

Kleinwindkraft

Handbuch für BetreiberInnen



Finanziert durch

Klima- und Energiefonds
Gumpendorferstraße 5/22
1060 Wien

Redaktionelle Bearbeitung durch:

Daniel Reiterer M.A.
reiterer@aee.or.at

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie NÖ-Wien
Schönbrunnerstraße 253/10
1120 Wien

Vorwort

Kleinwindkraftanlagen erfreuen sich in den letzten Jahren großer Beliebtheit. Sie haben das Potential zur Deckung des lokalen Strombedarfs beizutragen. In Österreich wurden schon zahlreiche Projekte umgesetzt, wobei wirklich vorbildliche, hoch effiziente Projekte zustande kamen. Leider sind aber auch Anlagen von schlechter Qualität und an ungeeigneten Standorten zu verzeichnen. Bei den Anlagenanbietern gibt es große qualitative Unterschiede, sowohl in der Beratung als auch in der Anlagenausführung. Ein essentieller Punkt, dem teilweise viel zu wenig Beachtung zukommt, ist nämlich auch die richtige Standortwahl bzw. die Standortbewertung.

Das Interesse ist enorm, genauso wie der versierte Informationsbedarf über die Materie. Dieses Handbuch soll herstellerunabhängig über die Potentiale und die Einsatzgebiete von Kleinwindkraft informieren. Ganz besonders wurde bei der Erstellung aber auch darauf eingegangen was Kleinwindkraft nicht kann, und unter welchen Voraussetzungen eine Umsetzung sinnvoll ist.

Inhalt

Kleinwindkraft – was ist das?	4
Technik	4
Rotor	4
Horizontalachsenwindturbine (HAWT)	4
Vertikalachsenwindturbine (VAWT)	5
Sonderbauformen	6
Sturmsicherung	7
Generator	7
Wechselrichter	7
Einspeisepunkt und Zähler	8
Das Gesamtsystem	8
Standort	9
Exkursion: Messtechnik	11
Windklassenverteilung und Anlagenkennlinie	12
Ertrag	12
Rechtliches	14
Wirtschaftlichkeit	14
Befestigung und Standort am Grundstück	15
Blitzschutz	16
Lärm	16
Schattenwurf	17
Vorgehensweise bei der Errichtung von KWKA	17
Was muss der Hersteller liefern	17
Glosar	18
Literatur:	19

Abbildungen

Abbildung 1: Was ist Kleinwindkraft, wo wird sie eingesetzt	4
Abbildung 2: Horizontalläufer	4
Abbildung 3: Luvläufer mit Windfahne	4
Abbildung 4: Nachführung mit Stellmotor	5
Abbildung 5: Leeläufer	5
Abbildung 6: Darrieus Rotor Quelle: W.Wacker	5
Abbildung 7: H-Darrieus Rotor	5
Abbildung 8: Savonius Rotor	6
Abbildung 9: Anlage mit Außenliegendem Generator und erhöhter Blattanzahl	6
Abbildung 10: Spezieller Savonius Rotor	6
Abbildung 11: Eingehauste Bauform mit speziellem Windleitsystem	6
Abbildung 12: Eingehauste Bauform mit speziellem Windleitsystem	7
Abbildung 13: 3 Wechselrichter (rot) und Steuergerät (links)	8
Abbildung 14: Schema eines Netzgebundenen Systems	8
Abbildung 15: Schema eines Inselsystems	8
Abbildung 16: Einflüsse von Objekten auf die Windströmung	10
Abbildung 17: Optimale Platzierung	11
Abbildung 18: Ultraschallanemometer	11
Abbildung 19: Mobiles Flügelradanemometer	11
Abbildung 20: Kombi Anemometer mit Windrichtungsgeber - Schalenkreuzanemometer -- Datenlogger	11
Abbildung 21: Professionelle Windmessungen mit geeigneten Messmasten	12
Abbildung 22: Windklassenverteilung & Leistungskennlinie	12
Abbildung 23: Zahlungsflüsse und Renditen an gutem Standort am Beispiel von 5kW Anlagen	15
Abbildung 24: Vlnr: Stahlrohrmast abgespannt, Stahlrohrmast klappbar, Betonmast, Stahlrohrmast in Segmenten	16
Abbildung 25: Holzmast abgespannt	16
Abbildung 26: Stahlgittermast, abgespannt	16

Kleinwindkraft – was ist das?

Kleinwindkraftanlagen oder auch Kleinwindenergieanlagen (KWEA) erfreuen sich seit einigen Jahren großer Beliebtheit. Die Vorstellung eigenen Strom aus Windenergie zu erzeugen hat für viele etwas Reizvolles. Doch was versteht man eigentlich unter dem Begriff Kleinwindkraft? Prinzipiell gibt es keine strenge Definition. Die meisten Hersteller beschränken sich auf die Leistungsklasse bis zu 20kW. Diese Obergrenze ergibt sich aus mehreren Gründen. Einerseits gibt es gesetzliche Vorgaben, welche eine klare Leistungsobergrenze ziehen, bis zu der Anlagen errichtet werden dürfen. Geht es über diese Grenzwerte hinaus, so ist eine gesonderte Widmung des Grundstückes bzw. ein aufwendigeres Verfahren für die Errichtung notwendig. Diese Grenzen divergieren je nach Bundesland und EVU (EnergieVersorgungsUnternehmen) Auf der anderen Seite sind Kleinwindkraftanlagen für die Eigenversorgung von Haushalten, Landwirtschaften oder Kleinbetrieben gedacht. Aus diesem Grund wird, so wie auch bei der Photovoltaik, oft eine Eigendeckung des jährlichen Verbrauches angestrebt, woraus sich dann wiederum Anlagen in der oben genannten Größenordnung ergeben. Kleinwindkraftanlagen werden sich immer in der Nähe von Gebäuden finden, da ein einfacher Stromanschluss gewährleistet sein muss. An sehr guten Standorten am freien Feld ist die Großwindkraft aus Effizienz- und Kostengründen die erste Wahl.



Abbildung 1: Was ist Kleinwindkraft, wo wird sie eingesetzt

Technik

Rotor

Der Rotor oder Repeller ist das markante Element von Windkraftanlagen. Er wandelt die Energie im Wind in eine Drehbewegung um. Es gibt verschiedene Typen von Rotoren. Je größer die Anlagenleistung, desto größer muss der Rotor sein. Doch auch 2 Anlagen mit gleicher Leistung können verschiedene Rotorflächen aufweisen. Dies hat mit dem Anwendungsfeld in Stark- oder Schwachwindgebieten zu tun und schlägt sich in der Anlagenkennlinie nieder. Für Kleinwindkraftanlagen in geringer Höhe bzw. an Binnenstandorten und windarmen Gebieten ist eine relativ große Rotorfläche in Relation zur Anlagenleistung von Vorteil. Durch diese Konstruktion können auch niedrige Windgeschwindigkeiten genutzt werden.

Horizontalachsenwindturbine (HAWT)

Wie der Name schon sagt dreht sich die HAWT um eine horizontale Achse. Dies ist die am weitesten verbreitete Bauform. Auch von Großanlagen ist dieser Rotortyp bekannt. Eine Vorrichtung zur Nachführung in den Wind ist erforderlich. Häufige und vor allem schnelle Windrichtungsänderungen mindern den Ertrag aufgrund der Neuausrichtung der Anlage.



