

Die versteckten Kräfte des Windes

Wo der Wind bläst, lässt sich viel Windenergie produzieren – eine Binsenwahrheit. Doch das ist nicht die ganze Wahrheit. Auch Luftverwirbelungen und die Richtung der Winde bestimmen, wie viel Leistung eine Windturbine erzielt. Diese Effekte fallen sogar recht stark ins Gewicht. Das zeigt eine aktuelle Untersuchung von Wissenschaftlern der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich.



ETH-Forscher Christian Kress senkt die auf dem Kopf stehende, skalierte Windkraftanlage – bestehend aus Rotor, Gondel und Turm – in den Wasserkanal der Versuchsanlage. Foto: ETHZ

Anita Vonmont, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Je schneller der Wind durch eine Windkraftanlage pfeift, desto mehr kann sie leisten. Verdoppelt sich zum Beispiel die Windgeschwindigkeit, so schießt die Leistung ums Achtfache in die Höhe. Unzählige Studien betonen es: Die Windgeschwindigkeit ist matchentscheidend für die Wahl von guten Windstandorten.

Es gibt aber noch andere Einflussgrößen des Windes, die bestimmen, wieviel Energie

eine Windturbine produziert. Bloss konnte man diese wenig bekannten Einflüsse bisher schlicht nicht messen.

Vom Modell in den Praxistest

Einem Forschungsteam von Ingenieur Ndao-na Chokani ist dies nun aber in einer vom Bundesamt für Energie (BFE) geförderten Studie gelungen. „Wir konnten nachweisen, dass auch Luftverwirbelungen und abweichende Windrichtungen die Leistung von Windanlagen spürbar beeinflussen“, betont der Forscher am Institut für Energietechnik der ETH Zürich.

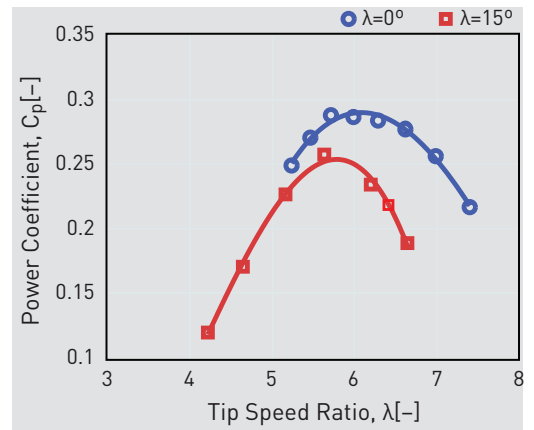
2 Die versteckten Kräfte des Windes

Für diesen Nachweis haben die Forscher in einer Versuchsanlage zunächst ermittelt, wie unterschiedlich starke Luftverwirbelungen (Turbulenzen) und Änderungen der Windrichtung die Leistung einer Modell-Windkraftanlage beeinflussen (vgl. Textbox). Mit den Resultaten haben sie am Computer ein Modell erstellt, das diesen Einfluss auch für reale Windstandorte ermitteln kann. Den Praxistest machten sie gleich selbst. Im grössten Schweizer Windpark auf dem Mont Crosin im Berner Jura haben sie mit Satelliten-Wetterdaten und eigenen Messdaten ein Jahr lang die dortigen Turbulenzen und Windrichtungen gemessen und anschliessend mit dem Modell ihren Einfluss auf die Leistung des Windparks bestimmt.

