

Quick Assessment of Energy Yield

Energieerträge schnell abgeschätzt

J. P. Molly, DEWI GmbH, Wilhelmshaven



ENGLISH - DEUTSCH

It is not always easy to understand how the installed capacity of a wind turbine, annual energy yield, capacity factor and wind speed are connected. This sometimes leads to the misconception that the most important criterion for the economic efficiency of a wind farm is the cost per installed kilowatt of the wind turbine, or to the erroneous assumption that the higher the capacity factor, the higher is the energy yield. It is often difficult to explain in a simple way why none of these criteria is really suitable for the assessment of the economic efficiency of a wind farm project, and why only the energy production cost can be a valid criterion. Even investors sometimes think that the capacity factor is decisive or that capacity factors of 50% and more onshore are not possible, only because such values are not reached normally. High capacity factors, however, are only a question of the design of the wind turbine and of course of the site-specific wind speed. Here is a simple example: if a wind turbine with 100 m rotor diameter is equipped with a generator of only 1 kW, it is easy to imagine that this machine will generate practically always 1 kW, even when there is very little wind. It would therefore have a capacity factor of nearly 1.0 or 100%. The energy produced by such a machine, however, would only be 8.760 kWh per year, clearly not enough to finance the costs of such a large rotor.

So manchem fällt es schwer zu verstehen, in welcher Weise installierte Leistung der Windturbine, jährlicher Energieertrag, Kapazitätsfaktor und Windgeschwindigkeit zusammenhängen. Das führt hin und wieder zu falschen Vorstellungen, das wichtigste Kriterium für die Wirtschaftlichkeit eines Windparks seien die Kosten pro installiertem Kilowatt der Windturbine oder auch zu der irrigen Auffassung, je höher der Kapazitätsfaktor, desto höher sei der Energieertrag. Oft ist es auf die Schnelle schwierig zu vermitteln, warum in der Windenergie beides keine wirkliche Beurteilungsaussage für die Wirtschaftlichkeit eines Windenergieprojekts sein kann und dass alleine die Höhe der Energieerzeugungskosten eine stichhaltige Aussage darstellt. Selbst Investoren haben manchmal die Meinung, die Höhe der Kapazitätsfaktoren sei maßgebend oder kommen dann zu der Aussage, dass Kapazitätsfaktoren von 50% und mehr Onshore doch gar nicht möglich seien, nur weil solche Werte in der Regel nicht erreicht werden.

Hohe Kapazitätsfaktoren sind aber nur eine Frage der Auslegung der Windturbine und natürlich der Windgeschwindigkeit am Standort. Ein einfaches Beispiel zeigt dies: würde eine Windturbine mit 100 m Rotordurchmesser mit einem Generator von nur 1 kW ausgerüstet, so kann man sich leicht vorstellen, dass diese Maschine praktisch immer 1 kW er-



Windfair

ALL IN WIND

- Companies
- Products, Projects, Services
- International
Wind Turbine Index
- Online Market for Turbines,
Components,
Projects and Sites
- Job Exchange
- Trade Fairs, Events, Seminars
- Industry News