Abbildung 2: Horizontalläufer

Windnachführung

Die Nachführung kann mit unterschiedlichen Systemen erfolgen. Gebräuchlich sind dabei die Nachführung per Windfahne, die Nachführung per Windrichtungsmessung und Verdrehung mit Stellmotor und Getriebe, sowie das Konstruktionsprinzip des Leeläufers.

Beim Leeläufer befindet sich der Rotor auf der Leeseite der Anlage. Im Gegensatz zu Luvläufer braucht dieser Anlagentyp keine gesonderte Nachführung. Der Rotor wirkt gleichzeitig als Nachführung und die Anlage steht immer im Wind. Die Nachführung per Windfahne ist vor allem bei kleineren Anlagen <5kW verbreitet und gilt als robustes System.



Abbildung 3: Luvläufer mit Windfahne



Abbildung 4: Nachführung mit Stellmotor
Quelle: www.maschinenmarkt.vogel.de



Abbildung 6: Darrieus Rotor
Quelle: W. Wacker



Abbildung 5: Leeläufer



Abbildung 7: H-Darrieus Rotor

Vertikalachsenwindturbine (VAWT)

Diese Type dreht sich um eine vertikale Achse. Am Markt ist diese Bauform weniger verbreitet. VAWT sind weniger anfällig auf Windrichtungsänderungen. Im Allgemeinen haben diese Anlagen einen schlechteren Wirkungsgrad als horizontale Anlagen. Dies ist damit zu begründen, dass sich Teile des Rotors im Betrieb gegen den Wind bewegen. Sie können jedoch in Bezug auf Schattenwurf und Geräuschentwicklung Vorteile bieten.



Abbildung 8: Savonius Rotor
Quelle: www.newtak.it



Abbildung 9: Anlage mit Außenliegendem Generator und erhöhter Blattanzahl



Abbildung 10: Spezieller Savonius Rotor

Darrieus Rotor

Der Darrieus Rotor besteht in seiner ursprünglichen Form aus 2 oder mehreren gebogenen Rotorblättern. In der Kleinwindkraft ist vor allem die Form des H-Darrieus Rotors verbreitet. Durch spezielle Konstruktionen können auch Auf- und Fallwinde genutzt werden. Eine Nachführung wird nicht benötigt, da diese Anlagen immer voll im Wind stehen. Stürmen müssen diese Anlagen trotzen, weil sie nicht aus dem Wind gedreht werden können. (Siehe dazu auch Kapitel „Sturmsicherung“) Bei der Entwicklung ist auch das Schwingungsverhalten zu beachten, zu dem dieser Rotortyp konstruktionsbedingt neigt.

Savonius Rotor

Der Savonius zeichnet sich durch seine langsame Drehgeschwindigkeit und die dadurch reduzierte Geräuschentwicklung aus. Er ist nur sehr wenig verbreitet.

Sonderbauformen

Rund um diese Grundbauformen gibt es Entwicklungen welche das Verhalten im Betrieb verbessern sollen. Durch spezielle Beschichtungen von Rotorspitzen, Einhausungen und die Erhöhung der Blattanzahl lässt sich die Geräuschentwicklung reduzieren. Einhausungen, transparente Rotoren und der Einsatz von langsam laufenden Anlagen reduzieren den störenden bewegten Schattenwurf.



Abbildung 11: Eingehauste Bauform mit speziellem Windleitsystem



Abbildung 12: Eingebaute Bauform mit speziellem Windleitsystem

Hinweis: Die Bauform alleine sagt nichts über die Qualität bzw. Effizienz einer Anlage aus. Es gibt quer durch alle Bauformen gute und weniger gute Anlagen. Die bewährte horizontale „Propellertyp“ mit 3 Flügeln ist jedoch mit Abstand am weitesten verbreitet, gut erforscht und effizient. Besondere Vorsicht ist geboten wenn Düseneffekte, die Nutzung von Turbulenzen, etc. einen außergewöhnlich hohen Ertrag erklären sollen.

Sturmsicherung

Ein wesentlicher Bestandteil einer KWEA ist eine durchdachte Sturmsicherung. Bei hohen Windgeschwindigkeiten und vor allem bei Böen sind die Anlagen extremen Lasten ausgesetzt, mit denen sie fertig werden müssen. Es gibt verschiedene Varianten die Anlage zu bremsen bzw. aus dem Wind zu nehmen:

Generatorkurzschluss

Durch Kurzschluss des Generators erhöht sich der Anlagenwiderstand. Dadurch wird die Anlage abgebremst.

Stallregelung (Strömungsabriss)

Durch das Rotorblattdesign reißt die Strömung bei einer bestimmten Geschwindigkeit ab. Die Anlagengeschwindigkeit reduziert sich.

Helikopter Regelung

Durch einen Federmechanismus klappt sich die Anlage bei hohen Geschwindigkeiten aus dem Wind nach oben. Der Name resultiert aufgrund des Aussehens bei hoher Windgeschwindigkeit, das einem Helikopter ähnelt.

Aus dem Wind drehen

Es ist auch möglich die gesamte Anlage aus dem Wind zu drehen. Hierfür ist ein eigener Stellmotor notwendig. Es existieren auch Konstruktionen, welche bei zu großem Winddruck über einen Federmechanismus die Anlage mechanisch aus dem Wind drehen.

Rotorblattverstellung (sog. Pitch-Regelung)

Einige Anlagen bieten die Möglichkeit die einzelnen Rotorblätter zu verdrehen und somit die Windlast von der Anlage zu nehmen.

Mechanisches Bremssystem

Auch mechanische Bremssysteme (Scheibenbremsen) werden eingesetzt um Anlagen abzubremsen bzw. zum Stillstand zu bringen.

Generator

In Kleinwindkraftanlagen kommen unterschiedliche Typen von Generatoren zum Einsatz. Vom Permanentmagnetgenerator bis hin zum sehr beliebten, weil robusten und einfachen Asynchrongenerator sind diese vertreten. Ebenfalls sind unterschiedliche Spannungen geläufig. Die Kopplung des Generators an das Stromnetz erfolgt jedoch nicht direkt. Über einen Gleichspannungskreis wird ein Wechselrichter angespeist, welcher dann eine netzkonforme Spannung erzeugt.

Wechselrichter

Der erzeugte Strom muss ins Netz eingespeist werden. Hierzu werden Wechselrichter eingesetzt, um eine netzkonforme Spannung und Frequenz zu erzeugen. Dies funktioniert im Prinzip genauso wie bei der Photovoltaik.

Da sich das Erzeugerprofil von Kleinwindkraftanlagen wesentlich von jenem der Photovoltaik unterscheidet, sind die Wechselrichter speziell darauf abgestimmt. In jedem Fall unterscheiden sie sich in der Programmierung bzw. Parametrierung. Schnelle und häufige Lastwechsel durch Böen muss der Wechselrichter verarbeiten können.

Die Einspeisung von Kleinwindkraftanlagen erfolgt grundsätzlich im Niederspannungsnetz (230/400V). Je nach Anlagengröße und Vorschrift des EVUs ist eine Einphasige, 2-phasige, oder 3-phasige Einspeisung möglich.

Hinweis: Eine Feinabstimmung der gesamten Regelungselektronik samt Wechselrichter mit der Windkraftanlage ist essenziell. An dieser Schnittstelle kann viel Energie „verloren“ gehen, wenn nicht alle Bauteile genau aufeinander abgestimmt sind.



