

Standortbeurteilung, Windmessung und Wirtschaftlichkeit an Beispielen für Kleinwindkraftanlagen



Themenübersicht

- 1. Allgemeine Grundlagen**
- 2. Standortbestimmung/Windmessung**
- 3. Wirtschaftlichkeit an Beispielen**
- 4. Standortbeispiele**



WINDKRAFT

1. Allgemeine Grundlagen

Beaufort Windtabelle für das Binnenland

Bft	m/s	km/h	mph	knoten	Bezeichnung der Windstärke	Auswirkung im Binnenland
0	0 - 0,2	0 - 0,8	0 - 0,6	0 - 0,5	Stille	Rauch steigt gerade empor
1	0,3 - 1,5	0,9 - 5,5	0,7 - 3,5	0,6 - 3,0	Leiser Zug	Rauch zeigt Wind an, Windfahne noch nicht
2	1,6 - 3,3	5,6 - 12,1	3,6 - 7,5	3,1 - 6,5	Leichte Brise	Wind im Gesicht fühlbar, Windfahne bewegt sich
3	3,4 - 5,4	12,2 - 19,6	7,6 - 12,2	6,6 - 10,5	Schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt Wimpel
4	5,5 - 7,9	19,7 - 28,5	12,3 - 17,8	10,6 - 15,5	Mäßige Brise	Dünne Äste bewegen sich, Staub und Papier werden gehoben
5	8,0 - 10,7	28,6 - 38,8	17,9 - 24,0	15,6 - 20,9	Frische Brise	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, auf Seen bilden sich Schaumköpfe
6	10,8 - 13,8	38,9 - 49,8	24,1 - 31,0	21,0 - 26,9	Starker Wind	Starke Äste bewegen sich, Telegraphenleitungen pfeifen
7	13,9 - 17,1	49,9 - 61,7	31,1 - 38,3	27,0 - 33,3	Steifer Wind	Ganze Bäume in Bewegung, Hemmung beim Gehen
8	17,2 - 20,7	61,8 - 74,3	38,4 - 46,4	33,4 - 40,3	Stürmischer Wind	Wind bricht Zweige von Bäumen
9	20,8 - 24,4	74,4 - 88,0	46,5 - 54,7	40,4 - 47,5	Sturm	Kleiner Schäden an Häusern (Dachziegel)
10	24,5 - 28,4	88,1 - 102,4	54,8 - 63,6	47,6 - 55,3	Schwerer Sturm	Bäume werden entwurzelt
11	28,5 - 32,6	102,5 - 117	63,7 - 73,0	55,4 - 63,4	Orkanartiger Sturm	(im Binnenland sehr selten) Sturmschäden
12 bis 17	32,7 - 56	118 +	73,1 +	63,5 +	Orkan	Schwerste Verwüstung

Überstrichene Rotorfläche

= Projektionsfläche



Berechnung der Energie im Wind

- Formel für die Leistung pro m² in Watt: **$P/A = 0,5 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times v^3$**

Diese Tabelle stellt dies in Bezug auf die durchströmte Fläche (m²) dar:

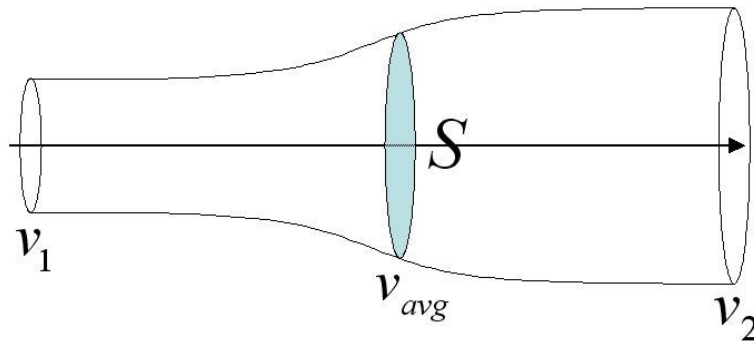
m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
0	0	8	313,6	16	2508,8
1	0,6	9	446,5	17	3009,2
2	4,9	10	612,5	18	3572,1
3	16,5	11	815,2	19	4201,1
4	39,2	12	1058,4	20	4900,0
5	76,5	13	1345,7	21	5672,4
6	132,3	14	1680,7	22	6521,9
7	210,1	15	2067,2	23	7452,3

Für eine Luftdichte von 1,225 kg/m³, das entspricht trockener Luft bei normalem, atmosphärischem Luftdruck auf Meereshöhe bei 15° Celsius.

- Die Energie des Windes steigt mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit.