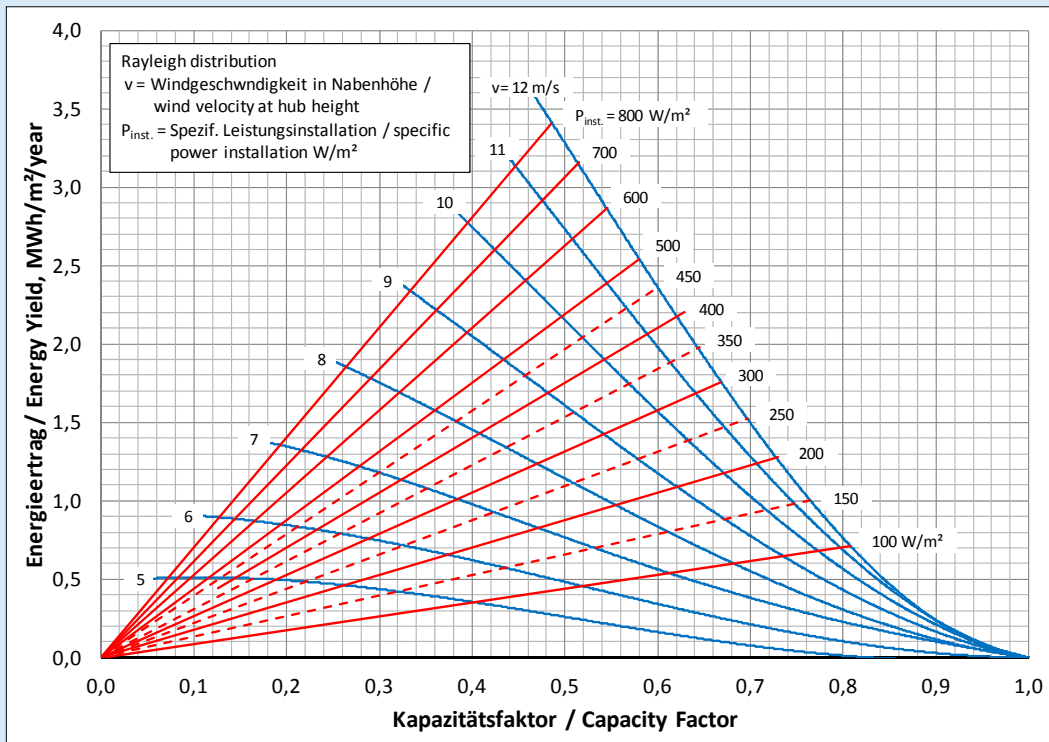


Fig. 1: Energy triangle with the parameters wind speed at hub height and installed specific nominal power of the wind turbines.
 Abb. 1: Energiedreieck mit den Parametern Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe und installierte spezifische Nennleistung der Windturbinen.

The relationships between capacity factor, energy yield, specific capacity (installed capacity per square meter rotor area) and the wind speed at hub height can be easily understood from Fig. 1. A real example makes the dependencies clear. For example, if a wind turbine with 2.0 MW installed rated power and a rotor diameter of 80 m is installed at a location with 7.5 m/s annual mean wind speed, the following values are obtained from the diagram as a first approximation:

Specific rated capacity:	400 W/m ²
Capacity factor at 7.5 m/s:	0.365
Energy yield per square meter rotor area:	1.28 MWh/m ² /year
Energy yield of the wind turbine:	6,430 MWh/year

If this wind turbine of 80 m rotor diameter had only a nominal capacity of 1.5 MW, then the following values would result:

Specific rated capacity:	300 W/m ²
Capacity factor at 7.5 m/s:	0.425
Energy yield per square meter rotor area:	1.12 MWh/m ² /year
Energy yield of the wind turbine:	5,630 MWh/year

The example shows that in a wind turbine with a lower installed capacity but with the same rotor diameter as that of 400 W / m², the capacity factor increases by 16.4%, but at the same time the annual energy yield is reduced by 12.4%. Which wind turbine ultimately will be the more economical at this site depends on the capital and operating costs and on the remuneration per MWh. Theoretical normalized en-

zeugt, auch beim geringsten Wind schon. Sie würde deshalb einen Kapazitätsfaktor von nahezu 1,0 oder 100% haben. Allerdings würde sie nur 8.760 kWh pro Jahr erzeugen, sicherlich nicht genug, um jemals die Kosten eines solch großen Rotors zu finanzieren.

Aus Abb. 1 können die Zusammenhänge von Kapazitätsfaktor, Energieertrag, spezifischer Leistung (installierte Leistung pro Quadratmeter Rotorkreisfläche) und der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe leicht nachvollzogen werden. Ein reales Beispiel macht die Abhängigkeiten deutlich. Soll beispielsweise eine Windturbine mit 2,0 MW installierter Nennleistung und einem Rotordurchmesser von 80 m an einem Standort mit 7,5 m/s Jahresmittel der Windgeschwindigkeit eingesetzt werden, so ergeben sich aus dem Diagramm in erster Näherung folgende Werte:

Spezifische Nennleistung:	400 W/m ²
Kapazitätsfaktor bei 7,5 m/s:	0,365
Energieertrag pro m ² Rotorfläche:	1,28 MWh/m ² /Jahr
Energieertrag der Windturbine:	6.430 MWh/Jahr

Würde diese Windturbine von 80 m Rotordurchmesser nur eine Nennleistung von 1,5 MW aufweisen, dann ergäben sich die Werte

Spezifische Nennleistung:	300 W/m ²
Kapazitätsfaktor bei 7,5 m/s:	0,425
Energieertrag pro m ² Rotorfläche:	1,12 MWh/m ² /Jahr
Energieertrag der Windturbine:	5.630 MWh/Jahr

Das Beispiel zeigt, dass bei der Windturbine mit geringerer installierter Leistung aber mit demselben Rotordurchmesser

