

# „Wie viel bringt sie wirklich?“

## Die Prognose von Windkraft-Erträgen ist alles andere als trivial – Tipps zur richtigen Anwendung von vorhandenen Produktionsdaten

von Herbert Schwartz



Foto: A.M. Windenergie/Debet

*Trügerische Idylle: Die Ertragsdaten bestehender Anlagen lassen sich nicht ohne Weiteres auf benachbarte Standorte übertragen.*

Wenn eine Windkraft-Anlage in Betrieb gegangen ist, rückt meistens relativ schnell die Frage in den Vordergrund, ob der erwartete Energieertrag auch tatsächlich erreicht wird. Mit Spannung beobachten Betreiber, – und ebenso Planer, Investoren und irgendwann auch die Bank – die Zählerstände. Schon nach wenigen Rotordrehungen sind die ersten Zahlen zur Hand, doch wie bei den Worten des Orakels bringen sie keine unmittelbare Klarheit: Denn was bedeuten sie wirklich?

Auch schon vor dem Bau eines Windparks ist eine verlässliche Vorhersage bei den Projektierern heiß begehrt. Sie stehen dabei vor der durchaus schwierigen Aufgabe, die Windverhältnisse am Standort mit hoher Genauigkeit vorhersagen zu müssen. Deshalb

ziehen die beauftragten Windgutachter häufig bereits im Planungsstadium Ertragsdaten bestehender Anlagen heran, um die Prognosen für neue Windkraft-Anlagen zu überprüfen.

In beiden Fällen wird jedoch eine Möglichkeit benötigt, kurzzeitige Ertragsdaten auf einen langjährigen, mittleren Trend zu extrapolieren. Meistens geschieht dies über so genannte Produktionsindices (PI), auch Windindices genannt. Diese sollen das im Mittel für die Windkraft-Nutzung verfügbare Energieangebot – nach Regionen unterteilt – im Bezug zum langjährigen Mittel charakterisieren. Solche Vergleichswerte werden von verschiedenen Stellen, in Deutschland insbesondere von der Ingenieurwerkstatt Energietechnik (IWET) und dem Inter-

nationalen Wirtschaftsforum Regenerative Energien der Universität Münster (IWR), monatlich herausgegeben.

Im Wesentlichen sollen im Folgenden verschiedene Aspekte ihrer Anwendung diskutiert werden, ohne allerdings auf die Hintergründe dieser Referenzdaten einzugehen. Diese sind größtenteils vom speziell gewählten Index unabhängig. Wichtig zum Verständnis ist jedoch, dass der Index des IWR auf Messungen der Windverhältnisse in großen Höhen beruht [1] und der des IWET auf Produktionsdaten von Windkraft-Anlagen [2].

### Eliminierung von Störungen

In der Regel interessiert der langfristige Ertragstrend einer

weitgehend störungsfrei funktionierenden Anlage. Bevor ein PI zum Einsatz kommt, müssen daher vorliegende Ertragsdaten von den Einflüssen durch Störungen, Wartung etc. bereinigt werden.

### Korrektur mit der Verfügbarkeit

Häufig werden als erste Näherung die Tages- oder Monatserträge durch die Verfügbarkeit, sofern sie bekannt ist, dividiert. Hierbei ist Vorsicht angebracht, denn in der Regel ist nicht bekannt, bei welchen Windverhältnissen die Verluste aufgetreten sind und wie die Verfügbarkeit berechnet wird. So ist es ein großer Unterschied, ob eine Windturbine wegen technischer Störungen mehrere Stunden bei Windstille oder bei Starkwind still steht.

Zudem wird von manchen Steuerungen beispielsweise die Sturmabschaltung fälschlicherweise als Störung behandelt, obwohl sie bei gleichen Bedingungen immer wieder auftreten wird. In einem solchen Fall wird die Korrektur mit der Verfügbarkeit zu deutlich übertriebenen Ertragszahlen führen. Die Untersuchung verschiedener Beispiele zeigte, dass die erläuterte Methode zur Korrektur der Verfügbarkeit