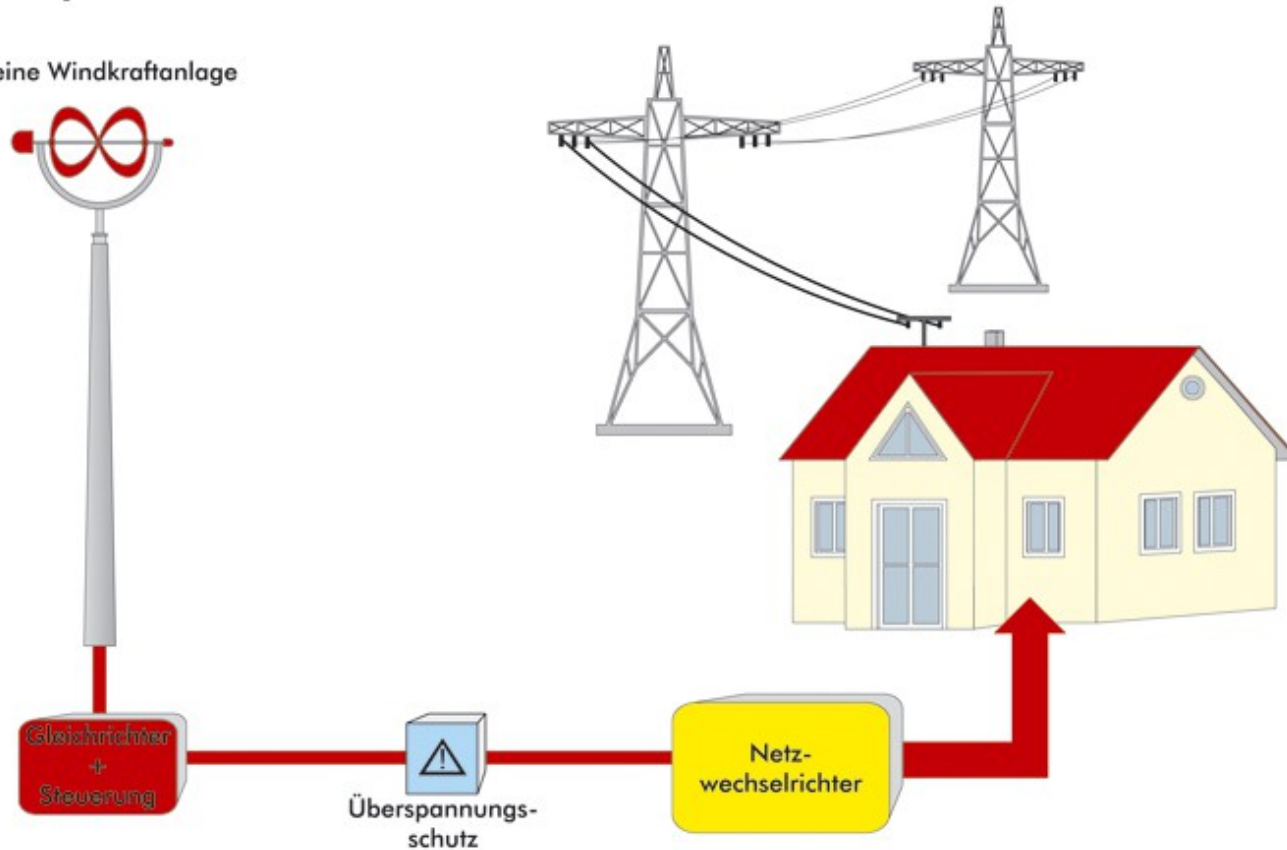
Betzches Gesetz

- Je stärker der Wind abgebremst wird, desto mehr strömt ungenutzt am Rotor vorbei.
- Dann können maximal 59,3 % der im Wind enthaltenen Energie entnommen werden.
- Dieser Wert wird nach dem Göttinger Physiker, der ihn ermittelte, Betzscher Leistungsbeiwert (c_p, Betz) genannt.



Netzparallelbetrieb

Kleine Windkraftanlage





WINDKRAFT

2. Standortbestimmung

1. Batterieladung/Speisung kleiner „Stand-Alone“ Verbraucher

Modelle	AeroCraft 120,240	120-500 W
	Bornay Inclin 600	600 W



AeroCraft 1002

2. EFH

Jahresverbrauch bis ca. 3.000 kWh

Modelle	AeroCraft 1002	1 kW
	Bornay Inclin 1500,3000	1,5 – 3 kW
	WB 1,5-3,5	1,7-3,5 kW
Leonardo	0,2-1,0 kW	



WB 6.0

3. EFH/ZFH/Landwirtschaft/kleine Gewerbebetriebe

Jahresverbrauch bis ca. 5.000 kWh

Modelle	WB 6.0	5-6,6 kW
---------	--------	----------



Aircon

4. Landwirtschaft/mittlerer Gewerbebetrieb

Jahresverbrauch ab 5.000 kWh

Modelle	Aircon	9,8 kW
	Bornay Inclin 6000	6 kW



Standorteinschätzung

„Hab ich genug Wind für den Betrieb einer kleinen WEA ?“

Die Faktoren

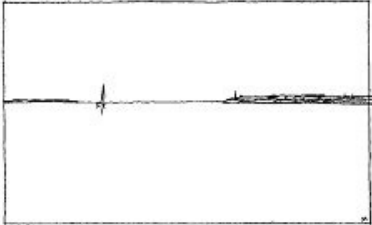
Regional

- Mittlere Windgeschwindigkeit in der Region (auf Nabenhöhe)
- Geländerauhigkeit

Am Standort

- Geländeneigung
- Windhindernisse (z.B. Baumreihen, Berge, Täler, Häuser, etc.)

Rauhigkeitsklassen



Rauhigkeitsklasse 0 gilt für Wasserflächen:
Meere und Seen.