Erhebliche Gewinne und Verluste

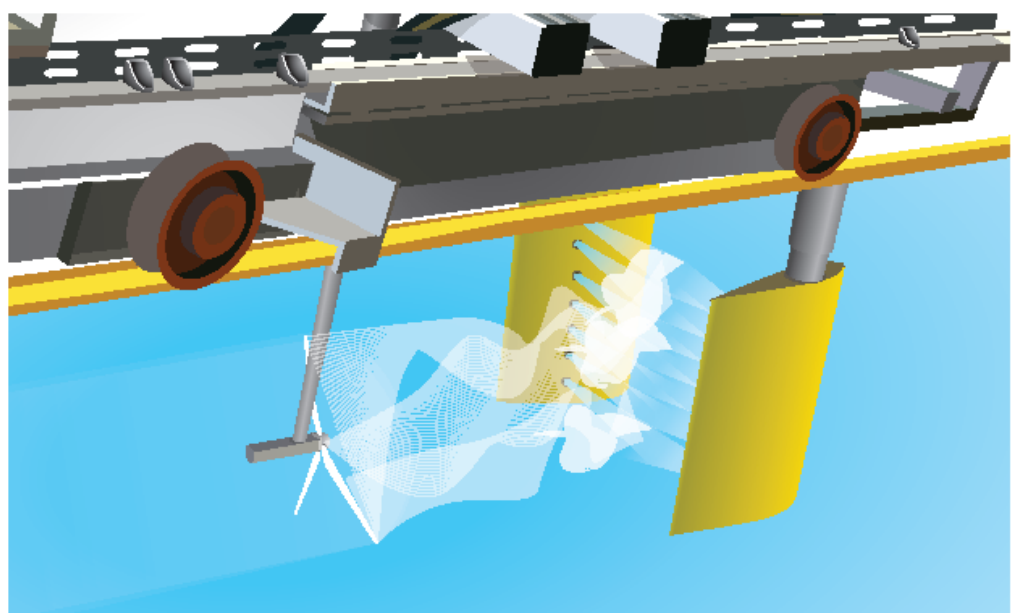
Das Forschungsprojekt zeigt nun also erstmals, wie stark dieser Einfluss ist:

- Am leistungsfähigsten sind Windkraftanlagen, wenn die Anströmung genau horizontal, unter einem Winkel von 0 Grad, auf die Rotoren trifft. Bei einer sehr starken Auf- und Abwärtsneigung der Anströmung von 15 Grad verringert sich die Leistung um 7 Prozent. Ausgesprochen flache Länder wie die Windenergie-Hotspots Norddeutschland



Die Grafik zeigt, wie die Windrichtung die Turbinen-Leistung beeinflusst: Horizontale Windströme erzielen eine höhere Leistung (blaue Kurve) als stark auf- und abwärts geneigte Windströme (rote Kurve). Je nach Schnelllaufzahl (d.h. dem für die Leistung wichtigen Verhältnis von Wind-Anströmgeschwindigkeit und Umlaufgeschwindigkeit der Rotorblattspitzen, eingetragen auf der X-Achse) ist dieser Effekt unterschiedlich stark ausgeprägt. Grafik: ETHZ

und Dänemark haben in dieser Hinsicht einen Vorteil, denn dort fegen die Winde meist horizontal übers Land. Die Schweiz hingegen mit ihren Hügeln, Tälern und Bergen hat



Turbulenzzeugung im ETH-Modellversuch: Aus zwei Sets von Düsen unter dem Schleppwagen strömt Wasser, wodurch die Anströmung auf die Test-Turbine turbulent wird. Grafik: ETHZ

3 Die versteckten Kräfte des Windes

weniger gute Bedingungen. Auf dem Mont Crosin im Berner Jura haben die Forscher vertikale Abweichungen der Windrichtung zwischen 8 und 13 Grad gemessen. Übers Jahr hinweg reduzierte diese Strömungsneigung des Windes die Leistung im Windpark um 2 bis 5 Prozent.

- Abweichende Windrichtungen haben aber zugleich einen positiven Effekt: In ihrer Versuchsanlage haben die Forscher beobachtet, dass in diesem Fall der hinter einer Turbine abgeschwächte Windstrom schneller wieder anschwellen kann. An hügeligen Standorten, wie sie in der Schweiz oft anzutreffen sind, kann man Windkraftanlagen daher viel näher hintereinander platzieren als im Flachland.

