



Windmessungen

Wissen für die Planung
eines (erfolgreichen) Windparks

Sven Johannsen

Geschäftsführer

ASGARD Group of Companies

weitere INFO im INTERNET:

www.windmessung.blogspot.de

Windmessungs-/Gutachterfirma

Due Diligence & Project Engineering

Standort

Schriesheim (Bergstraße)

Tätigkeit

Durchführen von Windmessungen für Gutachten
Beratung u. Vertrieb für „vertikale Windkraftanlagen“,
exklusiver Kooperationspartner eines Deutschen Herstellers



Windmessungen – Einstieg

Wofür erfolgen Windmessungen?

VOR der Errichtung eines Windparks
(Feststellung der Windertragsprognose und ob der Standort geeignet ist)

NACH der Errichtung eines Windparks
(Controllingfunktion, ob alle Komponenten korrekt arbeiten)

Warum meteorologische Windmessungen?

Hier werden besonders hohe Ansprüche an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messeinrichtungen gestellt.

Durch die individuellen topografischen Verhältnisse und deren Einfluss auf den Wind am Standort sind Messungen unabdingbar.

Windmessungen – Einstieg

Wie lang sind die Zeiträume für Windmessungen?

TÜV SÜD verweist auf FGW Teil 6
(FGW e.V. = Fördergesellschaft Windenergie
und andere Erneuerbare Energien)

Wie lang sind die Zeiträume für Windmessungen?

- Der Messzeitraum sollte 1 Jahr nicht unterschreiten!
- Die oberste Messhöhe sollte zwei Drittel der (geplanten) Nabenhöhe nicht unterschreiten!

Windmessungen – Einstieg

Messsystem: Techniken

SODAR (Sound Detecting And Ranging)
= akustisches Fernmessverfahren



Sven Johannsen, 2. Dezember 2013

Windmessungen – Einstieg

Messsystem: Techniken

LIDAR (Light detection and ranging)
= Fernmessung mit Laserstrahlen



Sven Johannsen, 2. Dezember 2013

Windmessungen – Einstieg

Messsystem: Techniken

Anemometer (Windmesser)

= versch. Instrumente zur Windmessung



Windmessungen – Einstieg

Typische Komponenten eines Mast-Mess-Systems

Datenlogger

= für Speicherung der gemessenen Daten

Vertikal + Horizontale Schalenkreuz-Anemometer, u. Ultraschall-Anemometer (+ evtl. zusätzlich Lidar-/Sodargeräte)

= verwendete Messinstrumente für Turbulenz-
& Windhäufigkeits- + Geschwindigkeitsmessung

Barometer

= Messung des Luftdrucks

Hygro-Thermosensor

= Messung der Luftfeuchtigkeit

Probleme beim Messen

Verwendung unkalibrierter Messgeräte

Nur nach internationalen und nationalen Standards kalibrierte Geräte können zuverlässige und aussagekräftige Ergebnisse bei Windmessungen des Windparks liefern. Unkalibrierte Geräte sind hier nicht verwendbar.

Windmessungen – Einstieg

Probleme beim Messen

ACHTUNG!

Für die Anforderungen an eine Wettervorhersage sind unkalibrierte Geräte vollkommen ausreichend, jedoch NICHT für Windertragsaussagen u. Gutachten!

Probleme beim Messen

z.B. bei Wahl der falschen Masthöhe, oder einer Montage der Messinstrumente im Windschatten des Mastes...

ERGEBNIS:

Daten von falsch montierten Anemometern sind nicht verwendbar – Verfälschungen der Messergebnisse sind unvermeidbar.

Windmessung - Einstieg

Beispiel einer **problembehafteten** Messung !

Anemometer liegt hier im Teil-Windschatten des Messmastes !

3. Messebene

2. Messebene

1. Messebene

(... liegt im Höhenbereich der Bäume im direkten Umfeld und wird daher **NICHT** brauchbare Messwerte liefern!)

Hauptwindrichtungsanströmung aus: SSW und WSW

Windrichtungsgeber / Windfahne

... zudem wurden hier wohl **KEINE** hochwertigen THIES-Anemometer eingesetzt und die **Mess-Fehlertoleranz** dieser Einheit dürfte deutlich über 1% liegen!

Probleme beim Messen

Manuelle Messungen ohne Mast (z.B.: alleinig nur mittels LIDAR & SODAR)

Akkurate Daten können NUR mit Hilfe einer Mastmessung ermittelt werden. Mastlose Messungen dürfen nur ergänzend und stichprobenartig erfolgen. Rein mastlos erfolgte Messungen haben KEINE Aussagekraft und dürfen nicht ausschließlich bei der Windprognose berücksichtigt werden.

Probleme beim Messen

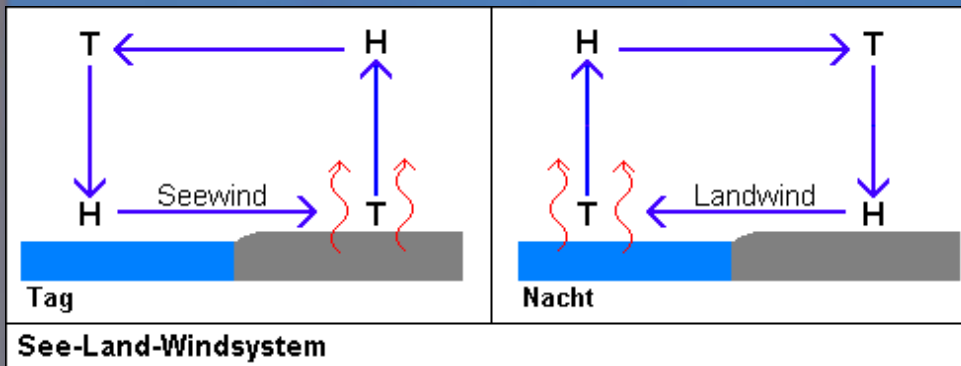
Zu kurze Messzeiträume

Aufgrund witterungsbedingter Schwankungen* im Windaufkommen kann nur mit einer Langzeitmessung eine aussagekräftige Windprognose erstellt werden.

