

# Wie lege ich meine Windkraftanlage aus?

Zunächst ist bei der Planung einer Windkraftanlage zu entscheiden, ob der zu erzeugende Strom parallel zu einem Netzanschluss (Verringerung der Stromkosten) oder für die autonome Stromversorgung (Inselanlage ohne Netzanschluss d. h. eigene Produktion des benötigten Stroms) genutzt werden soll.

Bei der **autonomen Stromversorgung** ist zu ermitteln wie viel Energie am Tag benötigt wird. Hierfür sind die Leistungen der einzusetzenden Geräte und deren tägliche Betriebs-dauer zu ermitteln und miteinander zu multiplizieren. Beispielhaft ist dies in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Geräte	Leistung des Gerätes	Betriebsdauer pro Tag	Energie
10 LED Lampen (12 V DC, je 54 LEDs) (Art. Nr. 840048)	10 Stück x 4 W x = 40 W	4 h	160 Wh
Solare Kühltruhe (Art. Nr. 700932)	40 W	5 h	200 Wh
Wasserkocher	250 W	0,2 h	50 Wh
<b>Summe</b>	<b>330 W</b>		<b>410 Wh</b>

Zur Vermeidung einer unverhältnismäßig großdimensionierten Windkraftanlage ist zu empfehlen, möglichst sparsame Geräte einzusetzen. Deren gegenüber herkömmlichen Geräten geringerer Stromverbrauch kann bei passender Auslegung mit einer Inselanlage d. h. einer Windkraftanlage gedeckt werden.

Die maximale Leistung der parallel zur gleichen Zeit zu gebrauchenden Geräte ergibt sich durch die Addition der einzelnen Geräteleistungen. Im obigen Beispiel sind dies für die sparsamen Verbraucher 330 W.

Windkraftanlagengeneratoren für den autonomen Inselbetrieb erzeugen je nach Anlagentyp eine Spannung von 12 V oder 24 V. Eine Systemspannung von 12 V wird von vielen Gleichspannungsverbrauchern, wie z. B. Radios, Lampen und Kühlschränken, gefordert.

Sind viele bzw. große Verbraucher mit Energie zu versorgen, ist vorzugsweise eine 24 V Spannungsebene zu wählen, da bei dieser, gegenüber einer Spannungsebene von 12 V, der Strom geringer gehalten werden kann und damit kostengünstigere elektrische Komponenten (Laderegler und Leitungen) einzusetzen sind. Hierbei wäre dann der Einsatz passender Geräte für eine 24 V Spannungsebene zu empfehlen.

Der benötigte Strom ergibt sich durch die Division der maximalen Leistung zur selben Zeit (im schlimmsten Fall der Leistung aller Verbraucher) durch die Spannung des Systems (hier im Beispiel 12 V):

$$I = \frac{P}{V} \quad I = \frac{330 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 27,5 \text{ A}$$

Hierbei ist zu beachten, dass viele elektrische Geräte, wie z. B. Klimaanlage und Kompressoren, kurzzeitig einen bis zu 10-fach höheren Anlaufstrom als den eben berechneten Strom benötigen. Dementsprechend sind die nachfolgenden Komponenten (wie z. B. der Laderegler, der Wechselrichter, der Akkumulator und die Leitungen) auszulegen.

Die **Leistung P** wird in **Watt** bzw. mit dem Kurzzeichen **W** gemessen und stellt das Arbeitsvermögen eines Gerätes pro Zeit dar.

Die mit einem Gerät zu erzielende **Energie E** wird in **Watt-Stunden** bzw. dem Kurzzeichen **Wh** gemessen. Sie gibt an, welche Arbeit das Gerät verrichten kann bzw. welche Leistung P wie lange bereitgestellt werden kann. Wird eine LED Lampe mit einer Leistung P von 4 W 10 Stunden [mit Kurzzeichen h] lange betrieben so wird hierfür eine Energie von 40 Wh [= 4 W x 10 h] benötigt.