- Positiv wirken sich für hügelige Länder auch die hier vergleichsweise starken Turbulenzen aus. Je stärker die Luft im Bereich von Turbinen verwirbelt ist, desto mehr Wind können die Anlagen ernten. Gemäss der Studie der ETHZ erhöhen Turbulenzintensitäten von 8 bis 16 Prozent, wie sie auf dem Mont Crosin vorkommen, die Leistung der dortigen Windturbinen um bis zu 4 Prozent – dies im Vergleich zu den turbulenzärmsten Windstandorten der Welt, etwa der Nordsee (mit 2.5 bis 6 Prozent Turbulenzintensität).

Windstandorte sauber vorabklären

Unter dem Strich sieht die Bilanz für Windanlagen in hügeligem Gelände günstig aus: Ein Windpark wie jener auf dem Mont Crosin dürfte wegen der Turbulenzen und unsteten Windrichtungen unter dem Strich einen Leistungsgewinn von etwa 1 bis 3 Prozent erzielen im Vergleich zu einem Windpark in einem ganz flachen Gebiet. Das mag nach wenig klingen, doch schon ein einziges Prozent Leistungsgewinn kann – grob hochgerechnet – bei einer mittelgrossen (2 MW-) Windturbine zu zusätzlichem Strom für rund ein Dutzend Haushalte pro Jahr führen, für einen ganzen Windpark summiert sich das entsprechend.

Es lohnt sich also, im Vorfeld von geplanten neuen Windparks sauber abzuklären, welche

Standorte die beste Leistung versprechen – eben nicht nur die besonders windreichen, sondern auch jene mit vielen Turbulenzen und geringer Abweichung der Windrichtung. Gerade in der kleinräumigen Schweiz, wo fast jedes neue grössere Windprojekt auf Op-



Luftverwirbelungen und unstete Windrichtungen sind typisch für hügelige Landschaften. Auf dem Mont Crosin (Bild) steigt deswegen die Leistung um rund 1 bis 3 Prozent im Vergleich zu einem Windpark in sehr flachem Gelände, so die ETH-Studie. Foto: BKW

position stösst, sind möglichst genaue Vorabklärungen wichtig, für Investoren, aber auch für den Bund, der die Windkraft im Rahmen seiner Energiestrategie 2050 stark ausbauen will. Mit dem von den Forschern entwickelten Computermodell sollen diese präziseren Voruntersuchungen bald möglich werden, individuell für jeden einzelnen Standort.

„There is no free lunch“

Zuerst aber will ETH-Forscher Chokani den Faktor Turbulenzen noch genauer untersu-

4 Die versteckten Kräfte des Windes

chen. „There is no free lunch“, scherzt der US-Amerikaner, „nichts ist gratis zu haben“. Denn turbulente Winde seien zwar ein Segen für die Energieproduktion; zugleich aber rütteln sie an den Anlagen, sodass möglicherweise höhere Wartungskosten anfallen. Ob letzteres der Fall ist, untersucht das ETH-Team nun in einer Folgestudie des Bundesamts für Energie.

- » Der Schlussbericht zum Projekt ist abrufbar unter: http://www.bfe.admin.ch/forschungwindenergie/02512/02744/index.html?lang=de&dossier_id=06170
- » Auskünfte erteilt Lionel Perret, Leiter des BFE-Forschungsprogramms 'Windenergie': [lionel.perret\[at\]planair.ch](mailto:lionel.perret[at]planair.ch)
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Windenergie finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/CT/wind

Windturbine im Wasserkanal modelliert

Wie sich turbulente Winde und Luftströmungen unterschiedlicher Richtung auf die Leistung von Windanlagen auswirken – das zu messen ist nicht ganz einfach. „Bei realen Windkraftanlagen haben wir das Problem, dass der Wind nach der Laune der Natur bläst und nicht nach unseren Wünschen“, erklärt ETH-Forscher Ndaona Chokani, „und bei Tests im Windkanal können wir die benötigten Turbulenzen nicht erzeugen, denn um turbulent zu werden, braucht Luft viel mehr Raum als im Windkanal vorhanden ist.“