* z.B. durch Windstille, Böen und Turbulenzen

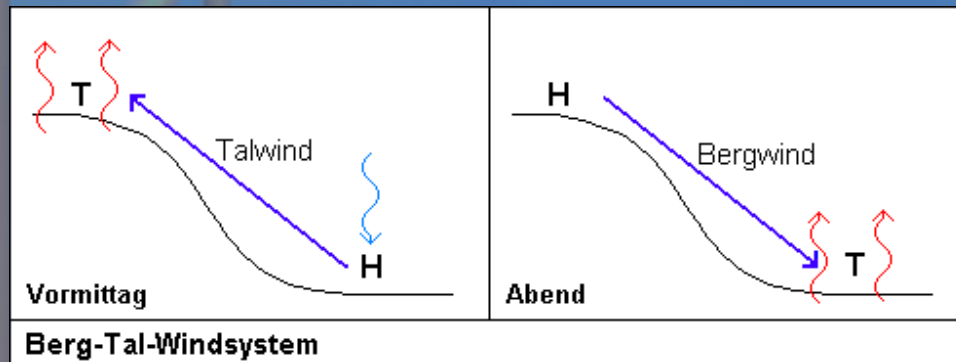
Das globale Windaufkommen wird überlagert von lokalen Effekten und Windsystemen

Beispiele lokaler Windsysteme



Entstehung

- See-Land-Windsystem
- Schnelle Erwärmung des Landes bei Tag
- Lokales Tief (Seewind)
- Umkehrung bei Nacht (Landwind)



- Berg-Tal-Windsystem
- Bessere Erwärmung der Bergflanken
- Lokales Tief (Talwind)
- Umkehrung am Abend (Bergwind)

Die individuelle Wahrnehmung von Wind ist sehr subjektiv und von der jeweiligen Situation abhängig...


Windstärken in verschiedenen Einheiten

Beaufort Skala	Staudruck	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Bezeichnung
#	ca. Kp/m ²	m/s	km/h	mph	Knoten	Deutsch
0	0,0	< 0,2	< 1	< 1	< 1	Stille
1	< 0,1	0,3 bis 1,5	1 bis 5	1 bis 3	1 bis 3	schwacher Wind
2	0,2 bis 0,6	1,6 bis 3,3	6 bis 11	4 bis 7	4 bis 6	schwacher Wind
3	0,7 bis 1,8	3,4 bis 5,4	12 bis 19	8 bis 12	7 bis 10	schwacher Wind
4	1,9 bis 3,9	5,5 bis 7,9	20 bis 28	13 bis 18	11 bis 15	mäßiger Wind
5	4 bis 6	8,0 bis 10,7	29 bis 38	19 bis 24	16 bis 21	frischer Wind
6	7 bis 11	10,8 bis 13,8	39 bis 49	25 bis 31	22 bis 27	starker Wind
7	12 bis 17	13,9 bis 17,1	50 bis 61	32 bis 38	28 bis 33	starker Wind
8	18 bis 26	17,2 bis 20,7	62 bis 74	39 bis 47	34 bis 40	Sturm
9	27 bis 36	20,8 bis 24,4	75 bis 88	47 bis 54	41 bis 47	Sturm
10	37 bis 50	24,5 bis 28,4	89 bis 102	55 bis 63	48 bis 55	schwerer Sturm
11	51 bis 67	28,5 bis 32,6	103 bis 117	64 bis 72	56 bis 63	orkanartiger Sturm
12	> 67	> 32,6	> 117	> 72	> 63	Orkan

mph: Windgeschwindigkeit in Landmeilen pro Stunde (1 Meile = 1.609m)

Knoten: Windgeschwindigkeit in See-Meilen pro Stunde (1 Meile = 1.852m)

Staudruck: Druck des Windes pro m² (ebene Fläche, senkrecht zum Wind)



Beispiel der Birkenauer Windmessung „Im Stenges“

die wir für die ortsansässige BI dort i.A.
durchgeführt hatten ...

Windmessungen – „Im Stenges“

Zeitraum

Beginn der 1. Messungen:

16. November 2012

Dauer der Messungen: über 8 Monate

Beginn der 2., teils parallelen Messungen (60 m Mast):