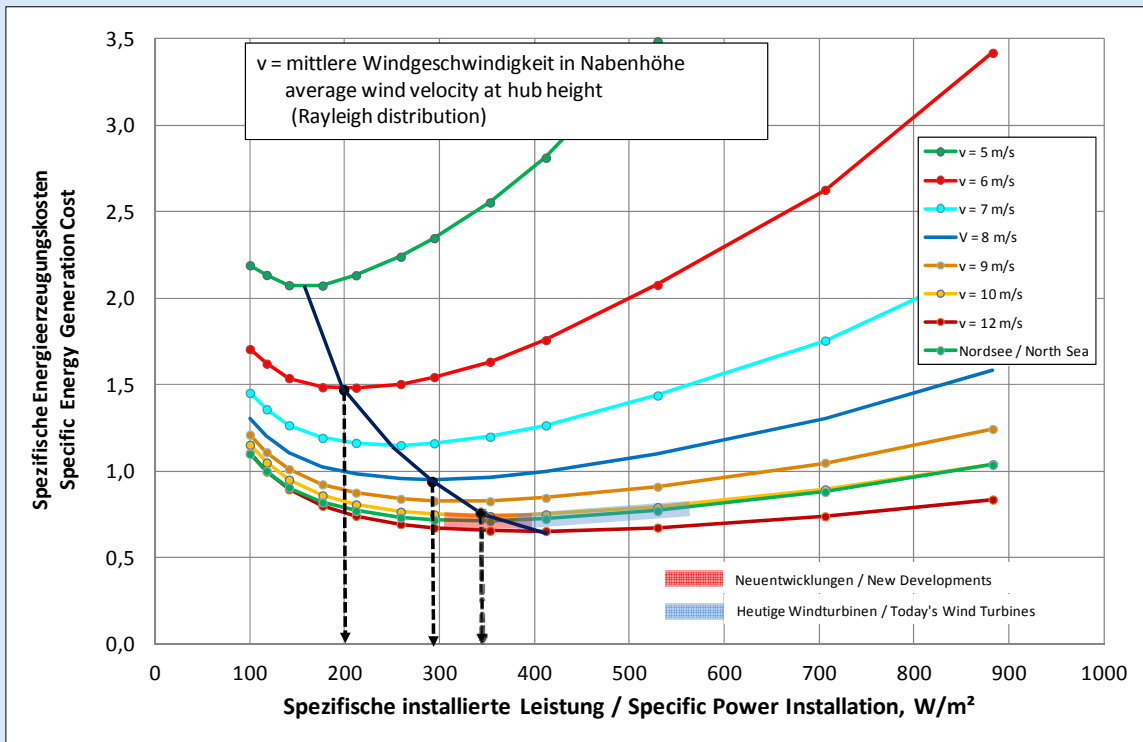


Fig. 2: Standardized energy production cost as a function of the specific power installation of the wind turbine

Abb. 2: Normierte Energieerzeugungskosten in Abhängigkeit der spezifischen installierten Leistung der Windturbine

ergy generation costs dependent on capacity factor and wind speed as parameters are shown in Fig. 2.

The diagram in Fig. 1 can also be used for a quick assessment of the energy yield at any given site. Please note that the diagram is based on a Rayleigh wind speed distribution and that the real Weibull distribution of the site would lead to a different result. Nevertheless the diagram serves for a first rough estimate of the energy generation. Parameters required are mean wind speed at hub height, installed capacity and rotor diameter of the wind turbine. From the energy triangle in Fig. 1 then the annual energy yield per square meter of rotor area and the capacity factor can be derived. As this diagram is based on normalized theoretical power curves and on the conditions of standard atmosphere, deviations from these values should be taken into account by corrections. For example, the maximum efficiency of the wind turbines should not deviate significantly from $c_p \cdot \eta = 0.46$. If the degree of efficiency is 5% higher, the specific performance can be corrected upwards by approximately 5%. Similarly, the percentage reductions of yield due to technical availability, farm efficiency and air density can be taken into account.

wie diejenige mit 400 W/m², der Kapazitätsfaktor um 16,4% ansteigt, sich jedoch gleichzeitig der Jahresenergieertrag um 12,4% vermindert. Welche Windturbine an diesem Standort letztlich die wirtschaftlichere ist, hängt dann von den Investitions- und Betriebskosten und der Vergütung pro MWh ab. Spezifische, normalisierte Energieerzeugungskosten, abhängig vom Kapazitätsfaktor und mit der Windgeschwindigkeit als Parameter, können dem Diagramm Abb. 2 entnommen werden.

Das Diagramm Abb. 1 kann auch für eine schnelle Abschätzung der Energieerzeugung an einem beliebigen Standort herangezogen werden. Bitte beachten Sie, dass das Diagramm auf einer Rayleigh Verteilung der Windgeschwindigkeit beruht und dass die wirkliche Weibull Verteilung des Standorts zu anderen Ergebnissen führen würde. Trotzdem kann das Diagramm für eine erste, grobe Abschätzung des Energieertrags benutzt werden. Bekannt sein müssen dafür die mittlere Windgeschwindigkeit in der Nabenhöhe, die installierte Leistung und der Rotordurchmesser der Windturbine. Aus dem Energiedreieck Abb. 1 ergeben sich dann der Jahresenergieertrag pro Quadratmeter Rotorfläche und der Kapazitätsfaktor. Da dieses Diagramm auf normierten, theoretischen Leistungskurven und auf den Bedingungen der Normatmosphäre aufbaut, sollten Abweichungen von diesen Werten durch Korrekturen berücksichtigt werden. So sollte bspw. der maximale Wirkungsgrad der Windturbine nicht stark von $c_p \cdot \eta = 0,46$ abweichen. Ist der Wirkungsgrad 5% höher kann die spezifische Leistung näherungsweise um diese 5% nach oben korrigiert werden. Ähnlich kann man die prozentualen Ertragsverringerungen durch technische Verfügbarkeit, Parkwirkungsgrad sowie Luftdichte berücksichtigen.