zu untersuchen.

Aktuell basieren solche Untersuchungen auf numerischen Modellen oder reskalierten experimentellen Modellen; positive Ergebnisse lassen sich auf reale Windparks übertragen. Numerische Untersuchungen mittels der exakten Simulation der Strömungsphysik sind wegen des extrem hohen Rechenaufwands bisher nicht möglich. Solche direkten numerischen Simulationen müssten alle wichtigen Skalen auflösen – von der mehrfachen Größe eines Windparks von etlichen Kilometern bis hin zu den kleinsten turbulenten Strömungsdetails im Millimeterbereich. Schon allein die Anzahl der Punkte, für die Ergebnisse zu berechnen wären, überschreitet aktuelle Rechnerleistungen. Einen Ausweg bieten Mittelungen, die kleinskalige

Details durch Turbulenzmodelle ersetzen. Hier unterscheidet man zwischen Simulationen, die auch über die Zeit mitteln (RANS; Reynolds Averaged Navier Stokes) und den Large-Eddy-Simulationen, die zeitliche Änderungen in den Mittelungsgebieten zulassen. Mit letzteren gelingt es, die Windströmung in einem ganzen Windpark zeitaufgelöst zu simulieren (Abb. 1). Bei diesen Berechnungen ist es entscheidend, geeignete Simulationsverfahren mit optimaler räumlicher Auflösung – dem Gitter der Strömungssimulation – auf die Rechnerleistung abzustimmen. Im letzten Jahrzehnt hat Richard Stevens, einer der Autoren der aktuellen Studie [1], eine entsprechende Large-Eddy-Simulation nach einem Aufenthalt bei der Gruppe um Charles Meneveau an der Johns Hopkins Universität, USA, entwickelt.

Durch das Optimieren soll sich die Strömung im Windpark so verändern, dass mehr Ertrag entsteht. Neben der gegenseitigen Abschattung der Anlagen ist es wichtig zu verstehen, wie die reduzierte Windgeschwindigkeit sich in einem Park erholen kann (Abb. 2). Dafür sind die Energieflüsse in der Strömung entscheidend [4]. Den Hauptbeitrag der Energie machen die über dem Windpark strömenden Winde aus. Doch ein wenig beachteter Teil der Energie nimmt andere Wege, und zwar durchströmt sie den Park neben und unter den Anlagen – teilweise durch den Versperrungseffekt der Anlagen [5]. Den Einfluss dieser bodennahen Strömung er-

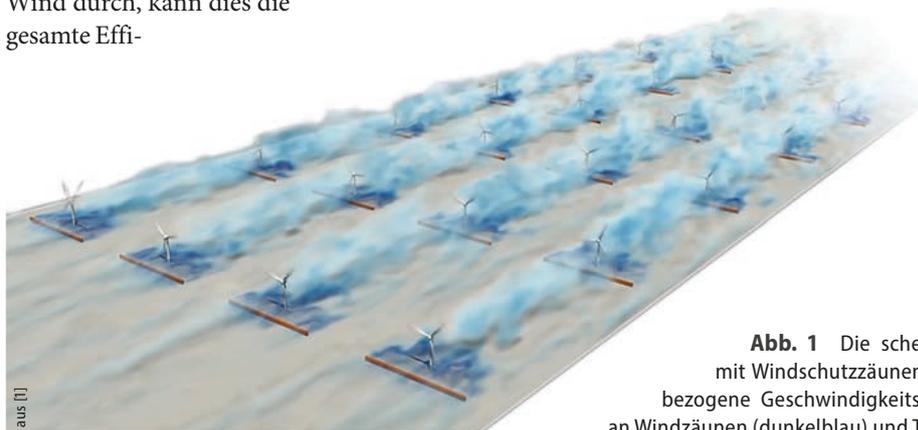


Abb. 1 Die schematische Darstellung eines Windparks mit Windschutzzäunen (rot) zeigt die momentane strömungsbezogene Geschwindigkeitsverteilung (blau). Nachlaufströmungen an Windzäunen (dunkelblau) und Turbinen (hellblau) sind hervorgehoben.

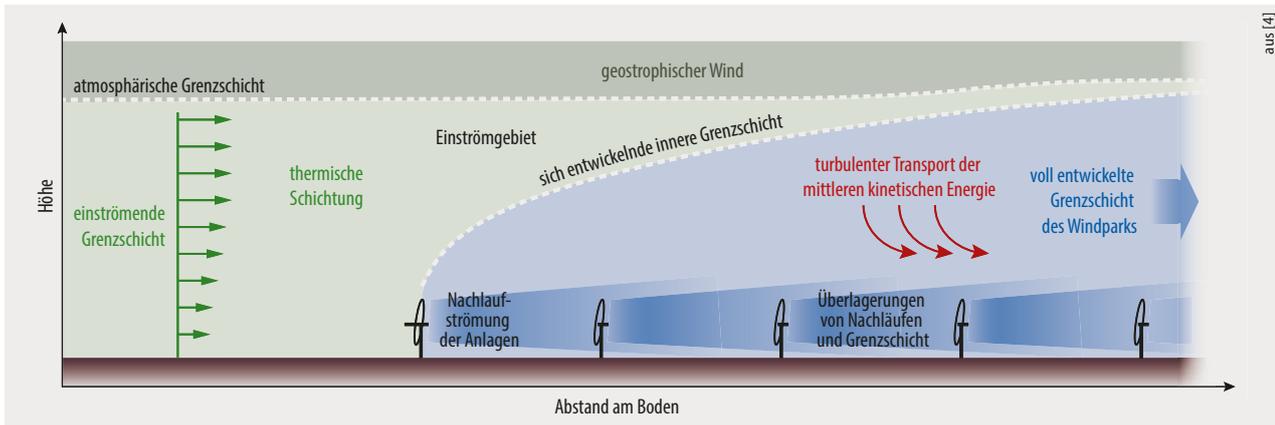


Abb. 2 Diese Darstellung illustriert die unterschiedlichen Strömungsphänomene vor und in einem Windpark. Die freie ungestörte atmosphärische Grenzschicht befindet sich oberhalb des durch den Windpark beeinflussten Bereichs (blau).

forscht nun die aktuelle Studie von Luoqin Liu und Richard Stevens [1]. Sie untersuchen, wie sich der Energiefluss verändern lässt, um mehr Leistung im Windpark zu generieren.