16. März 2013

Dauer der 2. Messungen: 3 Monate

Windmessungen – „Im Stenges“

Zeitraum

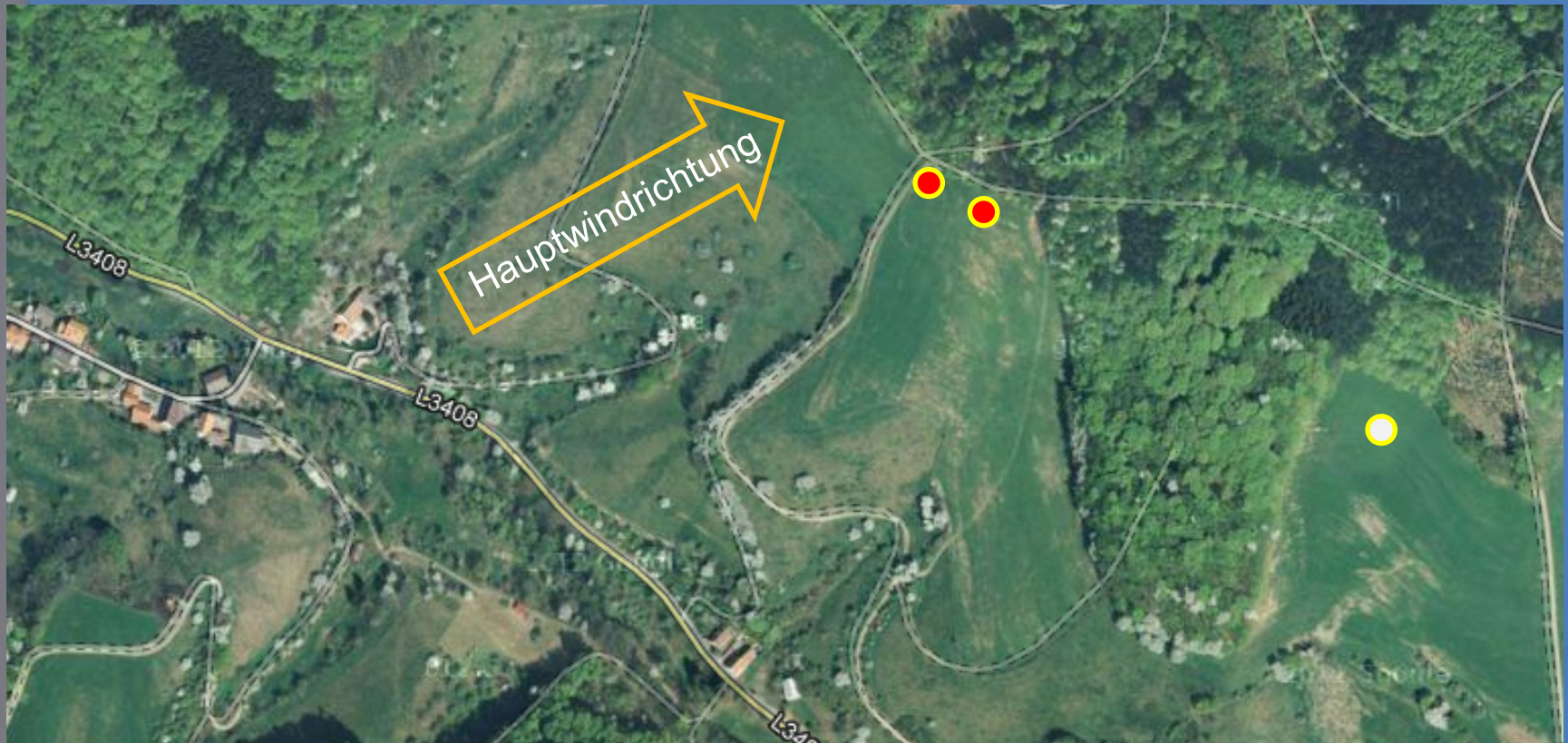
Warum Beginn im November?

Um die durchschnittlich windstärksten Monate eines Jahres abbilden zu können.

Zwei Drittel der Windenergie stehen im Durchschnitt im Winterhalbjahr zur Verfügung und nur ein Drittel im Sommerhalbjahr.

Windmessungen – „Im Stenges“

Standort der Messungen



Sven Johannsen, 2. Dezember 2013

Windmessungen – „Im Stenges“



Sven Johannsen, 2. Dezember 2013

Windmessungen – „Im Stenges“

Wie wurde gemessen?

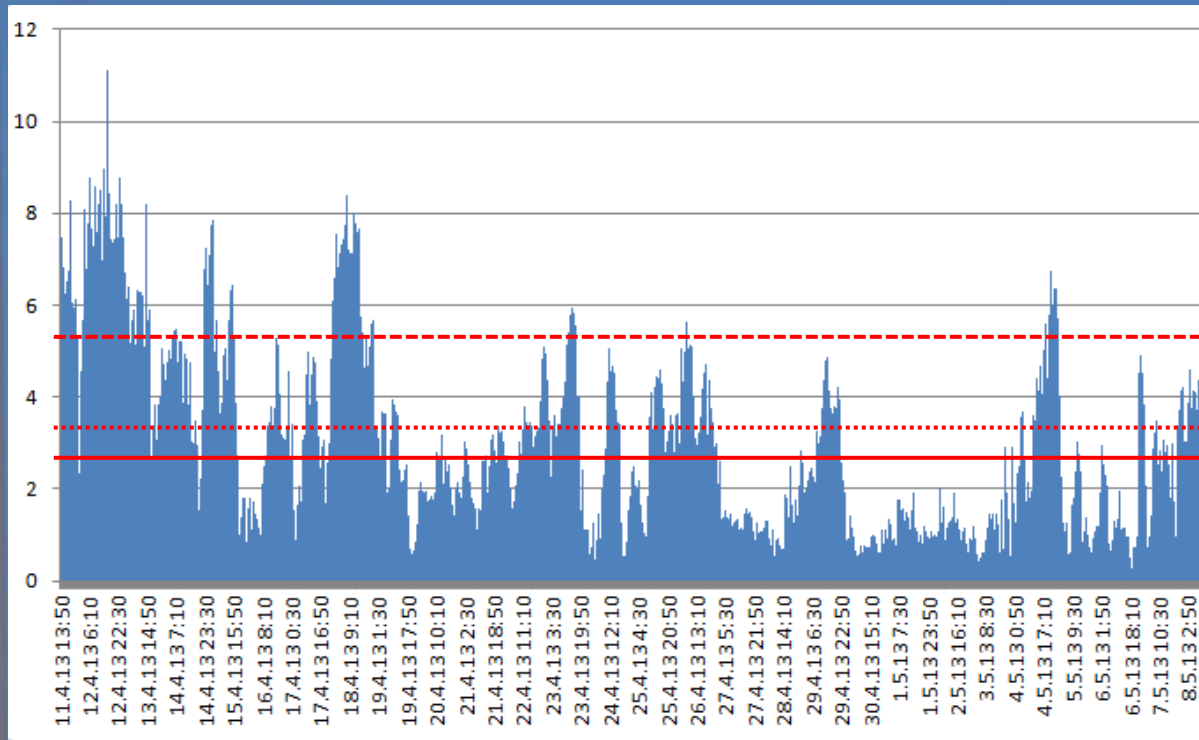
- 20 Meter hoher Messmast mit **Thies First Class** Messgeräten Thies Aneometer und Thies Windrichtungsgeber. Weiterhin wird noch der Luftdruck gemessen.
- 60 Meter hoher Messmast mit Thies First Class Messgeräten Thies Aneometer und zusätzlichem Vertikalaneometer zur Turbulenzen-Aufzeichnung!
- Mittelwertbildung der 10-Sekunden-Werte alle 10 Minuten.