Abbildung 13:3 Wechselrichter(rot) und Steuergerät (links)

Einspeisepunkt und Zähler

Zur Abrechnung der erzeugten Energie ist ein sog. Einspeisepunkt zu definieren. Dieser wird vom lokalen EVU vergeben und mit einer Zählernummer versehen. Dies ist einerseits erforderlich, um die Netzqualität gewährleisten zu können. Es gibt daher regional unterschiedliche Auflagen des EVUs, abhängig von den Leitungsgegebenheiten vor Ort. Andererseits dient dieser Zählpunkt für die Abrechnung der erzeugten, in das öffentliche Netz eingespeisten, Energie.

Das Gesamtsystem

Vor der Einspeisung in das Netz muss die Energie aufbereitet werden (Wechselrichter). Doch auch ein Eigenverbrauch ist möglich. Das heißt: Erzeugte Energie wird an erster Stelle selbst verbraucht, und nur Überschüsse ins Netz eingespeist. Dies ist vor allem aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll. Bei schwachem Wind wird ebenfalls Energie erzeugt. Allerdings ist die entstehende Spannung zu gering für eine Netzeinspeisung über den Wechselrichter. Diese „Energie auf niedrigem Niveau“ kann jedoch zur Heizung von Warmwasserboilern oder zur Ladung von AKKUS genutzt werden. (Nur bei größeren Anlagen sinnvoll).

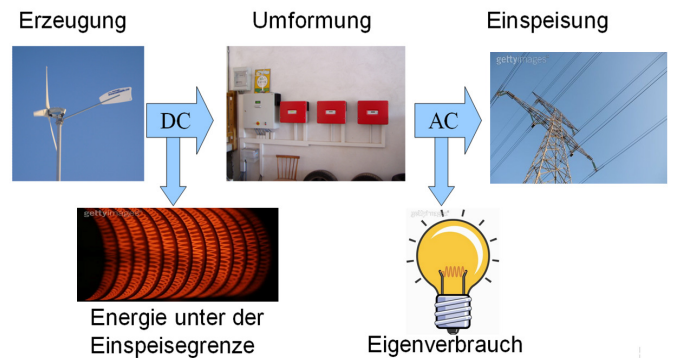


Abbildung 14:Schema eines netzgebundenen Systems

Quelle: www.gettyimages.at, AEE NÖ-Wien

Inselsysteme

Neben den netzgebundenen Systemen gibt es auch sogenannte Inselsysteme, welche es ermöglichen autark vom Netz zu arbeiten. Wenn kein Versorgungsnetz verfügbar ist, z.B.: auf Almhütten, in Kleingartensiedlungen, etc., kann eine eigene elektrische Infrastruktur aufgebaut werden. In diesem Fall wird mittels eines Ladereglers eine Batterie geladen. Wird Energie benötigt, kann diese über einen Wechselrichter entnommen werden. So können handelsübliche Elektrogeräte betrieben werden. Zur Ladung dienen spezielle Kleinwindkraftanlagen, meist im Leistungsbereich von einigen 100 W, welche auf Akkuladung abgestimmt sind. Die Ausgangsspannung ist hierbei niedriger als bei netzgebundenen Anlagen. Eine Kombination mit Photovoltaik ist sinnvoll, da sich die beiden Systeme in Punkto zeitlichem Erzeugungsprofil gut ergänzen.

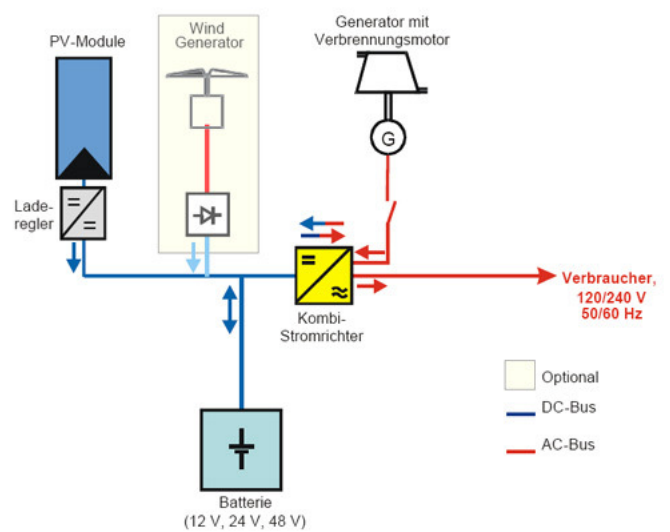


Abbildung 15:Schema eines Inselsystems

Quelle: Braun Wind Energie

Standort

Das Um und Auf für einen guten Ertrag ist die Wahl des richtigen Standortes. Oft wird argumentiert, dass am gewünschten Standort ohnehin immer Wind weht, und es unangenehm zieht. In den meisten Fällen täuscht diese Empfindung jedoch. Die Energie im Wind nimmt nämlich mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit zu. Darüber hinaus können die allermeisten Kleinwindanlagen erst ab einer Windgeschwindigkeit von 3-4m/s (ca.11-15 km/h) Energie produzieren und ins Netz einspeisen. Um das Potential auszuloten gibt es verschiedenen Optionen.

Hinweis: Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten geben nur einen groben Anhaltspunkt. Eine Windklassenverteilung, gemessen vor Ort ist das Optimum. Ab 2,5m/s durchschnittlicher Jahresgeschwindigkeit sind Kleinwindkraftanlagen betreibbar. Ab 4m/s können gute Erträge erzielt werden.

Messung

Die einzig seriöse Methode, um aussagekräftige Ertragsprognosen zu erstellen, ist eine Messung vor Ort. Dabei ist die unabhängige Analyse durch Fachleute meist unerlässlich. Manche Hersteller bieten gratis Messungen an, sie stehen aber auch unter dem Druck Anlagen verkaufen zu müssen. Dementsprechend leichtfertig werden oft Standorte für „gut“ befunden.

Eine seriöse Messung sollte mind. 3 Monate, im Idealfall ein Jahr dauern. Eine Hochrechnung mit lokalen Winddaten aus Aufzeichnung ist besonders bei kurzen Messintervallen (3 Monate) notwendig. Die Auswertung muss in Form von einer Windklassenverteilung erfolgen. Dabei werden die gemessenen Windgeschwindigkeiten in Klassen eingeteilt. Diese Vorgehensweise und Darstellung ist die Basis für die Ertragsprognose einer Kleinwindkraftanlage. Solche professionellen Messungen sind natürlich nicht ganz billig. Sie kosten inklusive Auswertung, Montage und Demontage ab 1500 €.

Selbst Messen

Auch selbst durchgeführte Messungen können sehr genaue Ergebnisse bringen - müssen aber nicht! Abhängig von verwendetem Equipment und Platzierung des Anemometers liegt die Bandbreite der erzielten Ergebnisse von „exakt“ bis „komplett daneben.“

Folgende Aspekte sollten bei einer selbst durchgeführten Messung beachtet werden:

- Keine low-cost Wetterstationen verwenden, diese liefern teils sehr ungenaue Werte. Auch die Miete von professionellen Messstationen ist möglich
- Stabile Befestigung der Anemometer: waagrecht und schwingungsarm
- Besonders auf die Qualität des Anemometers achten
- Messung in Nabenhöhe und direkt am geplanten Aufstellungsort
- Erfassung bzw. Berechnung von Windklassenverteilungen
- Messung über ein Jahr