Über einem Hindernis, etwa einem Zaun, erhöht sich die Windgeschwindigkeit infolge seines Strömungswiderstands. Diese lokale Veränderung kann die Leistung einer Anlage steigern, wenn eine geeignete Positionierung des Windzauns die erhöhte Windgeschwindigkeit auf die Anlage lenkt. Diese lokale Geschwindigkeitserhöhung verursacht jedoch durch den Strömungswiderstand bzw. die damit verbundene Reibung ein Abbremsen des gesamten Windes. Für einen fiktiven unendlich ausgedehnten Windpark folgt demnach eine Leistungsabnahme in der Gesamtbilanz. In realen kleineren Windparks sieht das jedoch anders aus. Im Detail untersuchen Liu und Stevens, wie sich unterschiedlich arrangierte Windzäune in einem Park mit sechs Reihen von Anlagen auf die Leistungsabgabe auswirken [1]. Dabei finden sie Anordnungen, bei denen der gesamte Park mehr als zehn Prozent Ertragssteigerung erzielt. Entscheidend ist hierbei, dass eine Ertragsoptimierung einzelner Anlagen zu anderen Ergebnissen führt als die Betrachtung des ganzen Parks. Die Kunst besteht darin, einerseits die Strömungserhöhung über den Windzäunen räumlich so anzuordnen, dass einzelne Anlagen mehr Wind abbekommen, und andererseits die Geschwindigkeitsreduktion von den Anlagen fernzuhalten.

Die Arbeit von Liu und Stevens zeigt sehr schön, wie ein tieferes Verständnis der Windströmungen mit ihren Nichtlinearitäten zu neuen, überraschenden Ergebnissen führen kann. Es gilt, die Strömungsphysik im Detail zu verstehen und herkömmliche Meinungen infrage zu stellen. Diese Arbeit hat das Potenzial, zukünftige Planungen für Windenergieanlagen neu anzugehen. So muss z. B. aus der Bepflanzung der Umgebung, etwa für eine landwirtschaftliche Nutzung, nicht zwingend ein Ertragsnachteil für die Energiegewinnung folgen. Heutige Methoden und eine gesamtheitliche Betrachtung könnten ein Miteinander von Landwirtschaft und Windenergie begründen. Darüber hinaus dürfte der wachsende Ausbau der Windenergie dazu führen, dass Anlagen in immer komplexerem Gelände entstehen. Für solche

Vorhaben sind die hier besprochenen Methoden von großer Bedeutung, um durch die richtige Wahl der Standorte optimale Erträge zu erzielen.

- [1] L. Liu und R. J. A. M. Stevens, *Phys. Rev. Fluids* **6**, 074611 (2021)
- [2] N. Tobin et al., *Boundary-Layer Meteorol.* **163**, 253 (2017)
- [3] N. Tobin und L. Chamorro, *Energies* **10**, 1140 (2017)
- [4] R. J. A. M. Stevens und Ch. Meneveau, *Annu. Rev. Fluid Mech.* **49**, 311 (2017)
- [5] J. Meyers und Ch. Meneveau, *J. Fluid Mech.* **715**, 335 (2013)

Die Autoren

Prof. Dr. Joachim Peinke, ForWind & Institut für Physik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Kükpersweg 70, 26129 Oldenburg und **Dr. Bernhard Stoevesandt**, Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme IWES, Kükpersweg 70, 26129 Oldenburg

Kurzgefasst

Simulierte Sandhügel

Ein Sandhügel erreicht abhängig von Partikelgröße und Gravitationsbeschleunigung unterschiedliche Böschungswinkel. Zwei Physiker der U Köln und U Duisburg-Essen haben nun ein Modell entwickelt, um den Winkel genau vorherzusagen. Dafür simulierten sie Partikelgrößen zwischen 50 µm und zehn Metern sowie Gravitationsbeschleunigungen vom 0,06- bis 100-Fachen der Erde. Ein Vergleich mit experimentellen Werten für Glaskugeln validierte die Daten. Das ist z. B. wichtig für die Präzision beim 3D-Druck.

F. Elekes und E. J. R. Parteli, *PNAS* **118**, e2107965118 (2021)

Schöne Schokolade

Damit Schokolade schön glänzt und auf der Zunge zergeht, muss die enthaltene Kakao-butter in einem besonderen Kristallzustand vorliegen, der Form V. Das gelingt nur, wenn die heiße flüssige Masse in einem aufwändigen Vorgang gezielt auf 20 °C abkühlt. Dabei führen schon kleine Abweichungen zu Ausschuss. Einem kanadischen Team ist es nun gelungen, den Prozess mithilfe von Phospholipiden zu vereinfachen, die auch natürlich in Kakaobutter vorkommen und den Geschmack nicht verändern. Um ihre Proben objektiv zu beurteilen, kam u. a. Röntgen-Mikrotomografie zum Einsatz.

J. Chen et al., *Nat. Commun.* **12**, 5018 (2021)