Wie wurde gemessen?

- Referenzmessung am 02.01.2013 mit LIDAR Messgerät zum verifizieren der 20 m Mast-Hochrechnung auf 150 Meter und einer weiteren Turbulenzmessung.
- Referenzmessung ab dem 16.03.2013 mit einen „zusätzlichen“ 60 m Messmast zur weiteren Verifizierung der 20 m Mast-Messergebnisse

Windmessungen – „Im Stenges“

Beispiel der Messwerte



- Linie - - - - -
= notwendige
Geschwindigkeit*
- Linie
= hochgerechnete
Geschwindigkeit*
in Nabenhöhe
- Linie ———
= gemessene
Geschwindigkeit*

*Durchschnitt

Windmessungen – „Im Stenges“

Bisherige Messwerte

Messwert (auf 60 Meter Höhe):

3,29 m/s

in Nabenhöhe (108 Meter) Hochrechnung

(nach Weibull und WaSP): 3,66 m/s

ACHTUNG:

Mittlere Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe < 5,5 m/s gelten in Fachkreisen als unrentabel.

Windmessungen – „Im Stenges“

Ergebnis der Hochrechnung

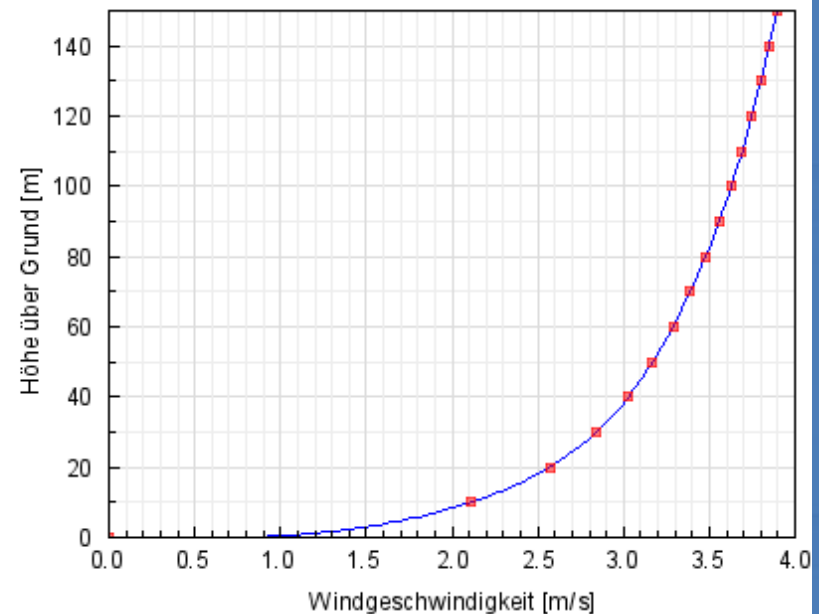
Rauhigkeitslänge z_0 (siehe Tabelle weiter unten)