Zur Auslegung des Akkumulators und der Leitungen ist die Kenntnis des täglichen Bedarfes an elektrischen Strom nötig. Dieser ergibt sich durch die Addition der Energie der zu nutzenden Verbraucher. Für das obige Beispiel (siehe Tabelle, 4. Spalte) wird eine elektrische Energie von 410 Wh pro Nutzungstag benötigt.

Die benötigte Akkumulatorgröße können Sie mittels der folgenden Formel ermitteln.

$$C = \frac{\text{Energie (Wh/Tag)} \times \text{Autonomietage (Tage)}}{\text{Spannung (U)} \times (1 - \text{max. Entladetiefe})}$$

Für zwei Autonomietage, d. h. Tage an welchen Sie sich mit ihrer Photovoltaikanlage selbst autonom ohne Windenergie von außen versorgen können, und einer Entladetiefe von 50 % des Akkumulators ergibt sich eine Akkumulatorleistung von rechnerisch 137 Ah.

$$C = \frac{410 \text{ Wh/Tag} \times 2 \text{ Tage}}{12 \text{ V} \times (1 - 50)} = \frac{820 \text{ Wh}}{6 \text{ V}} = 137 \text{ Ah}$$

Hierfür wäre dann eine 120 Ah oder ein 200 Ah Akkumulator zu wählen

Der benötigte Leiterquerschnitt kann aus den folgenden Tabellen abhängig von der jeweiligen Entfernung des Windgenerators zum Laderegler für eine Systemspannung von 12 V, 24 V und 48 V abgelesen werden.

#### 12 Volt

Entfernung vom Windgenerator zu dem Laderegler in m	10.6	10.7 - 17.6	17.7 - 28.2	28.3 - 44.1	44.2 - 68.1	68.1 - 110
Kabelquerschnitt in mm <sup>2</sup>	6	10	16	25	35	50

#### 24 Volt

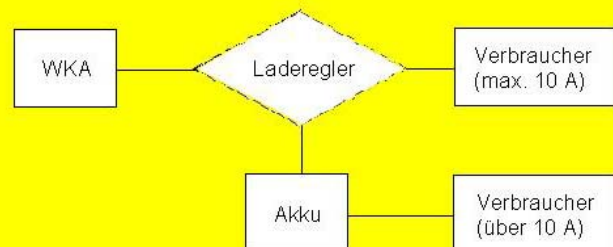
Entfernung vom Windgenerator zu dem Laderegler in m	10.6	10.7 - 17.6	17.7 - 28.2	28.3 - 42.3	44.4 - 70,6	70,7 - 112,9
Kabelquerschnitt in mm <sup>2</sup>	2.5	4	6	10	16	25

#### 48 Volt

Entfernung vom Windgenerator zu dem Laderegler in m	10.6	10.7 - 17.6	17.7 - 28.2	28.3 - 44.1	44.2 - 68.1	70,7 - 112,9
Kabelquerschnitt in mm <sup>2</sup>	1.25	2,5	2,5	4	6	8

Bei einer Windkraftanlage mit 12 V Systemspannung wird bei einer Entfernung vom Windgenerator zum Laderegler von 10 m somit ein Kabelquerschnitt von 6 mm<sup>2</sup> benötigt.

Der von der Windkraftanlage (WKA) produzierte Drehstrom wird einem speziellen Windladeregler (= Laderegler mit einstellbarer Ladeschlussspannung und Ladestrombegrenzung) mit integriertem Gleichrichter (z. B. Art. Nr. 700924) zugeführt. An den Windladeregler kann bis 10 A ein Klein-verbraucher mit Überspannungsschutz sowie der Akkumulator angeschlossen werden, welcher weitere Verbraucher versorgt.