Referenzdaten aus der Umgebung

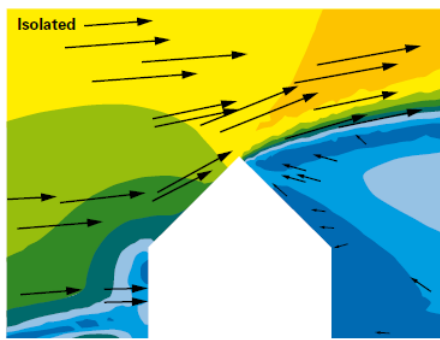
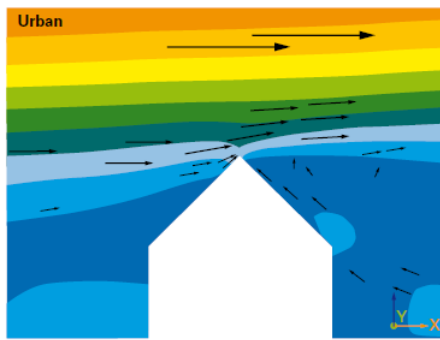
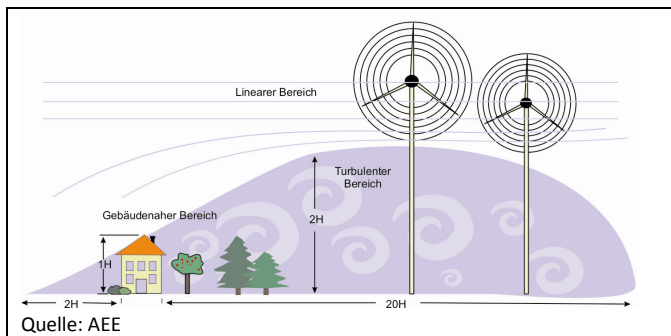
Befinden sich in der Umgebung geeignete Messstationen, so können diese als Anhaltspunkt dienen. Auf Flugplätzen und bei Wetterstationen der Wetterdienste sind diese zu finden. Die Wetterdienste (z.B. ZAMG) bieten diese Daten direkt an.

Reliefbeurteilung vor Ort

Wird nicht an Ort und Stelle der geplanten Windanlage gemessen, so muss das Relief vor Ort beurteilt werden. Hindernisse wie Gebäude, Wälder und Hügel in der Umgebung wirken sich wesentlich auf die örtliche Windleistung und damit auf den Energieertrag aus. (siehe dazu auch Abbildung 16ff)

Wo ist der ideale Aufstellungsort für eine Windenergieanlage

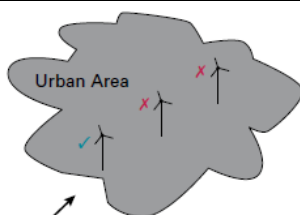
Windenergieanlagen müssen außerhalb des Windschattens von Hindernissen, sowie außerhalb des Turbulenzbereichs, den diese verursachen, positioniert werden. Wie sich diese Strömungen rund um Hindernisse verhalten und wo KWEA positioniert werden sollten ist in den folgenden Grafiken ersichtlich:



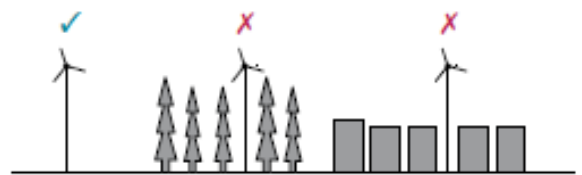
Quelle: Small Scale Wind Energy- Policy Insights and practical Guidance, Carbon Trust, 2008

Abbildung 16: Einflüsse von Objekten auf die Windströmung

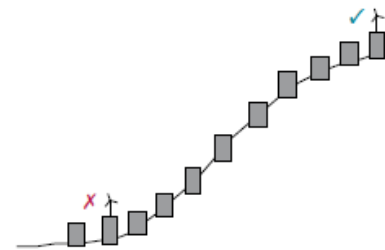
Einzelne Hindernisse verursachen starke Turbulenzen. Sind mehrere Hindernisse gleicher Höhe im Verbund vorhanden (größere Siedlung), so bildet sich ein turbulenzarmer Bereich darüber. Die Windgeschwindigkeit wird jedoch drastisch reduziert. Die Positionierung von KWEA muss außerhalb turbulenter Bereiche erfolgen.



Die Windenergieanlage (WEA) soll nur am Rand und nicht in bebauten Gebieten oder Wäldern aufgestellt werden. Die beste Platzierung ist an der Seite der Hauptwindrichtung.



Der bevorzugte Standort der WEA ist im ländlichen, unbebauten und nicht bewaldeten Gebiet.



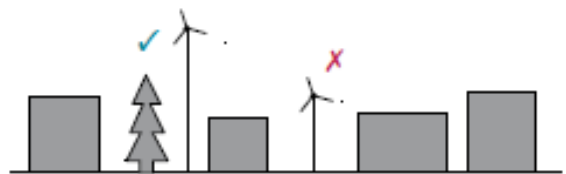
WEA sollen am Hochpunkt von sanften Hügeln platziert werden. Starke Steigungen u. Kanten führen zu Strömungsabriss und Verwirbelungen, und sollen daher vermieden werden.



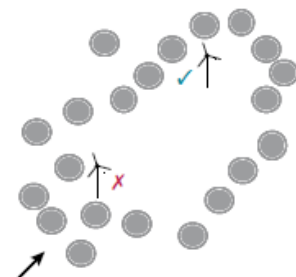
Im Fall von Hindernissen, welche die Turbine überragen, muss ein Abstand von mindestens 20-mal der Hindernishöhe eingehalten werden. Anderenfalls muss die Turbine in einer Höhe von mindesten 2-mal der Hindernishöhe montiert werden. In Ausnahmefällen kann die WEA auch in Hauptwindrichtung vor dem Hindernis errichtet werden.



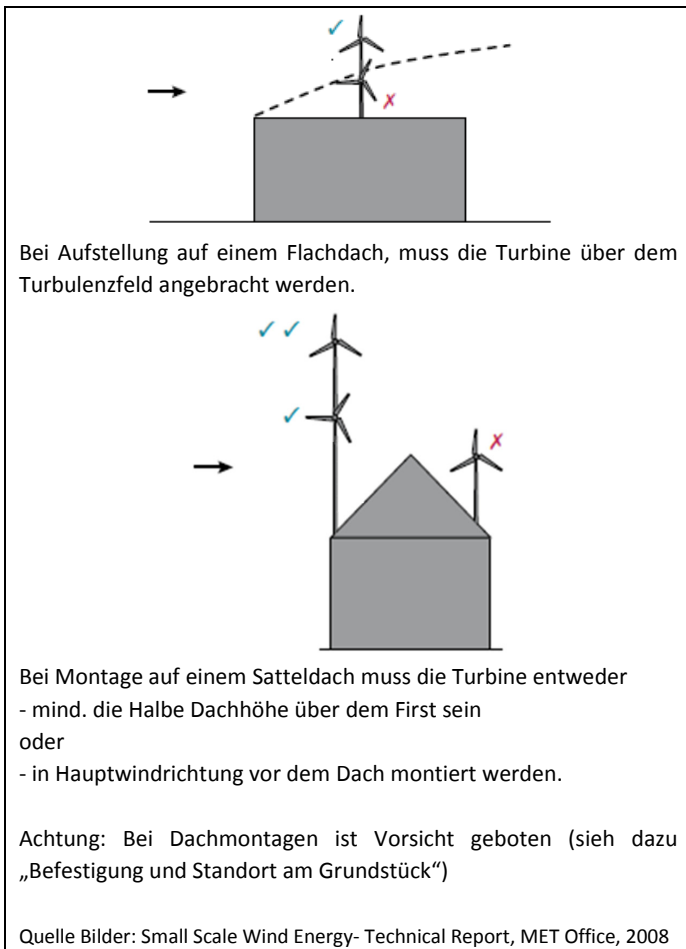
Die Turbine soll so hoch wie möglich angebracht werden.