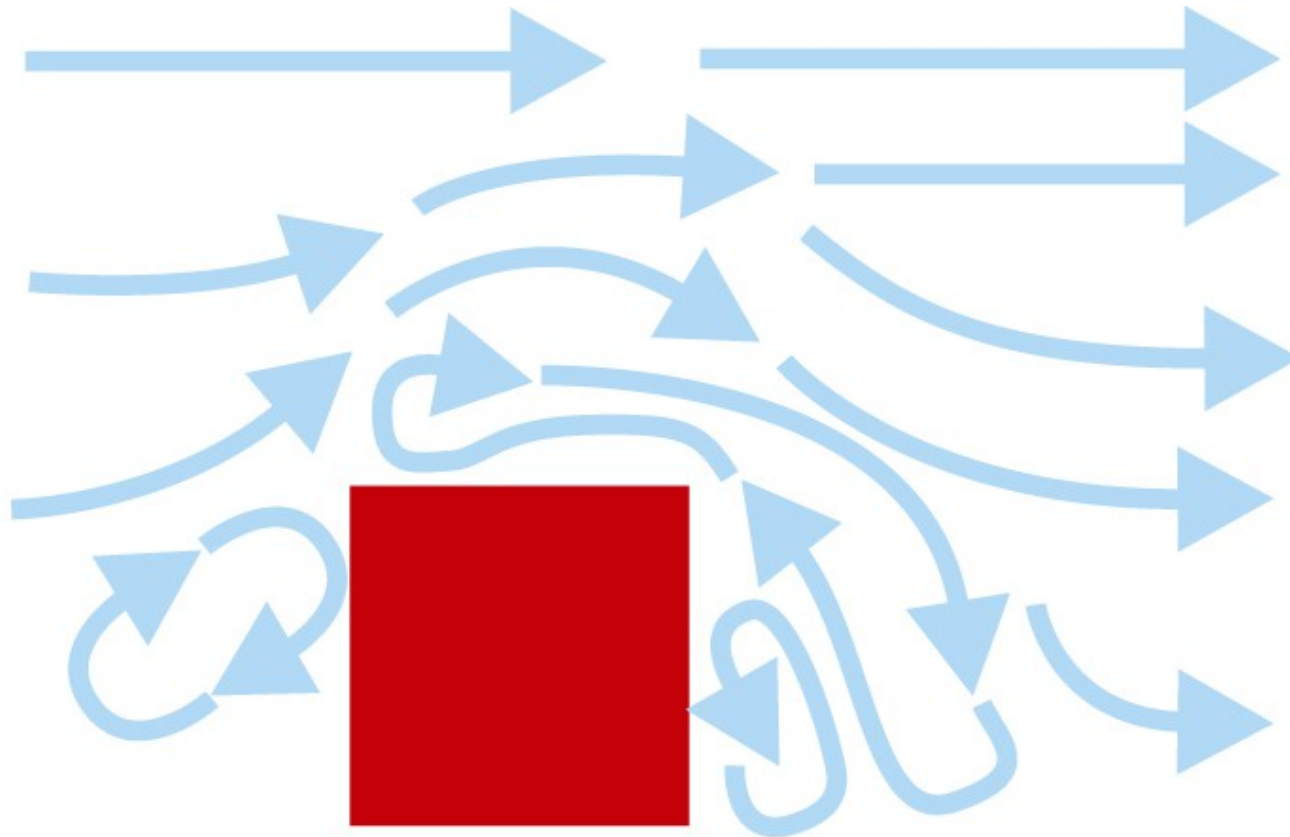
Rauhigkeitsklasse 1 gilt für offene Flächen
mit wenigen Windhindernissen.



Rauhigkeitsklasse 2 gilt für landschaftliche
Flächen mit Windhindernissen in großen Abstand

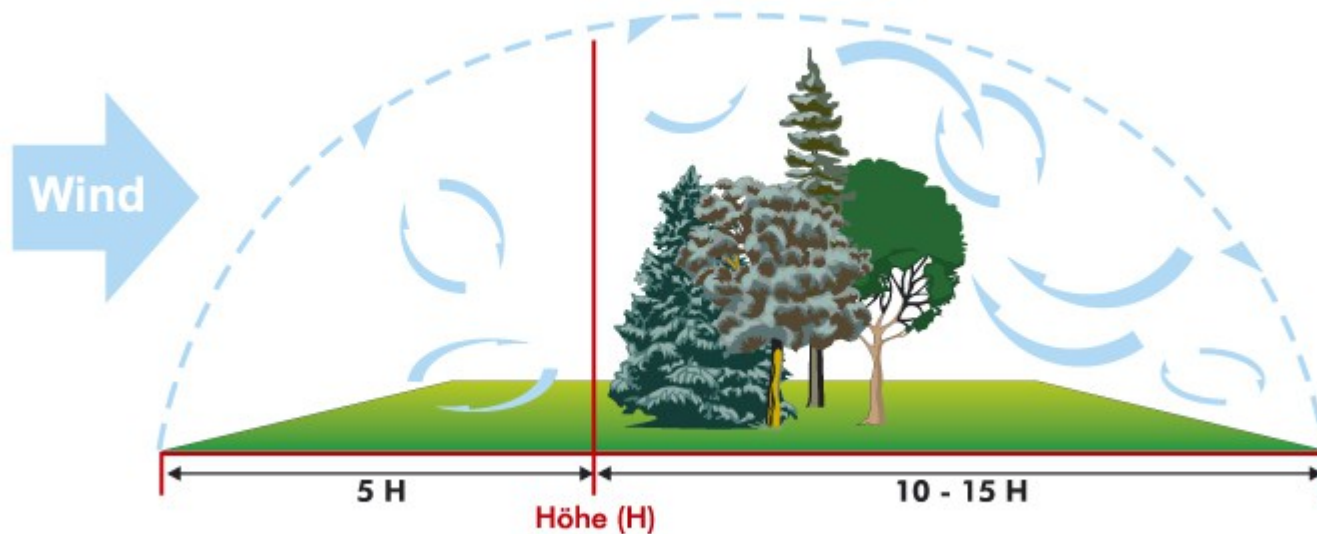


Rauhigkeitsklasse 3 gilt kleinere Dörfer, Wälder,
landwirtschaftliches Gelände mit vielen Bäumen, usw.