Bei der Nutzung eines Akkumulators ist zu beachten, dass dieser eine ausreichende Kapazität und eine passende Systemspannung besitzt. Beträgt die Systemspannung 24 V so können zwei 12 V Akkus in Reihe geschaltet werden. Bei mehreren Akkubänken sollte der Pluspol der ersten Reihe und der Minuspol der letzten Reihe bzw. der Minuspol der ersten Reihe und der Pluspol der letzten Reihe angeschlossen werden, um den Akkumulator gleichmäßig zu beanspruchen. Zur Schonung des Akkumulators und damit der Erhöhung der Lebensdauer ist eine Tiefentladung zu vermeiden.

Für die Auswahl einer für Sie geeigneten Windkraftanlage ist die Überlegung voranzustellen, ob Sie Ihre Anlage nur am Wochenende nutzen oder täglich und wie die laminaren Windverhältnisse vor Ort sind.

Beabsichtigen Sie Ihre Windkraftanlage nur am Wochenende zu nutzen, kann die Anlage die Woche über Strom produzieren und diesen im Akkumulator speichern, bis Sie diesen am Wochenende benötigen. Wird täglich Strom benötigt muss die zu installierende Windkraftanlage größer ausgelegt werden, da täglich der Bedarf an elektrischem Strom erzeugt werden muss.

In Abhängigkeit von den örtlichen Windverhältnissen d. h. mit welcher laminaren Windgeschwindigkeit der Wind wie lange weht, kann ermittelt werden, welche Leistung mit der Windkraftanlage erzielt werden kann. Hierbei ergibt sich die mechanische Leistung in Watt mit der Luftdichte (1,225 kg/m<sup>3</sup> bei trockener Luft von 15 °C bei normalem atmosphärischem Luftdruck auf Meereshöhe), der Rotorfläche der Windkraftanlage und der Windgeschwindigkeit nach der folgenden Formel:

$$P_{mech} = 0,5 \times \rho \times A \times v^3$$

Die elektrische Leistung wird vom Wirkungsgrad des Generators von ca. 46 % beeinflusst:

$$P_{el} = P_{mech} \times \eta \quad \rightarrow \quad P_{mech} = 0,5 \times \rho \times A \times v^3 \times \eta$$

In der folgenden Tabelle wird die zu erzielende Leistung für die Windkraftanlage Black 300 für einen Tag beispielhaft dargestellt.

Windgeschwindigkeit	Dauer	Mechanische Leistung $P_{mech}$ der Windkraftanlage	Elektrische Leistung $P_{el.}$ der Windkraftanlage	Elektrische Energie $E = P_{el.} \cdot h$
1 m/s	1 h	0,71 W	0,33 W	0,33
2 m/s	4 h	5,68 W	2,61 W	10,46
3 m/s	2 h	19,18 W	8,82 W	17,65 Wh
4 m/s	3 h	45,47 W	20,92 W	62,75 Wh
5 m/s	8 h	88,81 W	40,85 W	326,83 Wh
6 m/s	4,5 h	153,46 W	70,60 W	317,68 Wh
7 m/s	1,5 h	243,70 W	112,10 W	168,15 Wh
<b>Summe</b>				<b>903,85 Wh</b>

Nach dem obigen Beispiel können (mit den angenommenen beispielhaften Windgeschwindigkeiten) am Tag 904 Wh an elektrischer Energie erzeugt werden. Übertrifft dieser Wert die von Ihren Verbrauchern benötigte elektrische Energie ist Ihre Stromversorgung (bei den angenommenen Windverhältnissen) sichergestellt. Ergibt Ihre Energiebilanz (erste Tabelle), dass Sie mehr elektrische Energie benötigen als Sie mit den bei Ihnen vor Ort vorherrschenden Windverhältnissen mit der betrachteten Windkraftanlage erzielen können, wäre eine größer dimensionierte Anlage, mehrere Anlagen oder die Kombination mit Photovoltaikmodulen in Betracht zu ziehen.