Die WEA soll die umgebenden Hindernisse weit überragen. Je nach Abstand zum Hindernis bis zu 2-mal die Hindernishöhe.



Sollte es nicht möglich sein, dass die Turbine die umgebenden Hindernisse überragt, soll zumindest ein freies Anströmfeld in Hauptwindrichtung vorhanden sein.



Bei Aufstellung auf einem Flachdach, muss die Turbine über dem Turbulenzfeld angebracht werden.

Bei Montage auf einem Satteldach muss die Turbine entweder
 - mind. die Halbe Dachhöhe über dem First sein
 oder
 - in Hauptwindrichtung vor dem Dach montiert werden.

Achtung: Bei Dachmontagen ist Vorsicht geboten (sieh dazu „Befestigung und Standort am Grundstück“)

Quelle Bilder: Small Scale Wind Energy- Technical Report, MET Office, 2008

Abbildung 17: Optimale Platzierung

Exkursion: Messtechnik

Wie und mit welchen Instrumenten wird das Windangebot vernünftig erfasst? Es gibt verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Preisen.

Flügelradanemometer dienen meist nur der Momentanaufnahme. Ultraschallanemometer sind zwar wartungsarm, jedoch teuer.

Schalenkreuzanemometer

Die richtige Wahl für die Analyse von Kleinwindstandorten ist ein solides Schalenkreuzanemometer (siehe Abbildung 20). Dabei gilt die Faustregel: je größer das Anemometer, desto genauer ist dieses. Günstige Wetterstationen haben oft ein Anemometer von 3 cm Gesamtdurchmesser. Diese Geräte sind Spielzeug und keine Messinstrumente! Die Schalen sollten möglichst groß, die Mechanik leichtgängig und solide sein.

Windfahne

Zur Erfassung der Windrichtung wird üblicherweise eine Windfahne eingesetzt, die sich in den Wind richtet. Bei Ultraschallanemometern ist dies nicht erforderlich, diese können direkt auch die Windrichtung erfassen.

Datenlogger

Ein passender Datenlogger rundet das System ab. Es gibt sowohl autarke, solarversorgte Versionen, als auch Netzgebundene. Eine Datenspeicherung auf Speicherkarten sowie eine Internetanbindung per GSM ist möglich.



Abbildung 18: Ultraschallanemometer



Abbildung 19: Mobiles Flügelradanemometer
 Quelle: conrad electronics



Abbildung 20: Kombi Anemometer mit Windrichtungsgeber - Schalenkreuzanemometer -- Datenlogger

Mast:

Ausreichend hohe, stabile und abgespannte Maste sind als Träger für das Messequipment notwendig um in ausreichender Höhe (je nach geplanter Anlage ab 10m) messen zu können. (siehe Abbildung 21)

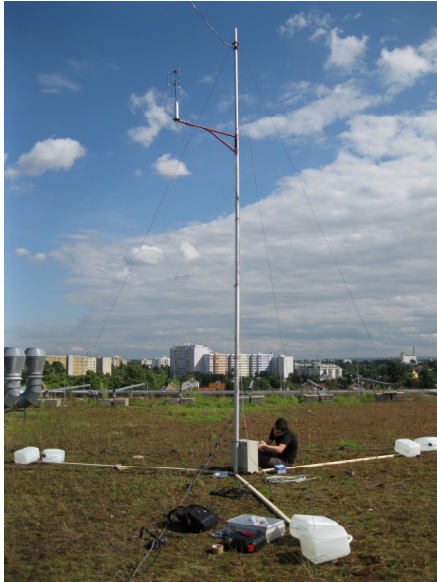


Abbildung 21: Professionelle Windmessungen mit geeigneten Messmasten

Windklassenverteilung und Anlagenkennlinie

Die Darstellung des Winddargebots an einem Standort erfolgt in Form einer sog. Windklassenverteilung. Dabei werden alle auftretenden Windgeschwindigkeiten in Klassen zusammengefasst. Eine Klasse umfasst dabei jeweils 1 m/s. Aus dieser Darstellung lässt sich einfach ablesen wie häufig der Wind mit 1,2,3,4 usw. m/s weht.

Die Anlagenkennlinie gibt jene Leistung wieder, welche bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit geliefert wird. Die Kennlinien sind von Modell zu Modell verschieden. In der Regel beginnt die Einspeisung bei 3-4m/s. Die Leistung steigt ab diesem Punkt mit der Windgeschwindigkeit. Bei einer gewissen Geschwindigkeit ist dann die Maximalleistung erreicht. Trotz höheren Windgeschwindigkeiten steigt die Leistung nichtmehr. Schließlich kommt es bei vielen Herstellern zu einer Abschaltung wenn die Windgeschwindigkeit zu hoch wird. Dies ist aus Sicherheitsgründen vorgesehen, um Schäden bei Sturm zu verhindern.

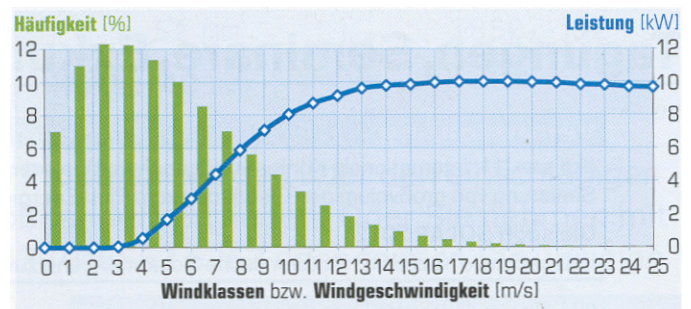


Abbildung 22: Windklassenverteilung & Leistungskennlinie

Wichtige Kennwerte einer KWEA sind auch (exemplarische Werte):

Einschaltgeschwindigkeit	3m/s
Abschaltgeschwindigkeit	18m/s
Überlebensgeschwindigkeit	40m/s (Anlage überlebt ohne Schaden)

Ertrag

Verschneidet man nun die Windklassenverteilung des Standortes mit der Leistungskennlinie der gewählten Anlage, so erhält man die produzierte Energiemenge über das Jahr hinweg. Wie in Abbildung 22 zu sehen ist, verlaufen die Windklassenverteilung und die Leistungskennlinie üblicherweise genau gegenläufig. Dies kommt daher, dass Wind häufig mit geringer Geschwindigkeit weht. Höhere Geschwindigkeiten sind entsprechend seltener. Auf der anderen Seite führt eine geringe Windstärke nur zu geringem Ertrag.

Absoluter Ertrag in kWh

Der absolute Ertrag einer Anlage in kWh sagt aus wie viel Energie an einem Standort von einer ganz bestimmten Anlage produziert wird. Diese Werte sind untereinander allerdings nur schwierig zu vergleichen. Eine 1kW Anlage könnte an einem guten Standort 1000kWh/Jahr liefern. Ebenso könnte dies jedoch eine 10kW Anlage, wenn sie an einem sehr schlechten Standort steht. Um die Erträge an verschiedenen Standorten und von Anlagen mit unterschiedlicher Leistung vergleichen zu können, gibt es Bezugsgrößen.

Ertrag in Volllaststunden/Jahr

Dividiert man den Jahresenergieertrag durch die Anlagenleistung, so erhält man den Ertrag in Volllaststunden. Die Frage ist hier: Wieviele Stunden hätte die Anlage mit Volllast laufen müssen, um den angegebenen Ertrag zu erzielen.