Seitenansicht eines vom Wind umströmten Hindernisses. Zu Beachten sind die starken Wirbel auf der Wind abgewendeten Seite.

Schematische Darstellung "Hinderniss Bäume"



- Windkraftanlagen können am besten die laminare Strömung nutzen
- Hindernisse erzeugen Turbulenzen - siehe obiges Beispiel "Bäume"



Vereinfachte Standortanalyse

2. Angaben zum Montageort

Die Montagehöhe der Windturbine im Vergleich zum umgebenden Windhindernissen wie Gebäude stellt einen wichtigen Parameter dar.
Grundsätzlich gilt: je näher Windhindernisse zum Montageort sind und umso höher sie sind, desto größer sollte die Entfernung zu Windhindernis sein bzw. umso höher muss die Windturbine aufgestellt werden. Hierfür sind der Montageort und Montagehöhe anzugeben. Bitte füllen Sie die Tabelle Seite 3 dazu aus.

Mein jährlicher Stromverbrauch beträgtkWh.

Aufstellungsort:

(wenn abweichend der Kundenadresse)

Name, Vorname
Straße
Postleitzahl/Ort

Höhenangabe der Anlage: _____m über Normalnull.

geplante
Turbinenhöhe:

über Dach	auf Masten
<input type="checkbox"/> 1 bis 3 m	<input type="checkbox"/> 10 m
<input type="checkbox"/> 3 bis 7 m	<input type="checkbox"/> 15 m
<input type="checkbox"/> 7 bis 15 m	<input type="checkbox"/> 18 m
<input type="checkbox"/> darüber	<input type="checkbox"/> darüber

Befinden sich derzeit Anlagen zur Nutzung der Windenergie in Ihrer Nähe?

- nein
- ja
 - große Windkraftanlagen in _____ km Entfernung
 - kleine Windkraftanlagen in _____ km Entfernung
 - sonstige Weinkraftanlagen in _____ km Entfernung

Art der Anlagen:
(kurze Beschreibung)

Vereinfachte Standortanalyse

Wurden in Vergangenheit in Ihrer Nähe Windanlagen genutzt?

nein

ja

In welcher Entfernung? _____ km

Wie?

(kurze Beschreibung)

3. Geländeform bzw. Bebauung zur Einteilung in Rauigkeitsklassen

Die Geländeform und somit die so genannte Rauigkeit ist ein wesentlicher Faktor zur Bestimmung des vorhandenen Windpotentials.

Zu diesem Zweck werden die unterschiedlichen Geländeformen in vier Rauigkeitsklassen eingeteilt.

Zutreffende Rauigkeitsklassen bitte in folgender Tabelle kennzeichnen:

0: Sehr ebene und glatte Flächen wie Seen

Keine Bebauung.

1: Offene Flächen mit wenigen Hindernissen. Das Geländeformen ist offen und flach bis leicht hügelig

Einzelne Gehöfte und Baum- oder Buschgruppen

2: Das Gelände ist durch große offene Flächen charakterisiert.

Leicht hügelig mit vielen Bäumen und Gebäuden.

3: Bebaute Gebiete, Wälder

viele dicht beieinander stehende Windhindernisse.

Vereinfachte Standortanalyse

Tabelle für Windhindernisse

In welcher Entfernung und Himmelsrichtung überragen höhere Bauteile wie Mauern, Gebäude, Bäume usw. die Windturbine?

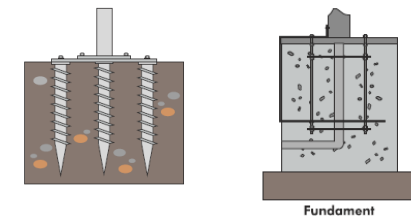
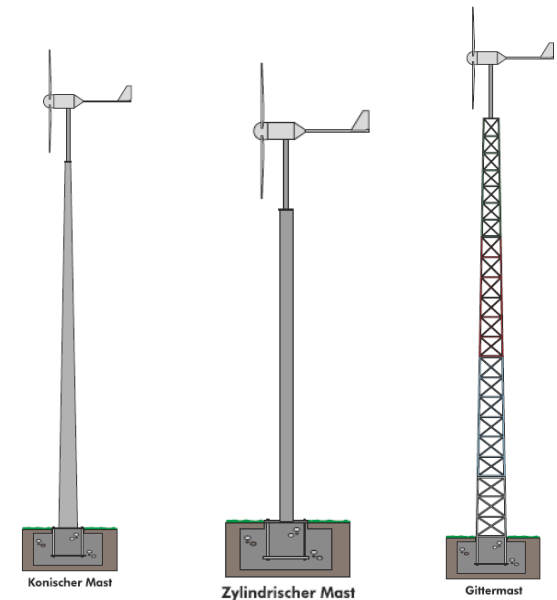
Beschreibung des Windhindernisses	Entfernung zum Montageort in Meter	Himmelsrichtung vom Montageort				Höhe des Windhindernisses über Boden in Meter	Grundfläche des Windhindernisses in Quadratmeter
		Ost	Süd	West	Nord		
 m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> m m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²
	m.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	m.....	m ²

Bodenbeschaffenheit:

Die Angaben zu Fundament und Statik gehen von der Annahme aus, dass das Fundament in einem natürlich gewachsener Boden mit einem Bodendruck von 250kN ohne Wasserauftrieb erstellt wird.