Benötigten Sie nur am Wochenende d. h. Samstag und Sonntag elektrische Energie, so genügt eine kleiner dimensionierte Windkraftanlage. Diese kann die Woche über d. h. Montag bis Freitag Strom produzieren, welchen Sie am Wochenende dann aus dem Akkumulator entnehmen können. Bezogen auf das obige Beispiel würde Ihnen somit am Wochenende eine Energie von 6,33 kWh (6 x 903,85 Wh) bzw. am Samstag und Sonntag von je 3,16 kWh (7 x 903,8 / 2) zur Verfügung stehen.

Beim der **netzparallelen Einspeisung** mit dem Windmaster 500 (Art. Nr. 700927) wird zunächst ein Teil des Eigenverbrauches mit dem auf regenerative Weise erzeugten Stroms gedeckt und wenn vorhanden der „überflüssige“ Strom in das öffentliche Netz eingespeist. Der Netzanschluss bietet darüber hinaus die Sicherheit, dass bei nicht ausreichendem Wind aus dem Stromnetz Energie bezogen werden kann und damit Ihre Verbrauchersicherheit gegeben ist.

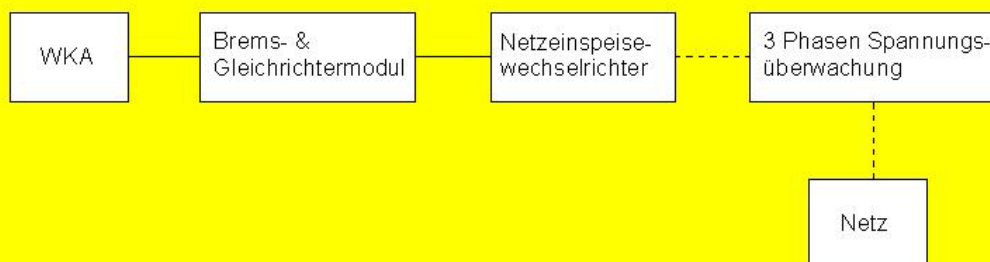
Zur Minimierung des Energiebedarfs ist jedoch auch bei einem Netzanschluss und der damit verbundenen angenehmen Versorgungssicherheit die Wahl von möglichst energieeffizienten Geräten zu empfehlen, da mit diesen mehr Strom in das Netz eingespeist werden kann bzw. aus diesem bezogen werden muss.

Der vom Windkraftwerk erzeugte Drehstrom wird in ein auf die Windkraftanlage abgestimmtes kombiniertes Brems- und Gleichrichtermodul (Art. Nr. 700987) geleitet. Dieses bremst bei zu starkem Wind bzw. Sturm den Generator ab und verhindert damit eine Beschädigung der Windkraftanlage. Mittels eines integrierten Gleichrichtermoduls wird der drehzahlabhängige Drehstrom in Gleichstrom umgewandelt.

Dieser gleichgerichtete elektrische Strom wird in einen Netzeinspeisewechselrichter (Windmaster Mastervolt, Art. Nr. 700927) geleitet, welcher den Strom in Wechselspannung umwandelt und somit zur Netzeinspeisung befähigt.

In Deutschland ist in Verbindung mit dem Windmaster 500 (Art. Nr. 700927) in der zentralen Stromverteilung eine zugelassene 3 Phasen Spannungsüberwachung nach VDE 0126-1-1 (Art. Nr. 700965) zu installieren. Diese überwacht die Leitungen auf einen Schwingkreis.

Im Folgenden ist der Aufbau der benötigten Komponenten für die Einspeisung des mit einer Windkraftanlage regenerativ erzeugten elektrischen Stroms in das öffentliche Stromnetz graphisch dargestellt.



Generell empfehlen wir bei Beginn der Planung der Kleinwindkraftanlage eine unverbindliche Bauvoranfrage an das zuständige Bauamt etc. zu richten. Für den Black 300 können wir Ihnen hierfür ein Schallgutachten zur Verfügung stellen. Dieses finden Sie unter Dokumente.