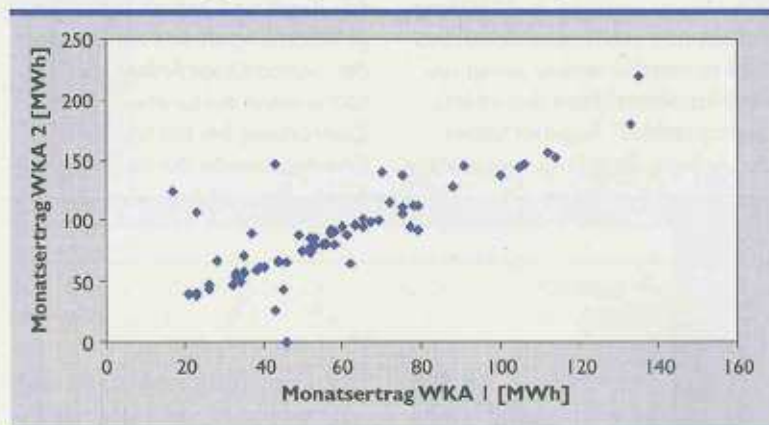
**Volksfeststimmung bei der Einweihung:** Viele Kommanditisten wollen so schnell es geht wissen, ob die Prognose des Fondsanbieters auch eingehalten wird.

manchmal sinnvoll ist, oft aber eher zu überhöhten Ertragswerten führt. Zudem versagt sie, wenn eine Anlage über einen gesamten Tag oder Monat nicht verfügbar war.

### Fiktive Idealanlage im Windpark

Bei Windparks bietet sich als alternative Möglichkeit an, den jeweils höchsten Tages- oder Monatswert aller Anlagen als reprä-

geneinander grafisch dargestellt. Alternativ kann auch eine Darstellung über andere Referenzwerte wie Windmessdaten oder einen PI erfolgen.



**Abb. 1** Vergleich der Monatserträge zweier wenige Kilometer voneinander entfernter Windturbinen mit zahlreichen von Störungen beeinflussten Monatswerten

sentativ für eine fiktive, weitgehend von Abschattungen und Störungen unbeeinflusste Anlage zusammenzustellen.

### Eliminierung von außergewöhnlichen Werten

Aussagen zum langjährigen Trend mit Hilfe eines PI sind für einzelne Anlagen wie Windparks aber auch möglich, wenn stark verfälschte Monatswerte einfach eliminiert werden. Hierbei ist der

Zeigt sich wie in Abbildung 1 ein klarer Trend, von dem nur wenige Werte abweichen, können diese eliminiert werden. Für solche Abweichungen kommen nicht nur Anlagenstörungen infrage. Auch andere außergewöhnliche Umstände wie beispielsweise die andauernden Südwindperioden in manchen Regionen im Herbst 2001 oder Fehler bei der Datenerfassung können zu veränderten Verhältnissen zwischen normalerweise gut korrelierten Datenreihen führen. Da langjährige mittlere Trends gesucht werden, ist es vertretbar, deutlich abweichende Werte unabhängig von der Ursache unberücksichtigt zu lassen. Bei schlechter Korrelation der verglichenen Datenreihen greift dieses Verfahren nicht. Liegen Tageswerte vor, ist oft ein ähnliches Vorgehen möglich und sinnvoll. Da PI aber meistens ganze Monate umfassen, müssen eliminierte Tageswerte ersetzt werden, was oft eine fallspezifische Vorgehensweise erfordert, die hier nicht weiter erläutert werden soll.

### Eignung der Produktionsindizes

Die Herausgeber von Indexdaten geben an, für welche Regionen diese prinzipiell repräsentativ sind. In jedem konkreten Fall sollte dies jedoch durch Vergleich des betrachteten Standorts mit der angegebenen Region und durch

Bezug auf die Verfügbarkeitsdaten hilfreich, aber nicht notwendig. Günstigerweise werden zur Identifikation der Ausreißer die Ertragswerte zweier Anlagen eines Windparks oder einer Region ge-

Kontrolle der Korrelation überprüft werden.

In Abbildung 2 besteht größtenteils ein sehr guter Zusammenhang zwischen dem PI und den Monatserträgen, in Abbildung 3 nicht (die rechts abweichenden Punkte werden weiter unten unter Nichtlinearitäten diskutiert). „Suboptimales“ Regelverhalten der Anlagen konnte in verschiede-

nen Fällen als Ursache für die starke Streuung identifiziert werden. Auch die nicht-synchrone Ablese der Daten oder Übertragungsfehler kommen infrage. In der Regel sind jedoch kleinräumige Strömungseffekte am Standort der betrachteten Anlage die Ursache, wenn beispielsweise die Zuströmung bei bestimmten Windrichtungen durch ausgepräg-

te orografische Effekte, Rauigkeitseinflüsse oder manchmal auch andere Windkraft-Anlagen im Vergleich zu einem für die PI-Region typischen Standort verstärkt oder vermindert wird.