Fundamente:

- Schraubfundamente für kleinere Anlagen
- Notwendige Informationen zum Aufbau von Betonfundamenten



Fundament



Anlagen bis 10m Höhe: Vereinfachte Anlagenmontage



Anlagen bis 10m Höhe: Vereinfachte Anlagenmontage



Die Windmessung



Unteres Anemometer auf
10m Höhe.



Oberes Anemometer
kombiniert mit
Windrichtungssensor,
auf 15m Höhe.



Windmesser sollten wie folgt aufzeichnen:

- Windgeschwindigkeitsverteilung in 1 m/s Klassen
- Häufigkeitsverteilung über Windrichtung, Windgeschwindigkeitsverteilung und Windrichtungen
- Aktuelle Werte; Mittelwerte, Minimum und Maximum mit Zeitangabe
- Mindestens 2 Abnahmestellen (Anemometer) auf verschiedenen Höhen

Messzeitraum: mind. 3 Monate

Abgleich der klassifizierten & zeitlich exakt festgehaltenen Daten mit langfristigen Daten regionaler Windmessstationen



Unabhängigkeit von Windsituation im Messzeitraum



WINDKRAFT

aeolog Winddatenauswertung: Richter Franz Rosenheim vom 10.01.2012 bis 18.04.2012

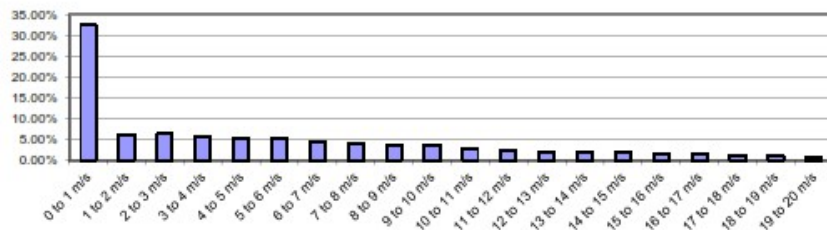
	Oberes Anemometer (1)	Unteres Anemometer (2)
Messhöhe [m]	15	10
Durchschnittl. Windgeschw. [m/s]	6.22	2.03
Standardabweichung [m/s]	7.39	2.35
Höchste Windgeschwindigkeit in m/s	40	40
Datum der höchsten Windgeschwindigkeit	13.01.2012	24.01.2012
Uhrzeit der höchsten Windgeschwindigkeit	11:11:01	16:01:01

Berechnete Rauigkeitslänge [m] 8.22

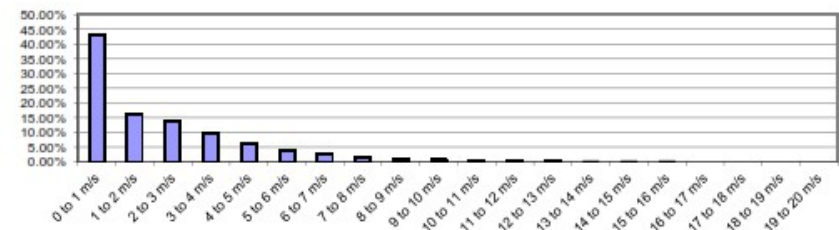
Nabenhöhe der Windturbine [m] 18

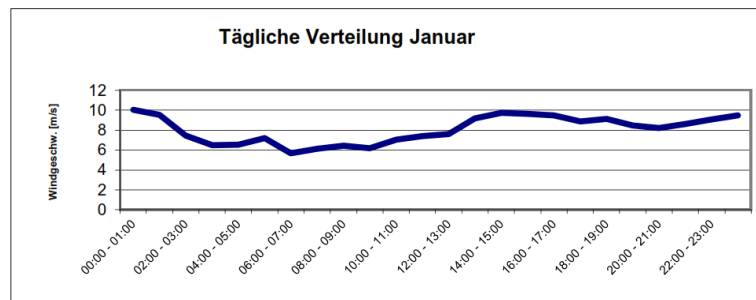
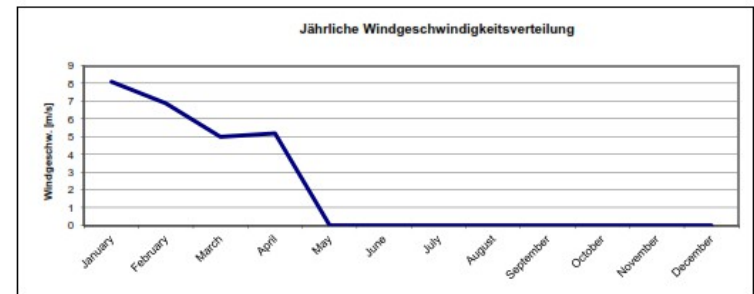
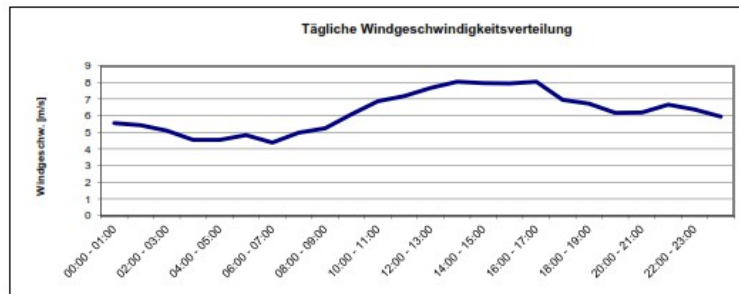
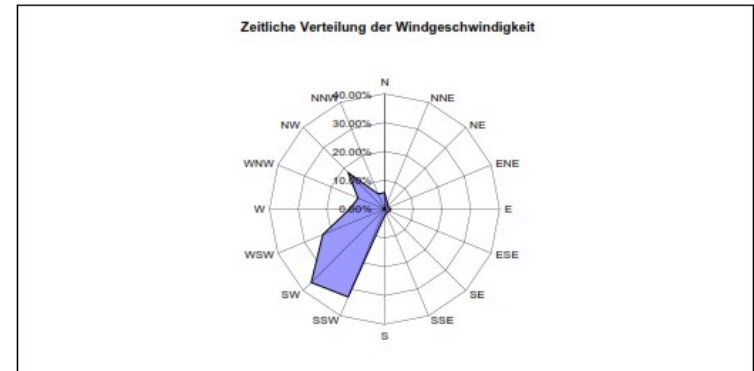
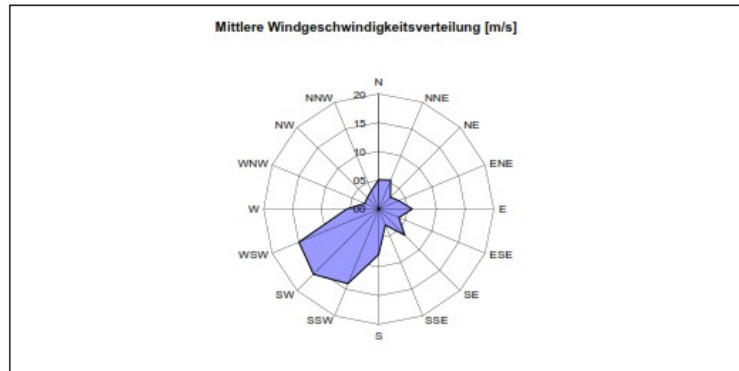
Mittlere Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe [m/s] 8.10