0.4 m

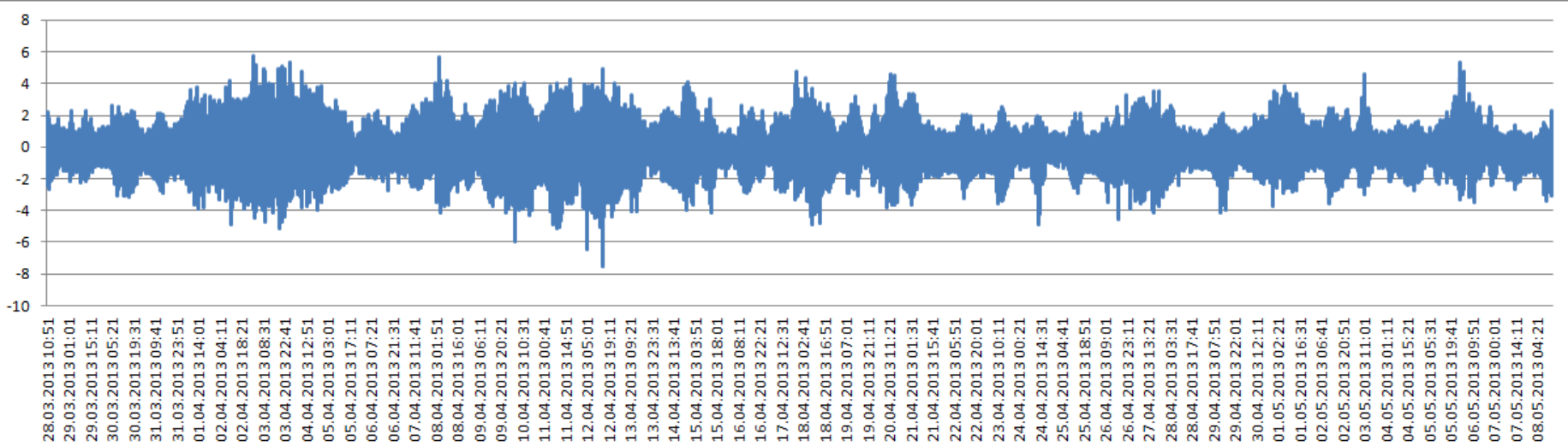
Resultat

Höhe über Grund	Windgeschwindigkeit
150 m	3.89 m/s
140 m	3.85 m/s
130 m	3.80 m/s
120 m	3.75 m/s
110 m	3.69 m/s
100 m	3.63 m/s
90 m	3.56 m/s
80 m	3.48 m/s
70 m	3.39 m/s
60 m	3.29 m/s
50 m	3.17 m/s
40 m	3.03 m/s
30 m	2.84 m/s
20 m	2.57 m/s
10 m	2.11 m/s