Es ist leicht einzusehen, dass dann in Monaten, in denen die Windrichtungsverteilung nicht dem langjährigen Mittel entspricht (das sind natürlich die meisten Monate), das Verhältnis des Ertrags zum durchschnittlichen Ertrag anderer Anlagen der Indexregion schwankt. Diese Ursache kann in der Regel dadurch erkannt werden, dass die Daten verschiedener Anlagen der Umgebung gut miteinander, aber nicht mit dem PI korreliert sind. Es liegt auf der Hand, dass diese Situation häufig in komplexem Gelände auftritt. Daraus ergibt sich: Bei schlechter Korrelation darf der vorliegende PI nicht verwendet werden, denn dies würde zu sehr unsicheren Ergebnissen führen!

Eine Ausnahme besteht allerdings, wenn nach mehreren Jahren doch noch ein klar umrissener Trend erkennbar wird, wie beispielsweise in Abbildung 3 mit Ausnahme des Punktes ganz rechts. Besteht die zu untersuchende Anlage erst seit kurzem und gibt es eine andere Anlage seit mehreren Jahren in der Umgebung, kann durch Vergleich beider trotz größerer Streuung im Vergleich zum PI doch eventuell noch eine einigermaßen verlässliche Aussage für die neue Anlage getroffen werden. Dieser Vergleich sollte über eine lineare Regression, wie weiter unten für den PI erläutert wird, geschehen.

Liegen erst wenige Monatserträge vor, ist immer größte Vorsicht angebracht. Es sind schon Fälle aufgetreten, bei denen die Daten der ersten Betriebsmonate sehr gut mit einem PI korreliert waren, der Vergleich mit anderen Anlagen oder die folgenden Monate aber erst gezeigt haben, dass dies ein zufälliger Ausschnitt aus einem oft schwachen Zusammenhang war. Fehler bis rund 20 Prozent bei der unkritischen Betrachtung des ersten Betriebshalbjahres sind nicht ausgeschlossen.

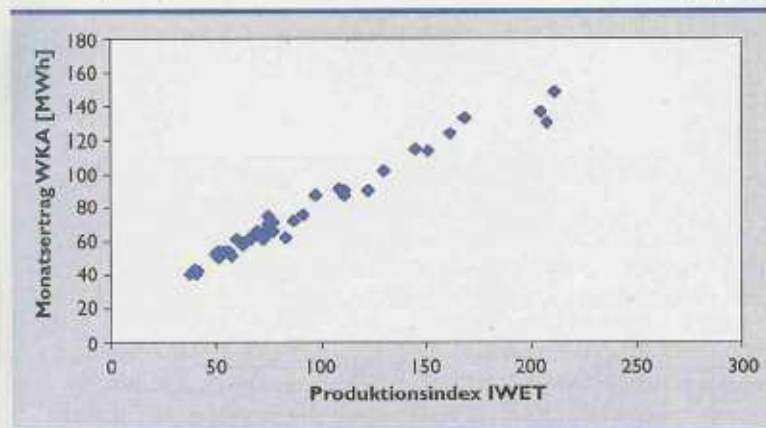


Abb. 2 Sehr gute Korrelation der Monatserträge einer WKA mit dem regionalen PI des IWET

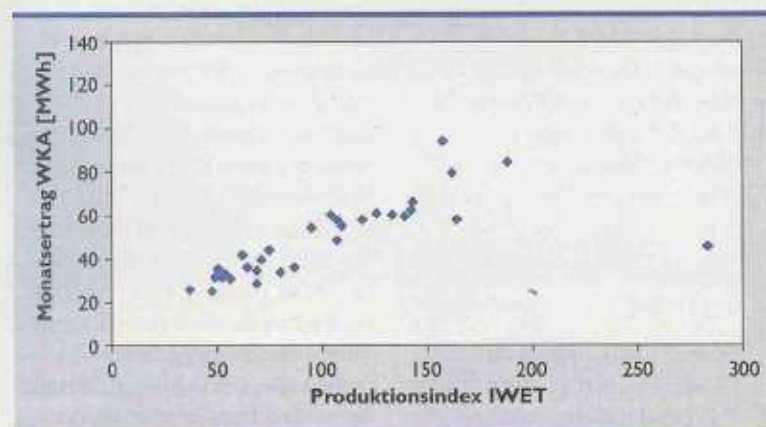


Abb. 3 Starke Streuung beim Vergleich der Monatserträge einer WKA mit dem regionalen PI des IWET