Würde eine 1kW Anlage 1.000h mit Volllast laufen so würden 1.000kWh erzeugt.

Würde eine 10kW Anlage 1.000h mit Volllast laufen so würden 10.000kWh erzeugt.

In beiden Fällen sind es hier im Beispiel 1.000 Volllaststunden. Multipliziert man die Volllaststunden mit der Anlagenleistung so erhält man den absoluten Ertrag.

Hinweis: Nicht zu verwechseln ist dieser Wert mit den Betriebsstunden. Die Betriebsstunden geben an wie lange eine Anlage ins Netz eingespeist hat – egal mit welcher Leistung - und sind dementsprechend höher.

Erzielbare Werte in der Kleinwindkraft (Richtwerte)

	Volllaststunden/Jahr
Großwindkraft	>2000
Kleinwindkraft:	
Ausgezeichneter Standort	>1200
Guter Standort	800-1200
Mittelmäßiger Standort	500-800
Schlechter Standort	<500

Werte über 1500 Volllaststunden sind zwar möglich (Beispiel Kleinwindpark Lichtenegg), jedoch selten zu finden.

Hinweis: Überschätzungen durch unseriöse Anbieter kommen vor! Holen Sie im Zweifel jedenfalls eine 2. Meinung ein!

Sezifischer Flächenertrag in kWh/m² Rotorfläche

In der Großwindkraft dient als Referenz der spezifische Flächenertrag. Hier wird der Ertrag auf die Rotorfläche bezogen. Ein niedriger Wert kann einerseits auf eine ineffiziente Anlage hinweisen. Andererseits werden „Schwachwindanlagen“ bewusst mit größeren Rotoren ausgerüstet. Der Wert erhöht sich dann ebenfalls, was allerdings zu begrüßen ist, da nur so geringe Windgeschwindigkeiten genutzt werden können.

Erzielbare Werte (Richtwerte)

	kWh/m ² Rotorfläche
Großwindkraft	900
Kleinwindkraft:	
Ausgezeichneter Standort	>250
Guter Standort	150-250
Mittelmäßiger Standort	140
Schlechter Standort	100

Anlagenleistung/Rotorfläche in kW/m² Rotorfläche

Dieser Wert ist einfach zu errechnen und ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen Anlagenleistung und überstrichener Rotorfläche. Die spezifizierte elektrische Leistung einer Anlage hat im Prinzip nämlich nichts mit deren Rotorfläche zu tun. Je nach Herstellerspezifikation wird die Nennleistung bei geringeren oder höheren Geschwindigkeiten erreicht. Dementsprechend groß bzw. klein wären die dazugehörigen Rotorflächen.

Hat eine Anlage 5kW und 20m² Rotorfläche so ergibt sich ein Wert von 250W/m². Üblich sind in der Kleinwindkraft Werte zwischen 100 und 300W/m². Im Normalfall wird dieses Verhältnis vom Hersteller so gewählt, dass aus seiner Sicht ein Optimum aus Anlagenkosten und Ertrag entsteht. Insbesondere bei besonders hohen Werten (jenseits 300) ist jedoch Vorsicht geboten! Dies lässt auf eine Täuschung des Konsumenten schließen, weil nur bei sehr, sehr hohen Windgeschwindigkeiten nennenswerte Erträge eingefahren würden. Oder einfach gesagt: Die Rotorfläche ist zu klein.

Hinweis: Für Regionen mit schwachem Wind (wie in unseren Breiten) sind hier geringere Werte, bzw. größere Rotorflächen sinnvoll.

Rechtliches

Ein komplexes Thema ist, wo und unter welchen Voraussetzungen man eine Kleinwindkraftanlage aufstellen darf. Grundsätzlich relevant hierfür sind:

Bau- und Raumordnung

Zuständig ist die Baubehörde vor Ort.

Elektrizitätsrecht

Maßgeblich ist das EVU, das die Leitungsinfrastruktur zur Verfügung steht, bzw. der Elektriker der die Anlage in Betrieb nimmt.

Natur- Landschafts- und Denkmalschutz

In einigen Fällen ist es auch nötig naturschutzrechtliche- und Bestimmungen des Denkmalschutzes zu berücksichtigen. Nämlich dann wenn das geplante Windrad in oder an einer Denkmalschutzzone oder eines Naturschutzgebietes (z.B.: Natura 2000) liegt.

Hinweis: Eine genaue, detaillierte Abhandlung der rechtlichen Aspekte wird in einem eigenen Leitfaden folgen.

Siehe dazu auch:

www.kleinwindkraft.at

Wirtschaftlichkeit

Die Frage, ob Kleinwindkraft in Österreich derzeit wirtschaftlich ist, kann rasch mit nein beantwortet werden.

Die entscheidende Frage ist jedoch nicht:

Was kann ich mit Kleinwindkraft verdienen? sondern

Was ist sie mir wert?

Wer primär nach hohen Renditen sucht ist bei Windkraftbeteiligungsmodellen an großen Anlagen, PV-Beteiligungen, einer eigenen PV-Anlage oder überhaupt am Finanzmarkt besser aufgehoben.

Die Wirtschaftlichkeit wird im Wesentlichen durch 3 Faktoren bestimmt:

1) Anlagenkosten

Derzeit liegen die Anlagenkosten zwischen 3000 und 7000€/kW installierter Leistung. Also über jenem Preisniveau in dem sich die Photovoltaik bewegt.

2) Ertrag

Das Um und Auf für Kleinwindkraftanlagen überhaupt ist der elektrische Energieertrag, der durch die Anlageneffizienz und den Standort bestimmt wird.

3) Vergütung und Förderung

Der große Erfolg der Photovoltaik beruht nicht zuletzt auf einer attraktiven Förderung. Grundsätzlich gibt es verschiedene Varianten der Vergütung bzw. Förderung, die möglich wären:

Tarifförderung (derzeit verfügbar)

Hierbei wird die erzeugte Energie gefördert. Dzt. gibt es eine Vergütung pro eingespeister kWh von 9,45c für Windstrom (Bei Genehmigung als Ökostromanlage). Die Förderung richtet sich primär an Großwindanlagen, für die dieser Tarif auch attraktiv ist. Für einen finanziell attraktiven Betrieb von KWEA wären jedoch Vergütungen von 20-30 Cent/kWh notwendig. Diese Fördervariante bildet einen Anreiz dazu, den besten Standort zu wählen und auch langfristig in der Entwicklung die Anlageneffizienz zu steigern.

Eigenverbrauch als dzt. einzige wirtschaftlich sinnvolle Variante.

Hinweis: Ein möglichst hoher Anteil an Eigenverbrauch ist erstrebenswert, und unter den aktuellen Voraussetzungen ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit. Derzeit wird die Einspeisung von Windstrom (bei Genehmigung als Ökostromanlage) mit 9,45 c/kWh vergütet. Bei Eigenverbrauch können jedoch (je nach Vertrag) ca. 18 c/kWh eingespart werden.

Die Dimensionierung von Kleinwindkraftanlagen sollte im Verhältnis zum Verbrauch eher klein gewählt werden. Dadurch lässt sich viel Strom selbst verbrauchen. Starke Strompreissteigerungen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit ebenfalls positiv.