Die Forscher griffen daher zu einem Trick: In ihrem Versuchskanal strömt keine Luft, sondern Wasser. Im Wasser kann man schon auf kleinem Raum die gleichen Turbulenzen erzeugen, wie sie in der Luft bei realen Windanlagen vorkommen. Denn Wasser hat im Vergleich zu Luft eine andere – für strömungsmechanische kleinmasstäbliche Experimente vorteilhafte – Dichte und Viskosität. Die Modell-Windkraftanlage in einer Maschinenhalle der ETHZ wird daher von Wasser statt von Luft umströmt. Sie ist kopfüber unter einen Schleppwagen montiert. Es handelt sich um eine im Massstab 1:160 skalierte Windkraftanlage des Typs HTW2.0-80 von Hitachi. Ein Schleppwagen zieht die Windkraftanlage durchs stehende Wasser. Die Geschwindigkeit dieses Wagens gibt die Geschwindigkeit der Strömung vor, die auf die Turbine trifft. Die gewünschten Turbulenzen erzeugen die Forscher mit zwei Sets von Düsen, die, vor der Turbine, ebenfalls unter dem Wagen montiert sind. Unterschiedliche Strömungsrichtungen lassen sich erzeugen, indem man den Turm der Windturbine leicht kippt oder dreht, sodass der Rotor nicht mehr senkrecht, sondern geneigt durchs Wasser gezogen wird.

„Mit dieser Versuchsanlage können wir die verschiedenen Strömungseinflüsse einzeln oder zusammen gezielt variieren und dann jeweils den Einfluss auf die Turbinenleistung berechnen“, schildert Ndaona Chokani das Besondere an den vom BFE unterstützten ETH-Experimenten. Doch kann man von der Leistung einer Turbine im Wasser wirklich auf jene einer Windturbine schliessen? „Man kann, wenn man die entsprechenden Verhältnisse wahrt“, sagt der Forscher. Wichtig für die Leistung einer Windturbine ist vor allem das Verhältnis zwischen der Umlaufgeschwindigkeit der Rotorblattspitzen und der Windgeschwindigkeit. „Nehmen wir an, der Wind bläst bei einer realen Windanlage mit 5 Metern pro Sekunde, der Rotor dreht dann an den Spitzen mit 35 Metern pro Sekunde, 7 Mal so schnell. Um nun zuverlässige Aussagen über die Leistung machen zu können, müssen wir bei unserer Wasser-Turbine dasselbe Verhältnis nachstellen“, so Chokani. Neben der konstanten Anströmung, erzeugt durch die Bewegung des Schleppwagens, stellen die Forscher entsprechend die Umlaufgeschwindigkeit mit einem kleinen Antriebsmotor exakt ein. Je nachdem, welche Turbulenzen und Strömungsbedingungen die Forscher dann vorgeben, verändern sich sowohl die Turbinen-Leistung als auch die auf die Turbine wirkenden Lasten.

„Alles können wir nicht wirklichkeitsgetreu simulieren“, ergänzt Projektmitarbeiter Christian Kress, der neben seiner Doktorarbeit an der ETHZ an einem Industrieprojekt von Hitachi mitwirkt, „so ist etwa das Gehäuse der Gondel nicht ganz massstabsgetreu skaliert.“ Doch insgesamt, erklären die ETH-Forscher, gebe ihr Wassermodell die relevanten Parameter der Windrealität akkurat wieder. AV

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Postadresse: CH-3003 Bern
Telefon +41 (0)31 322 56 11, Fax +41 (0)31 323 25 00
cleantech[at]bfe.admin.ch, www.bfe.admin.ch