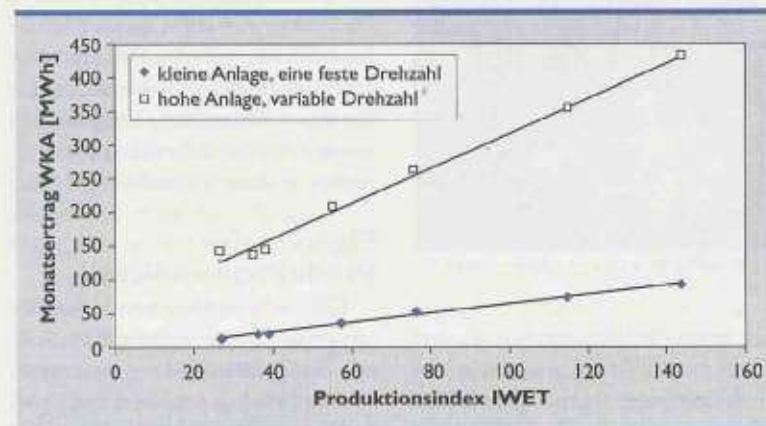


Abb. 4 Vergleich der Monatserträge zweier benachbarter, sehr unterschiedlicher Anlagen mit dem regionalen PI des IWET

## Exponierte Lagen, hohe Nabenhöhen und Schwachwindanlagen

Windkraft-Anlagen an exponierten Standorten oder mit hohen Nabenhöhen stehen teilweise in freier Anströmung und erfahren deshalb geringere Variationen der Windverhältnisse über das Jahr hinweg als niedriger gelegene Anlagen oder solche mit kleiner Nabenhöhe. Zudem haben verschiedene Anlagen unterschiedlich gute Schwachwindeigenschaften.

Beide in Abbildung 4 gezeigten Anlagen haben einen weitgehend linearen Zusammenhang mit dem PI. Da die Näherungsgeraden jedoch nicht durch den Nullpunkt führen, sind beider Erträge aber nicht proportional zum PI.



Schwachwind oder Starkwind? Gerade im Binnenland (hier: Windpark Bockelwitz in Sachsen) sind die Windverhältnisse schwierig vorherzusagen.

Eine weit verbreitete Vorgehensweise ist, zunächst die Monatswerte einzeln durch den jeweiligen PI zu dividieren. Dies ergibt für jeden Monat einen eigenen langjährigen Trend (Abbildung 5). Alle Monatsergebnisse werden dann gemittelt, was in diesem Fall für die große Anlage in windschwachen Monaten zu hohe (und für die kleine zu niedrige) Werte ergibt. Zudem wirken sich kleinere Schwankungen in den windschwachen Monaten überproportional auf das Ergebnis aus. Es kann dann auch beobachtet werden, dass ein windstarker Monat das Gesamtbild erheblich ändert.

Diesem Problem kann elegant Rechnung getragen werden, in-

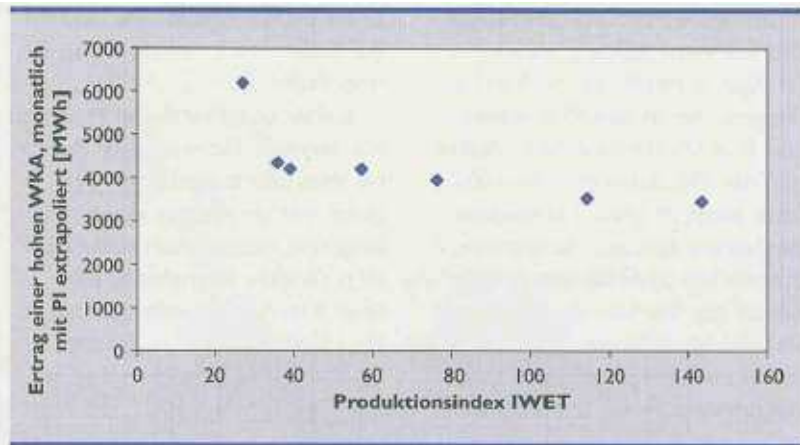


Abb. 5 Langfrist-Extrapolation der größeren Anlage aus Abbildung 4 mittels monatlicher Division durch den PI

dem eine lineare Regression der Ertragsdaten über den PI berechnet wird. Der Punkt der in Abbildung 4 dargestellten Regressionsgerade, der dem PI 100 ent-

trag, der um 14 Prozent geringer ist als der zuerst berechnete Mittelwert, während die benachbarte kleine Anlage so um 15 Prozent höher berechnet wird.