Häufigkeitsverteilung Anemometer 1

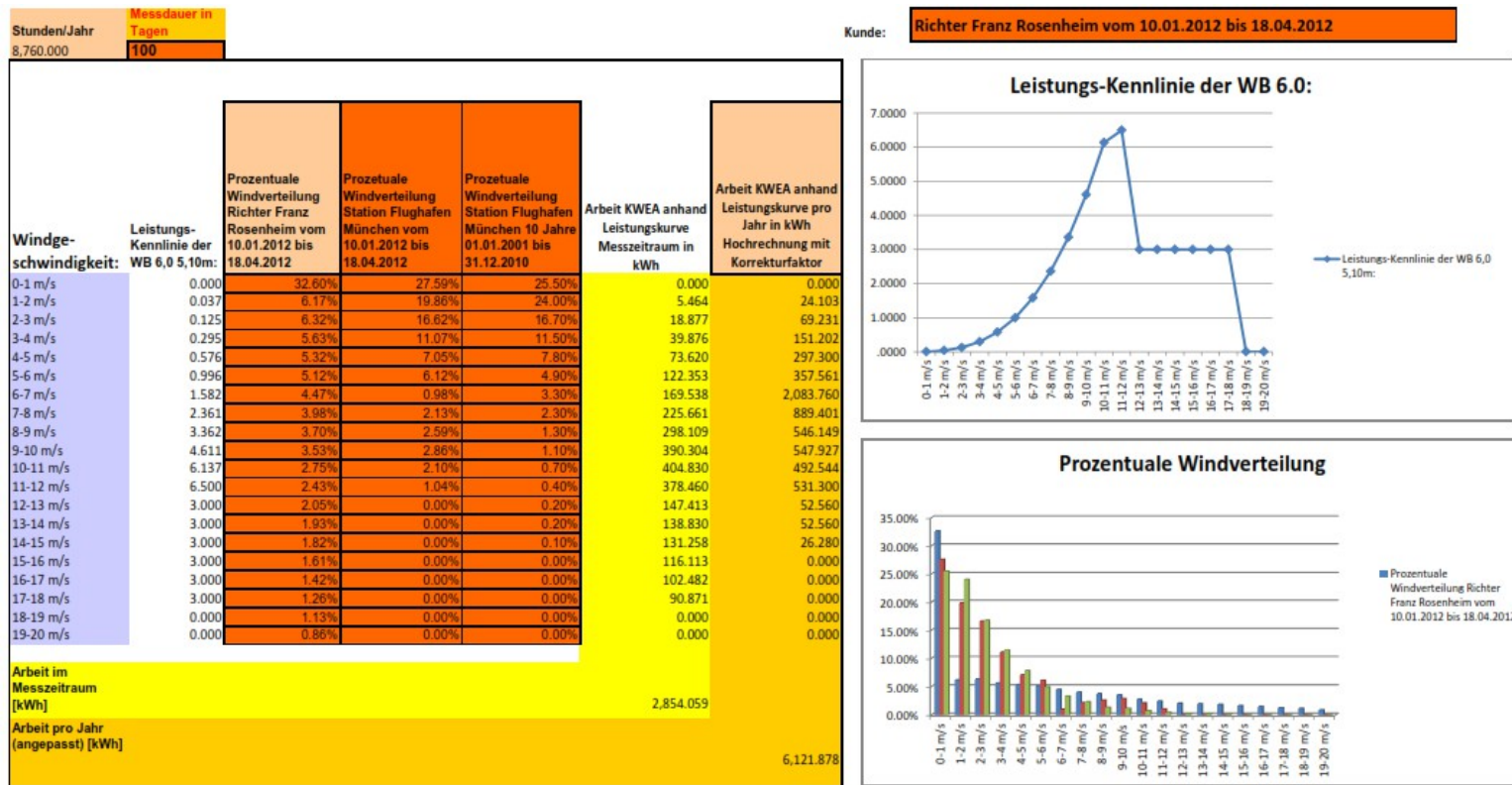


Häufigkeitsverteilung Anemometer 2





Ertragsberechnung auf Basis historischer standortspezifischer Winddaten



Ertrag in EUR / Jahr

Ersparnis Euro/ kWh
Erstattung Euro/ kWh

0.230 1,408.03 bei Eigennutzung
0.089 546.68 bei Einspeisung



WINDKRAFT

3. Wirtschaftlichkeit



WINDKRAFT

Jahr	Ertrag	Instandh.	jährlicher	kumulierter
	Einspeisung	Kosten	Ertrag	Ertrag
0	183,33 €	0,00 €	183,33 €	183,33 €
1	214,00 €	0,00 €	214,00 €	397,33 €
2	228,98 €	-200,00 €	28,98 €	426,31 €
3	245,01 €	-200,00 €	45,01 €	471,32 €
4	262,16 €	-200,00 €	62,16 €	533,48 €
5	280,51 €	-200,00 €	80,51 €	613,99 €
6	300,15 €	-200,00 €	100,15 €	714,14 €
7	321,16 €	-200,00 €	121,16 €	835,29 €
8	343,64 €	-200,00 €	143,64 €	978,93 €
9	367,69 €	-200,00 €	167,69 €	1.146,62 €
10	393,43 €	-200,00 €	193,43 €	1.340,05 €
11	420,97 €	-200,00 €	220,97 €	1.561,02 €
12	450,44 €	-200,00 €	250,44 €	1.811,46 €
13	481,97 €	-200,00 €	281,97 €	2.093,43 €
14	515,71 €	-200,00 €	315,71 €	2.409,14 €
15	551,81 €	-200,00 €	351,81 €	2.760,94 €
16	590,43 €	-200,00 €	390,43 €	3.151,38 €
17	631,76 €	-200,00 €	431,76 €	3.583,14 €
18	675,99 €	-200,00 €	475,99 €	4.059,13 €
19	723,31 €	-200,00 €	523,31 €	4.582,43 €
20	773,94 €	-200,00 €	573,94 €	5.156,37 €
21	828,11 €	-200,00 €	628,11 €	5.784,48 €
22	886,08 €	-200,00 €	686,08 €	6.470,56 €
23	948,11 €	-200,00 €	748,11 €	7.218,67 €
24	1.014,47 €	-200,00 €	814,47 €	8.033,14 €
25	1.085,49 €	-200,00 €	885,49 €	8.918,63 €

Ertragsprognosenberechnung AC 1002 NE

Anlagenkosten in (€):	4.352,00 €
Nebenkosten (Mast, Montage usw.) in (€):	4.000,00 €
Anlagenkosten incl. Nebenkosten in (€):	8.352,00 €