Vertikales Profil der Windgeschwindigkeit

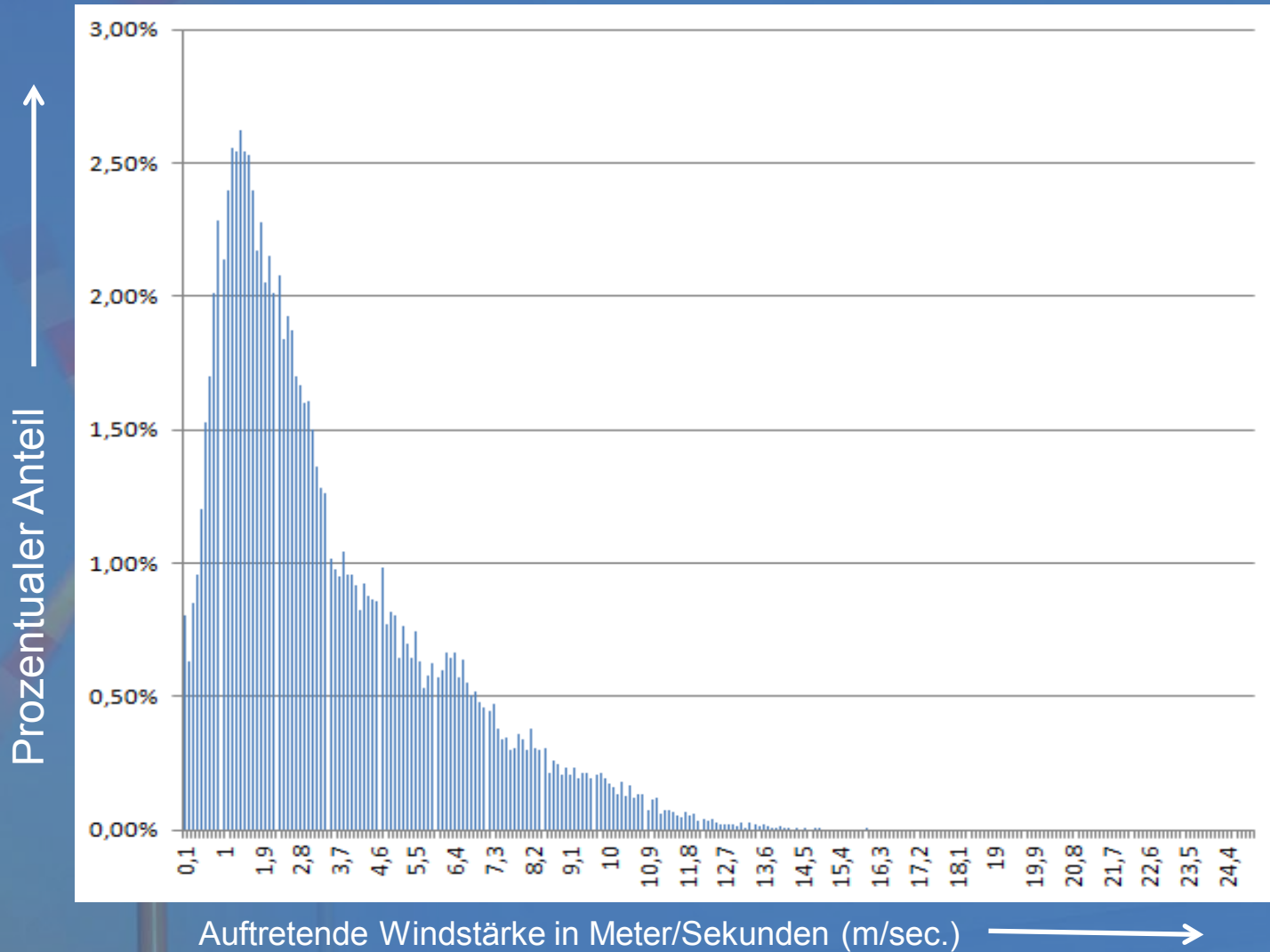


Gemessene Turbulenzen in 50 m Höhe, am 60 Mast



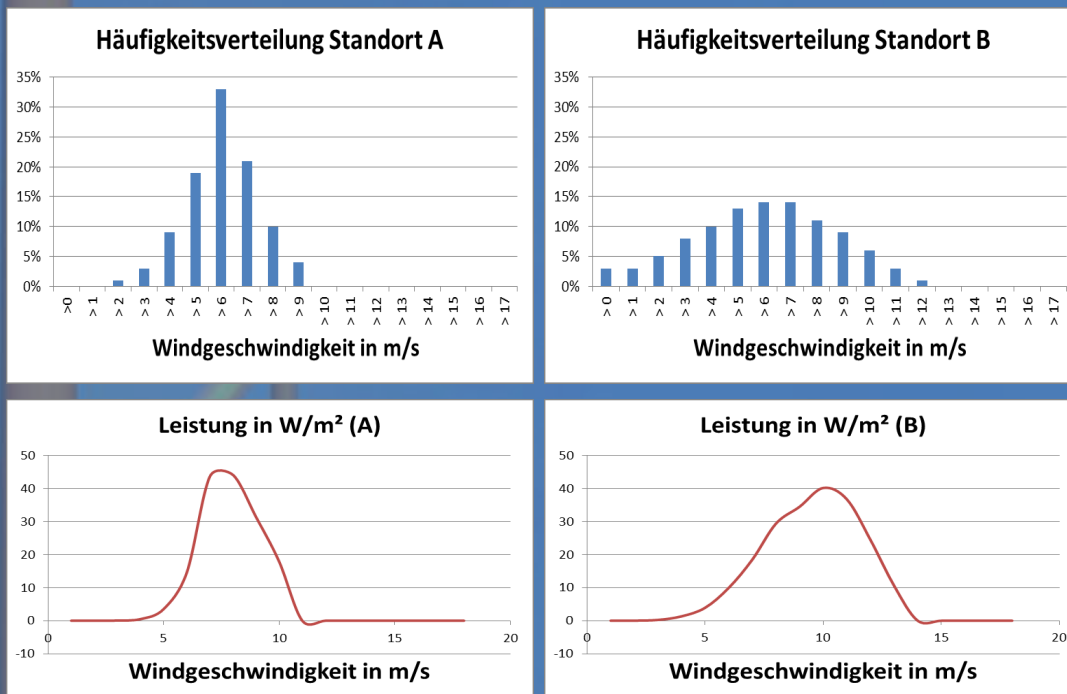
- Häufig auftretende Turbulenzen an einem Standort, schmälern merklich die Effektivität (Stromernte)! (negativer Einfluss / „Häufigkeitsverteilung“)
- Fundamente müssen evtl. stärker (größer) WKA-seitig ausgelegt werden.
- Haltbarkeit der Anlage (Dauer) geht i.d.R. stark zurück.
- Mit erhöhtem Wartungsaufkommen ist zu rechnen.

Wind-Häufigkeitsverteilung in % – „Im Stenges“



Nur auf Basis einer "Häufigkeitsverteilung" (des Windes) kann eine korrekte Leistungsprognose der geplanten Anlage erfolgen

Am Beispiel, eines Windmittelwertes von: 6 m/s



Auswertung

- Beide Standorte haben 6 m/s
- Unterschiedliche Häufigkeitsverteilung
- Standort A: Leistung = 155 W/m²
- Standort B: Leistung = 210 W/m²
- Mittelwerte deshalb nur bedingt aussagekräftig
- Die Weibull-Funktion gibt diese Häufigkeitsverteilung wieder
- $f_{Weibull}(v) = \frac{k}{a} \cdot \left(\frac{v}{a}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{a}\right)^k\right)$
→ Parameter k und a sind Standortabhängig

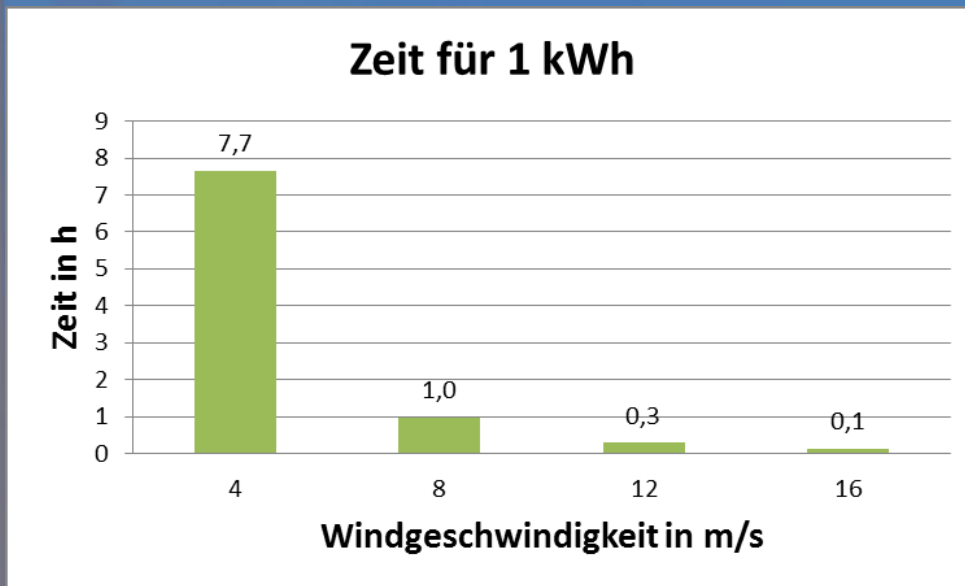
Legende: v: Windgeschwindigkeit
k: Formparameter
a: Scale-Paramet