Investitionsförderung

Hierbei erhält der Betreiber einen direkten Zuschuss beim Bau der Anlage. Der Nachteil dieser Fördervariante ist, dass auch schlechte Standorte im gleichen Maße gefördert werden wie gute. (derzeit nicht verfügbar)

Bei einer konkreten Umsetzung ist eine genauere Betrachtung der Wirtschaftlichkeit notwendig. Hierfür müssen die Windverhältnisse vor Ort und die

Anlagenkennlinie der einzusetzenden KWEA bekannt sein. Mit diesen Kenngrößen können dann beispielsweise mithilfe des Wirtschaftlichkeitsrechners für Kleinwindkraftanlagen der AEE-NÖ-Wien (frei verfügbar unter www.aee-now.at/kleinwind) Prognosen getroffen werden. Als Ergebnis erhält man vielfältige Analysen unter Einbezug der Inflation, Verzinsung, Energiepreissteigerungen, etc.

Beispiel: Wirtschaftlichkeit an einem guten Standort

Unter einem guten Standort kann ein Standort verstanden werden an dem rund 1000 Vollaststunden erreicht werden. Um solche Standorte zu identifizieren, bedarf es einer genauen Analyse der Umgebung, Referenzmessdaten oder am Besten einer Messung vor Ort.

Aufgrund der niedrigen Einspeisevergütung von Windstrom bilanziert die Einspeisevariante negativ. Bei Eigenverbrauch werden die getätigten Investitionen über 30 Jahre amortisiert. Als Referenzsystem wurde hier auch eine PV-Anlage mitgerechnet. Aufgrund des erhöhten Einspeisetarifs amortisiert sich diese innerhalb von 15 Jahren. Danach ist sie abbezahlt und fährt Gewinn ein. (siehe Abbildung 23).

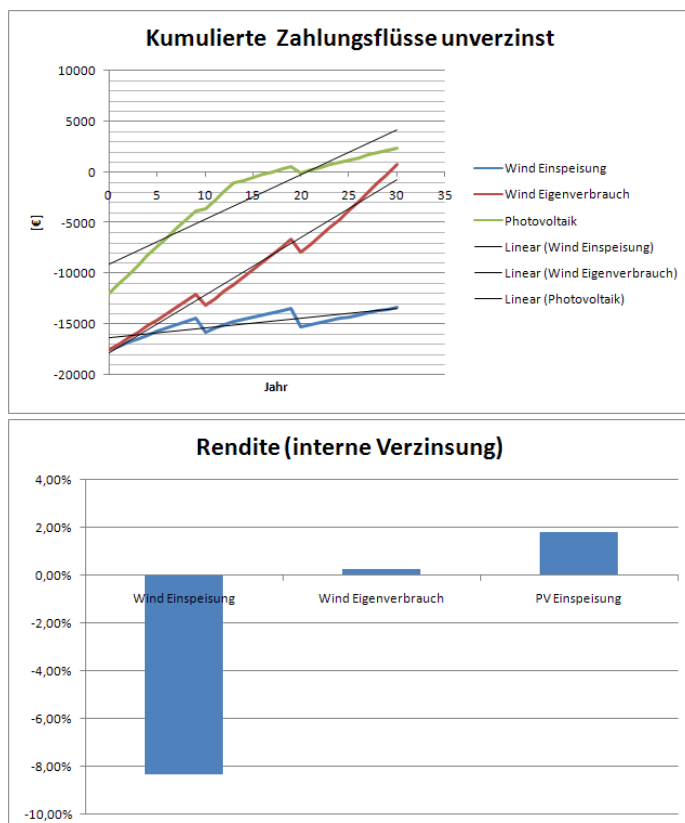


Abbildung 23: Zahlungsflüsse und Renditen an gutem Standort am Beispiel von 5kW Anlagen

Befestigung und Standort am Grundstück

Die einfachste und kostengünstigste Variante ist die Errichtung auf einer freien Fläche. Die Kabelführung kann unterirdisch bis zum Wechselrichter und Steuergerät geführt werden, welche in den meisten Fällen innerhalb eines Gebäudes montiert werden.

Bei der Dimensionierung der Befestigungseinrichtungen sind die Masse und die Windlast der zu installierenden Anlage zu beachten. Die meisten Hersteller bieten passende Maste an und haben Vorgaben bzw. Berechnungen für das notwendige Fundament.

Fundament

Das (Beton) Fundament sorgt für sicheren Stand des Mastes. Bei Masten ohne Abspannung muss es die gesamte Windlast tragen. Ist eine Abspannung vorhanden, bildet es eine stabile Basis für den Mast und trägt das Eigengewicht der Windkraftanlage.

Mast

Als Grundsatz für den Masten von Kleinwindkraftanlagen gilt: „Möglichst hoch soll er sein.“ Dies hat mit den Windverhältnissen in unterschiedlichen Höhen zu tun. Je höher die Windkraftanlage steht, desto weniger Windhindernisse und Turbulenzen gibt es. Diesem „hohen Ziel“ widersprechen allerdings Kosten und behördliche Auflagen. Je nach Anlagengröße sind Maste mit bis zu 30m Nabenhöhe üblich.

Der Mast erfüllt dabei mehrere Zwecke:

- Positionierung des Rotors über dem turbulenten Windbereich
- Bewegliche Teile (Gefahrenpotential) aus der Reichweite von Passanten bringen
- Leitungsführung
- Kann in einigen Fällen einfach umgelegt werden, wodurch die Wartung erleichtert wird.

Es gibt die unterschiedlichsten Masten aus unterschiedlichen Materialien wie: Metall- Rohr- und Gittermaste, Stahlbeton- und Holzmaste. Abspannungen mit Stahlseilen sorgen oft für zusätzliche Stabilität. Dadurch kann der Mast selbst schlanker ausfallen, ohne jedoch an Stabilität zu verlieren. (siehe Abbildung 24 bis Abbildung 26)



Abbildung 24: Vlnr: Stahlrohrmast abgespannt, Stahlrohrmast klappbar, Betonmast, Stahlrohrmast in Segmenten



Abbildung 25: Holzmast abgespannt



Abbildung 26: Stahlgittermast, abgespannt

Dach

Bei der Befestigung von Windkraftanlagen am Dach ist Vorsicht geboten! Vor allem bei Bestandsgebäuden, wo die Anlage nicht von Anfang an in die statischen Berechnungen mit einbezogen wurde kann dies zu Problemen führen.

Abgesehen von statischen Problemen kann es auch zu einer Übertragung von Körperschall und Vibrationen in das Gebäude kommen. Diese meist niederfrequenten Schwingungen werden dann unangenehm von den Bewohnern empfunden.

Außerdem vermindert die Montage am Dach den Ertrag, da es zu Ablenkungen des Windes und zu Turbulenzen kommt.

Hinweis:

- Wenn Kleinwindkraftanlagen am Dach geplant sind, sollte dies unbedingt von Fachleuten durchgeführt werden. Statik, Vibrationen und Körperschall sind zu berücksichtigen.
- Wenn genügend Platz vorhanden ist, ist die Montage auf einem gesonderten Mast meist kostengünstiger, effizienter und einfacher.

Blitzschutz

Kleinwindkraftanlagen sind aufgrund ihrer exponierten Lage der Gefahr eines Blitzschlages ausgesetzt. Kommt es zu einem direkten Blitzschlag ist ein Schaden nahezu unvermeidlich. Um diesen jedoch in Grenzen zu halten, bzw. bei indirekten Blitzschlägen ohne Schaden davonzukommen, ist eine sorgfältige Ausführung von Blitz- und Überspannungsableitern notwendig.