Energieertrag in (kWh) Jahresertrag	1000
Stromkosten in (€/kWh):	0,2
Strompreiserhöhung in (%):	7,00%
finanziertes Kapital in (%):	0,00%
Eigenkapital in (€):	8.352,00 €
Darlehensbetrag in (€):	0,00 €
Zinssatz in (%):	0
Darlehenslaufzeit in (Jahren):	0
Monate bis zur Inbetriebnahme:	1
Instandhaltungskosten in (€/a):	200
Haben Zinsen in (%):	0,00%
Soll Zinsen in (%):	0,00%



WINDKRAFT

Jahr	Ertrag	Instandh.	jährlicher	kumulierter
	Einspeisung	Kosten	Ertrag	Ertrag
0	770,00 €	0,00 €	770,00 €	770,00 €
1	890,40 €	0,00 €	890,40 €	1.660,40 €
2	943,82 €	-200,00 €	743,82 €	2.404,22 €
3	1.000,45 €	-200,00 €	800,45 €	3.204,68 €
4	1.060,48 €	-200,00 €	860,48 €	4.065,16 €
5	1.124,11 €	-200,00 €	924,11 €	4.989,27 €
6	1.191,56 €	-200,00 €	991,56 €	5.980,82 €
7	1.263,05 €	-200,00 €	1.063,05 €	7.043,87 €
8	1.338,83 €	-200,00 €	1.138,83 €	8.182,71 €
9	1.419,16 €	-200,00 €	1.219,16 €	9.401,87 €
10	1.504,31 €	-200,00 €	1.304,31 €	10.706,18 €
11	1.594,57 €	-200,00 €	1.394,57 €	12.100,75 €
12	1.690,25 €	-200,00 €	1.490,25 €	13.591,00 €
13	1.791,66 €	-200,00 €	1.591,66 €	15.182,66 €
14	1.899,16 €	-200,00 €	1.699,16 €	16.881,81 €
15	2.013,11 €	-200,00 €	1.813,11 €	18.694,92 €
16	2.133,90 €	-200,00 €	1.933,90 €	20.628,82 €
17	2.261,93 €	-200,00 €	2.061,93 €	22.690,75 €
18	2.397,64 €	-200,00 €	2.197,64 €	24.888,39 €
19	2.541,50 €	-200,00 €	2.341,50 €	27.229,90 €
20	2.693,99 €	-200,00 €	2.493,99 €	29.723,89 €
21	2.855,63 €	-200,00 €	2.655,63 €	32.379,52 €
22	3.026,97 €	-200,00 €	2.826,97 €	35.206,50 €
23	3.208,59 €	-200,00 €	3.008,59 €	38.215,08 €
24	3.401,11 €	-200,00 €	3.201,11 €	41.416,19 €
25	3.605,17 €	-200,00 €	3.405,17 €	44.821,36 €