Die Häufigkeitsverteilung, in Birkenau, „im Stenges“ entspricht dem Standortbeispiel A

Unterschiedliche Zeitbedarfe zur Erzeugung einer kWh Strom aufgrund der in der “dritten Potenz” in die Berechnung eingehenden Windgeschwindigkeit

Vergleich verschiedener Windgeschwindigkeiten

Auswertung



- Annahme: WKA hat einen Wirkungsgrad von 30 %
- Bei 4 m/s braucht man ca. 8 h für 1 kWh
- Bei 8 m/s braucht man ca. 1 h für 1 kWh
- Der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Energiegewinnung ist enorm
- Deswegen ist es wichtig eine Häufigkeitsverteilung für den Standort zu erstellen

Windmessungen – „Im Stenges“

Zusätzlicher Datenabgleich

- a) Mit den Messdaten (online für jedermann verfügbar) der meteorologischen Messstation des „Schütze Kreuz“ (der Paragliders/Buchklingen). Hier gibt es eine 97%-ige Übereinstimmung ...
- b) Mit den Messdaten (ebenfalls online für jedermann verfügbar) der meteorologischen Messstation des **Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie** in Fürth (Odw.). Hier liegen offizielle Windmessergebnisse aus einer Höhe über NN von 484 m, seit 1989 vor! Wir haben hier mal die Daten parallel zum Birkenauer 20 m Mast-Messzeitraum ausgewertet, die dann bei 2,4 m/s. im Schnitt hier liegen! Also zu 100% identisch mit unseren Messwerten sind !!!
- c) Mit uns vorliegenden 3 Jahres-Messdaten einer privaten meteorologischen Messstation in Mörlenbach, mit einem 30 m Mast auf 340 m über NN, die ebenfalls nahezu identisch mit den Messdaten „im Stenges“ höhenumgerechnet, korrespondieren.

Windmessungen – „Im Stenges“

Leistungskurve der WKA

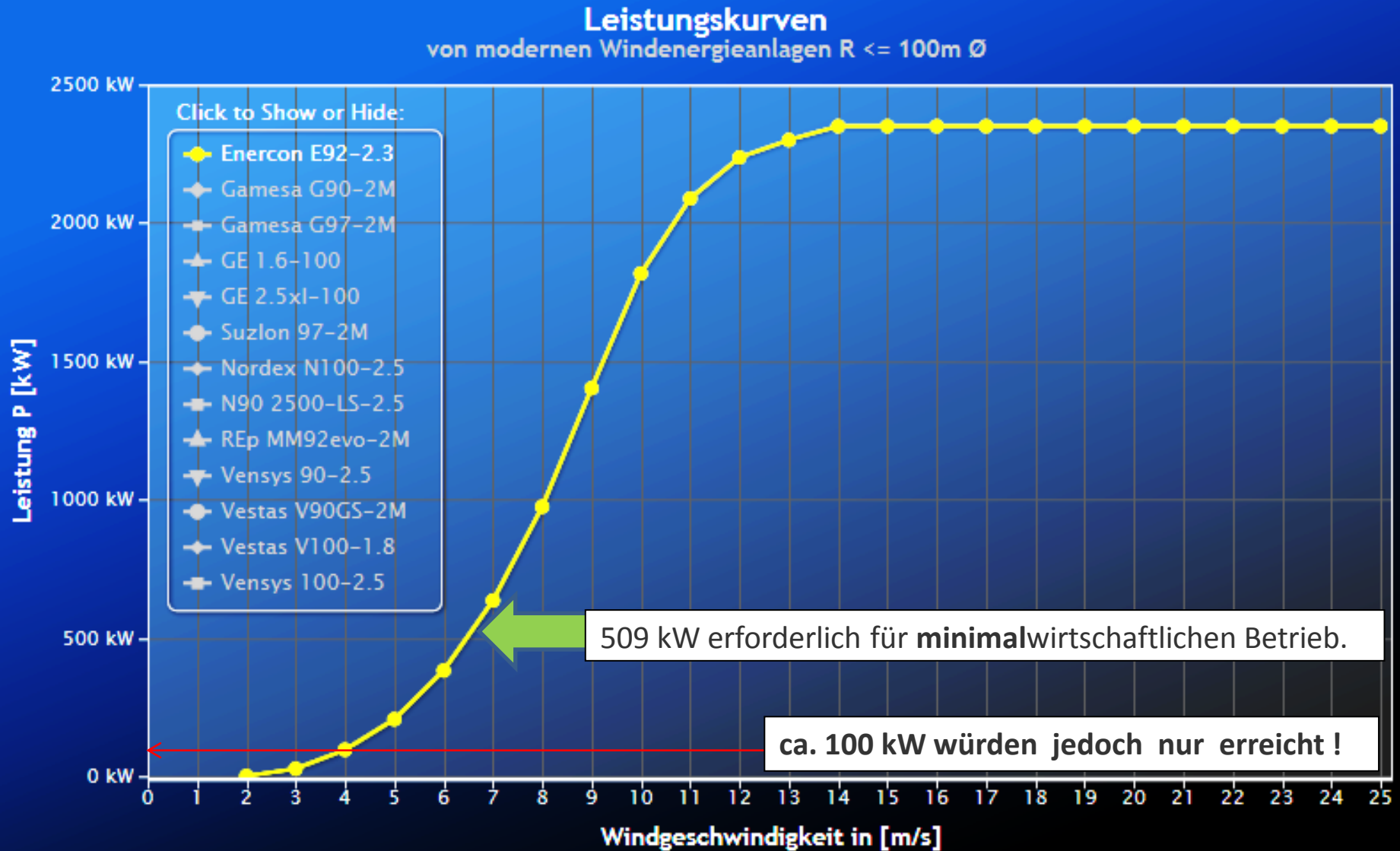
Annahme:

Windpark mit Anlagen der Marke Enercon E92

Anlagen diesen Typs laufen erst mit einer Windgeschwindigkeit von circa 3 m/s an.