Augenmerk gilt dabei vor allem der Elektronik, sowie der Kabelverbindung zwischen Gebäude und Windenergieanlage. Der Erdungswiderstand des Mastes sollte so gering wie möglich sein. Überspannungsableiter an der Elektronik sind ebenfalls erforderlich.

Lärm

Die mögliche Lärmbelastung durch Kleinwindkraftanlagen darf nicht unterschätzt werden. Darunter wird vor allem die Beeinträchtigung von Anrainern verstanden, denn die eigene Anlage macht keinen Lärm sondern Musik. Anwohner fühlen sich jedoch schnell von Kleinwindkraftanlagen beeinträchtigt. Die Bandbreite von

Emissionen ist hierbei ebenfalls weit gefächert. Als Faustregel gilt: Je schneller sich der Rotor dreht desto lauter ist die Anlage. Einige Hersteller haben Technologien, welche helfen sollen die Schallemissionen zu reduzieren. Dies reicht von langsamer laufenden Anlagen, über Beschichtungen bis hin zu stromlinienförmigen Bauteilen und Einhausungen. Auch Resonanzbereiche sind ein Thema. So können Anlagen bei einer gewissen Drehzahl Schall mit unangenehmer Frequenz von sich geben. Dreht sich der Rotor schneller oder langsamer, so wird die Anlage als ruhiger empfunden.

Schattenwurf

Kleinwindkraftanlagen werfen, so wie jeder Gegenstand, einen Schatten. Das wäre weiter nicht problematisch. Da sich der Rotor jedoch schnell bewegt kommt es zum sog. Stroboskopeffekt. Der schnelle Schatten- und Lichtwechsel wird von den meisten Leuten als extrem unangenehm empfunden. Bei der Errichtung muß also berücksichtigt werden ob der Schatten der Kleinwindanlage im Jahresverlauf Fenster des eigenen oder des Nachbargebäudes streift. Dies soll vermieden werden.

Hinweis: Besonders in sehr dicht verbautem Gebiet sind Kleinwindkraftanlagen daher eher mit Vorsicht zu genießen bzw. erst nach reiflicher Betrachtung der Umgebung zu errichten. Besser sind diese im offenen Gelände oder in Gewerbegebieten aufgehoben. Dichte Verbauung mindert nämlich auch den Ertrag maßgeblich!

Vorgehensweise bei der Errichtung von KWKA

Bei der Errichtung sind viele Punkte zu beachten. Im Folgenden finden Sie eine chronologische Aufstellung zur Abhandlung der Themengebiete, auf die zu achten ist. (kein Anspruch auf Vollständigkeit)

1) Standortbewertung

- Höhenlage
- Umgebende Hindernisse
- Hauptwindrichtung
- Platzierung in Bezug auf Hauptwindrichtung
- Windstärke und Häufigkeit von Windrichtungsänderungen
- Vermeidung von turbulenten Zonen
- Frei stehend oder Dachmontage

Endgültige Klarheit über den genauen Ertrag vor Ort bringt nur eine Vermessung!

2) Anlagenwahl

- Schwach-/Starkwindturbine
- Installationsvoraussetzung: Mechanische Belastungen, Netz- oder Inselbetrieb
- Maximierung der Masthöhe
- Zertifizierung
- Leistungskurve
- Lärmgutachten
- Nennleistung (abhängig von Bauordnung, Eigenstrombedarf, Einspeisetarif)
- Ermittlung des Energieertrages der Turbine (Berechnung mittels Leistungskurve und gemessener Windklassenverteilung)

3) Wirtschaftliche Betrachtungen

- Ertragsberechnung
- Amortisationsberechnung
- Anteil des Eigenverbrauchs maximieren (Anlage u.U. kleiner dimensionieren)

4) Genehmigungen

- Netzanbindung, Genehmigung durchs EVU
- Baugenehmigung
- Sonstige Genehmigungen

5) Schaffung von Infrastruktur und Kauf der Anlage

- Fundament
- Mast
- Verkabelung
- Windenergieanlage selbst
- Zähl- und Einspeisepunkt

Hinweis:

Der eigentliche Kauf einer Anlage steht am Ende einer Kette von Fragen die vorher positiv beurteilt wurden!

Was muss der Hersteller liefern

- Gutachten / Zertifizierungen
 - CE Zertifizierung
 - Daten zu Schallemissionen
 - Leistungskurve
- Referenzanlagen (mit Betreibern sprechen, ob diese zufrieden sind)
- Ertragsprognose
- Garantieleistungen
- Statikanforderungen
- Hilfestellung bei Abwicklung der Anlagengenehmigung (am Besten alles aus einer Hand)

Das Genehmigungsverfahren

Nicht zu unterschätzen ist der administrative Aufwand für das Genehmigungsverfahren. Hersteller mit Erfahrung nehmen dies gerne in die Hand und wissen wie es abläuft.

Glosar

A	Ampere, Einheit für elektrischen Strom
Abschaltgeschwindigkeit	Anlage schaltet ab
AC	Alternating current, Wechselstrom
Anemometer	Gerät zur Windmessung
bft	Beaufort: Alte Einheit für Windgeschwindigkeit
Darrieusrotor	spezielle Rotorform
DC	Direct Current, Gleichstrom
Einschaltgeschwindigkeit	Anlage schaltet sich ein
EVU	Energie-Versorgungs-Unternehmen
Horizontalläufer (HAWT)	Anlage dreht sich um horizontale Achse
Hz	Hertz, Einheit für Frequenz
KWEA	Kleinwindenergieanlage
kWh	Kilowattstunde, Einheit für Energie
Lee	dem Wind abgewandte Seite
Luv	dem Wind zugewandte Seite
m/s	Meter pro Sekunde: Einheit für Geschwindigkeit: $1\text{m/s} = 3,6\text{km/h}$
Repeller	Rotor oder Flügel des Windrades
Savoniusrotor	spezielle Rotorform
Stall	Strömungsabriss
Turbulenz	Verwirbelungen in (Wind)strömungen
Überlebensgeschwindigkeit	Anlage überlebt ohne Schaden
V	Volt, Einheit für elektrische Spannung
Vertikalläufer (VAWT)	Anlage dreht sich um vertikale Achse
Vollaststunde	Einheit für die Laufzeit bei Voller Leistung
W	Watt, Einheit für Leistung
Wechselrichter	Erzeugt eine netzkonforme Wechselspannung. Gerät zur Netzeinspeisung ins Öffentliche Netz
Windklasse	Einheit zur Beurteilung der Windhäufigkeit, Eingeteilt in 1m/s Schritte
Zählpunkt	Punkt an dem Energie dem EVU „übergeben“ wird, mit Messeinrichtung ausgestattet, durch das EVU eingerichtet

Literatur:

Weiterführende Information:

www.kleine-windkraft.at

www.aee-now.at/kleinwind

Projekte:

Kleinwindkraftanlagen: Qualitätssicherung, Netzeinbindung, Geschäftsmodelle und Information

<http://www.energieforschungspark.at/>

www.evn.at/kleinwindkraft

www.bww.cc

Bilder Quellen:

Bilder ohne Quellenangabe: AEE NÖ-Wien

Projektpartner:

www.aee-now.at

www.energiwerkstatt.org

www.evn.at

www.oegut.at

www.solvento.at

www.technikum-wien.at

www.wicon.cc

Projektpartner:



Die Autoren weisen darauf hin, dass diese Broschüre, die nach bestem Wissen und Gewissen erstellt wurde, eine Detailplanung nicht ersetzen kann. Weiters wird kein Anspruch auf Vollständigkeit und keine Haftung für Inhalte übernommen.