## Nichtlinearitäten

Manchmal kann beobachtet werden, dass die Ertragsdaten einen gekrümmten Verlauf über den PI haben. Dies kann wiederum standort- oder anlagenspezifische Gründe haben. In diesen Fällen gelingt eine Extrapolation auf langjährigen Trend nur mit geringerer Zuverlässigkeit. Nach eingehenden Überlegungen schlagen wir vor, in diesen Fällen eine Extrapolation nur bei Vorliegen einer größeren Datenbasis durchzuführen. Diese sollte unbedingt sowohl Schwach- als auch Starkwindperioden enthalten.

Ein Extremfall für nichtlineare Verhältnisse stellt der Februar 2002 dar. In diesem außergewöhnlich windstarken Monat wurde, je nach Standort und Auslegung, bei manchen Anlagen die

spricht, ist dann der auf den langjährigen Trend extrapolierte mittlere Monatsertrag. Im Fall der hier betrachteten großen Anlage ergibt dies einen Jahresenergieer-

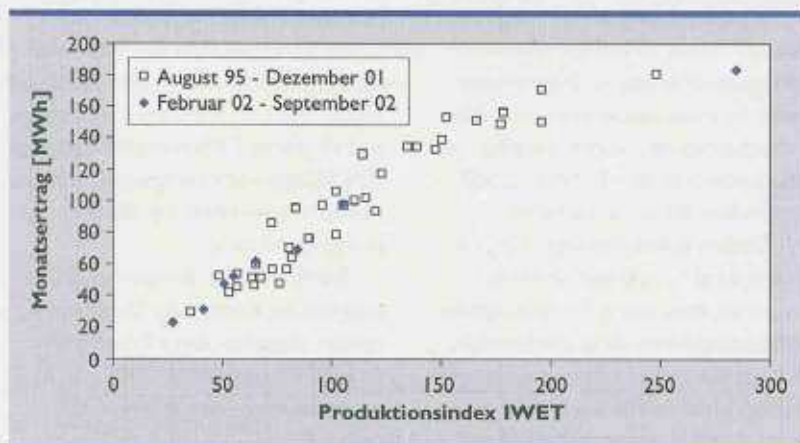
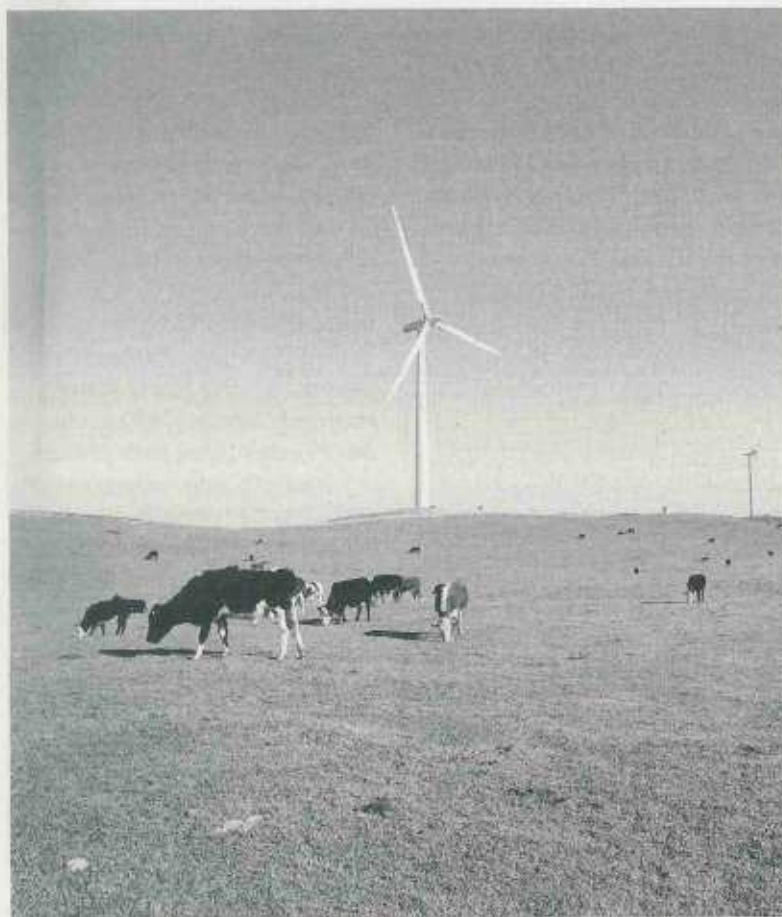