Ertragsprognosenberechnung WB 6.0

return of invest:

Anlagenkosten in (€):	13.710,20 €
Nebenkosten (Mast, Montage usw.) in (€):	9.000,00 €
Anlagenkosten incl. Nebenkosten in (€):	22.710,20 €
Energieertrag in (kWh) Jahresertrag	4000
Stromkosten in (€/kWh):	0,21
Strompreiserhöhung in (%):	6,00%
finanziertes Kapital in (%):	0,00%
Eigenkapital in (€):	22.710,20 €
Darlehensbetrag in (€):	0,00 €
Zinssatz in (%):	0
Darlehenslaufzeit in (Jahren):	0
Monate bis zur Inbetriebnahme:	1
Instandhaltungskosten in (€/a):	200
Haben Zinsen in (%):	0,00%
Soll Zinsen in (%):	0,00%



WINDKRAFT

Jahr	Ertrag Einspeisung	Instandh. Kosten	jährlicher Ertrag	kumulierter Ertrag
0	1.251,25 €	0,00 €	1.251,25 €	1.251,25 €
1	1.446,90 €	0,00 €	1.446,90 €	2.698,15 €
2	1.533,71 €	-200,00 €	1.333,71 €	4.031,86 €
3	1.625,74 €	-200,00 €	1.425,74 €	5.457,60 €
4	1.723,28 €	-200,00 €	1.523,28 €	6.980,88 €
5	1.826,68 €	-200,00 €	1.626,68 €	8.607,56 €
6	1.936,28 €	-200,00 €	1.736,28 €	10.343,84 €
7	2.052,46 €	-200,00 €	1.852,46 €	12.196,29 €
8	2.175,60 €	-200,00 €	1.975,60 €	14.171,90 €
9	2.306,14 €	-200,00 €	2.106,14 €	16.278,04 €
10	2.444,51 €	-200,00 €	2.244,51 €	18.522,54 €
11	2.591,18 €	-200,00 €	2.391,18 €	20.913,72 €
12	2.746,65 €	-200,00 €	2.546,65 €	23.460,37 €
13	2.911,45 €	-200,00 €	2.711,45 €	26.171,81 €
14	3.086,13 €	-200,00 €	2.886,13 €	29.057,95 €
15	3.271,30 €	-200,00 €	3.071,30 €	32.129,25 €
16	3.467,58 €	-200,00 €	3.267,58 €	35.396,83 €
17	3.675,63 €	-200,00 €	3.475,63 €	38.872,47 €
18	3.896,17 €	-200,00 €	3.696,17 €	42.568,64 €
19	4.129,94 €	-200,00 €	3.929,94 €	46.498,58 €
20	4.377,74 €	-200,00 €	4.177,74 €	50.676,32 €
21	4.640,40 €	-200,00 €	4.440,40 €	55.116,73 €
22	4.918,83 €	-200,00 €	4.718,83 €	59.835,55 €
23	5.213,96 €	-200,00 €	5.013,96 €	64.849,51 €
24	5.526,80 €	-200,00 €	5.326,80 €	70.176,31 €
25	5.858,40 €	-200,00 €	5.658,40 €	75.834,71 €

Ertragsprognosenberechnung WB 6.0

return of invest

Anlagenkosten in (€):	13.710,20 €
Nebenkosten (Mast, Montage usw.) in (€):	12.000,00 €
Anlagenkosten incl. Nebenkosten in (€):	25.710,20 €
Energieertrag in (kWh) Jahresertrag	6500
Stromkosten in (€/kWh):	0,21
Strompreiserhöhung in (%):	6,00%
finanziertes Kapital in (%):	0,00%
Eigenkapital in (€):	25.710,20 €
Darlehensbetrag in (€):	0,00 €
Zinssatz in (%):	0
Darlehenslaufzeit in (Jahren):	0
Monate bis zur Inbetriebnahme:	1
Instandhaltungskosten in (€/a):	200
Haben Zinsen in (%):	0,00%
Soll Zinsen in (%):	0,00%



Die WB 6.0 kW produziert
in Dänemark (Hobro)
bei 21 m Nabenhöhe
ca. 11.000kWh / Jahr.

Die max. Einspeiseleistung
ist aber auf 6.0 kW begrenzt.



Im PLZ Gebiet 49-
21 m Nabenhöhe
ca. 6.500 kWh / Jahr je Anlage.

Aufgrund der positiven Ergebnisse
der ersten Anlage wurde eine
zweite montiert.



WINDKRAFT

Am Standort
Niederbayern – Isartal
Im Betrieb seit 09/2011
Voraussichtliche
Jahresleistung:
4.000 kWh





WINDKRAFT

4. Standortbeispiele



WINDKRAFT

Mastmontage Kleinwindkraftanlage





WINDKRAFT





WINDKRAFT





WINDKRAFT





WINDKRAFT



Copyright Wittenbauer Windkraft
2012



WINDKRAFT





WINDKRAFT

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.