Der bisher gemessene Durchschnittswert für 108 m Höhe, beträgt 3,66 m/s.

Windmessungen – „Im Stenges“



Windmessungen – „Im Stenges“

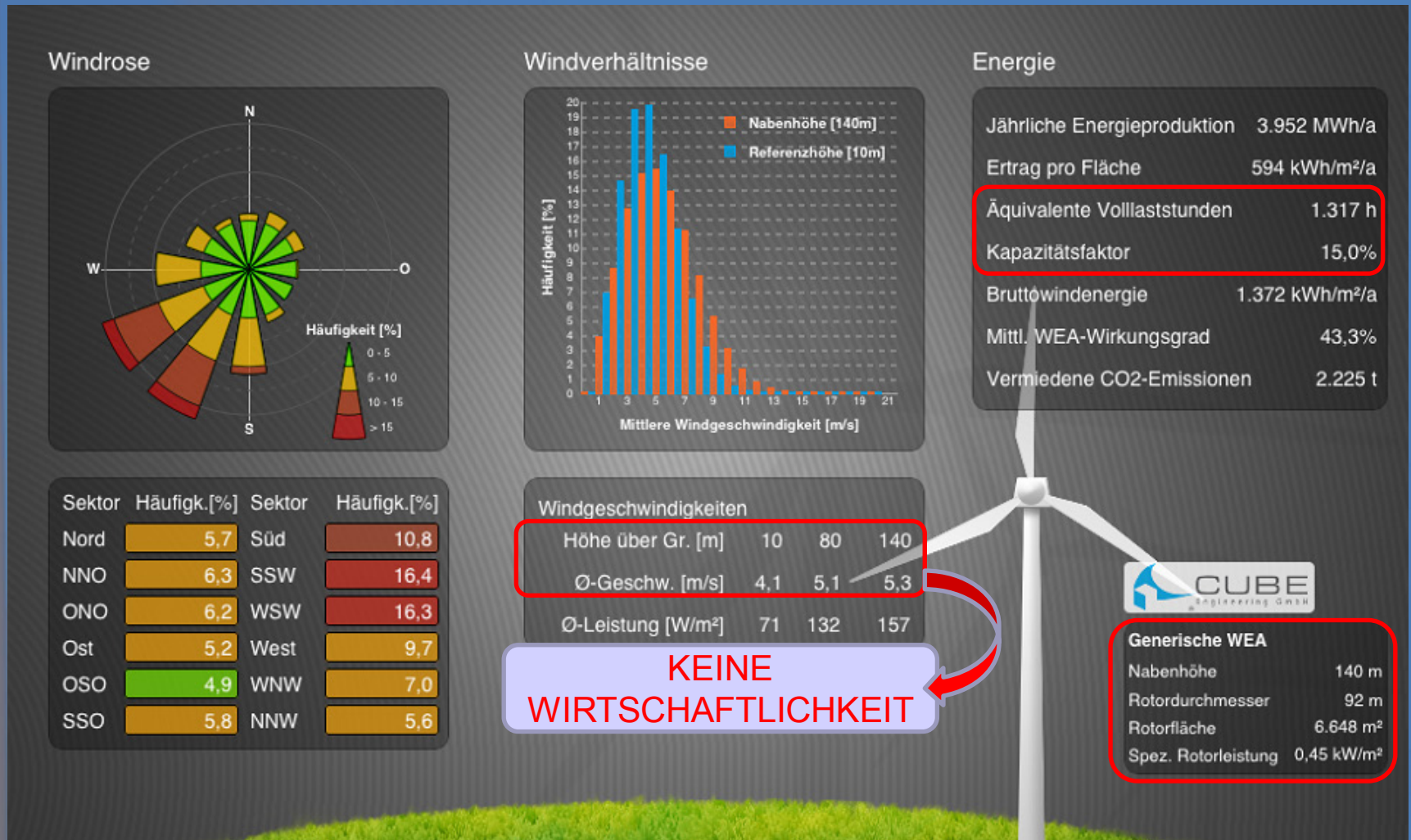
Leistungskurve der WKA

Damit wäre eine solche Turbine, im Durchschnitt nur zu etwa 4,11 Prozent ihrer möglichen Kapazität ausgelastet.

Das bedeutet, dass KEIN wirtschaftlicher Ertrag möglich ist!

Alleine der Eigenstromverbrauch einer Enercon WKA, für die Transformatorenstation, Leitungsverluste, die Rotoren/Turbinenkopfsteuerung u. Flügelstellmotoren, etc. würde zudem einen hohen prozentualen Anteil dieses so geringen Stromertrages, noch einmal wieder reduzieren !!!

Unser Ergebnis: per PROGNOSE-Vorabcheck, mit **CUBE** Windfinder-Programm „Ihres“ Windpark-Planungsgebietes ...



geplante WKA (WEA) ... Standorte