Abb. 6 Nichtlinearer Verlauf durch Abregeln in Starkwindmonaten

Leistungsbegrenzung oder sogar die Sturmabschaltung wesentlich häufiger erreicht als im Mittel der Anlagen, die in den PI eingeflossen sind. Daher kann beim Auftragen der Monatswerte von 2002 über einen PI oft ein abknickender Verlauf beobachtet werden. Stehen, wie in Abbildung 6, mehr Daten aus Starkwindperioden zur Verfügung, zeigt sich, dass dies nur ein extremer Punkt eines nichtlinearen Verlaufs ist. Die Werte der

bruar 2002 enthalten ist, besteht die Gefahr einer zu niedrigen Extrapolation.

Daher ist generell bei Vorliegen nur weniger Monatswerte zu empfehlen, dass zunächst ein Vergleich mit den Daten einer seit längerem betriebenen Anlage erfolgt (lineare Regression) und über deren extrapolierten Wert die Langfristprognose für die kurzzeitig betriebene Anlage erstellt wird.



Monate Januar und Oktober 2002 werden wegen Störungen an der betrachteten Anlage nicht dargestellt.

Entsprechend ändert sich in vielen Fällen selbst bei Verwendung einer linearen Regression eine Extrapolation kürzerer Beobachtungszeiträume deutlich, je nachdem, ob der Februar 2002 enthalten ist oder nicht.

Daher sollte bei jeglichen Extrapolationen darauf geachtet werden, dass auch Starkwindperioden enthalten sind. Andernfalls haben sie selbst bei bester Korrelation eine deutliche Unsicherheit. Wird nur ein kurzer Zeitraum betrachtet, in dem der Fe-

### Absolutniveau der Vergleichsdaten

Aus meteorologischer Sicht gilt ein Mittelwert von rund 30 Jahren als langfristig stabil. Jeglicher PI sollte sich deshalb, wie beispielsweise der PI des IWR, auf einen solchen Zeitraum beziehen. Bei PI, die auf Messungen basieren (IWR), kann allerdings nur schwer überprüft werden, ob diese langfristig stabil sind.

Bei PI auf der Basis von Ertragsdaten entstehen Unsicherheiten dadurch, dass Windkraft-Anlagen in größerer Zahl noch nicht so lange bestehen und selbst heute in manchen Regionen noch relativ wenige existie-

ren. So besteht bei der Frage, ob das als langjähriges Mittel angesehene Niveau eines auf Ertragsdaten basierenden PI tatsächlich dem langjährigen Mittel entspricht, deutliche Unsicherheit. Dieser Punkt wird bei der Verwendung von Indexdaten oft vergessen.

Sicherheit kann am ehesten durch gegenseitigen Vergleich mehrerer Datenreihen gewonnen werden. Mögliche Verschiebungen aufgrund von zukünftigen Klimaänderungen können jedoch damit nicht erfasst werden.

### Zusammenfassung

- Produktionsindices können zur Extrapolation vorliegender Anlagenerträge auf langjährigen Trend nur dann sinnvoll verwendet werden, wenn ein klarer Zusammenhang zwischen Index und Erträgen besteht.
- Die Extrapolation sollte mit Hilfe linearer Regression geschehen. Von Störungen beeinflusste Ertragsdaten sollten dabei ignoriert werden.
- Die verwendeten Daten sollten eine große Bandbreite an Windverhältnissen (Schwach- und Starkwindperioden) umfassen. Liegen nur wenige Monatserträge vor, sollte eine indirekte Extrapolation über die Daten einer länger betriebenen benachbarten Anlage durchgeführt werden.
- Bei der Verwendung von Produktionsindices ist mit häufig unterschätzten Unsicherheiten zu rechnen. Dies liegt an der Streuung beim Vergleich mit den Ertragsdaten, der eventuell nur geringen Datenbasis von der betrachteten Anlage und der schwer zu beantwortenden Frage, wie genau der PI tatsächlich das langjährige Mittel beschreibt. ●

Weitere Informationen zu den Produktionsindices gibt es im Internet:

[1]: [www.iwr.de/wind/wind/windindex/index.html](http://www.iwr.de/wind/wind/windindex/index.html)

[2]: [www.btrdb.de/pdf/index.pdf](http://www.btrdb.de/pdf/index.pdf)

*Text: Herbert Schwartz ist Mitarbeiter der Firma anemos-jacob aus Oldershausen.*