www.braun-windturbinen.com

BRAUN Windturbinen GmbH • Südstraße 19 • 57583 Nauroth

Lasten auf den Mast nach DIN EN 61400-2[1]

Für Kleinwindenergieanlage (KWEA) **Antaris 6,5 kW**

Hersteller
BRAUN Windturbinen GmbH
Südstraße 19
D-57583 Nauroth

Technische Daten

Tabelle 1: Technische Daten

Rotor		
Rotordurchmesser	5,3	m
Rotorfläche	22,1	m²
Anzahl Rotorblätter	3	
Drehrichtung	rechts	
Betriebsdrehzahlbereich	75 … 330	min^{-1}
maximale Rotordrehzahl	400	min^{-1}
Generator		
Nennleistung	7,5	kW
Maximalleistung	12,5	kW
Nennspannung	350	V_{AC}
Wirkungsgrad η	92	%
Mechanische Daten		
Masse komplett $m_{towertop}$	225	kg
Bemessungslebensdauer T_d	20	Jahre

Die Antaris KWEA ist für die Windklasse III nach der DIN EN 61400-2:2006 mit einer mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von v_{ave} = 7,5 m/s auf Nabenhöhe ausgelegt.
In der Windklasse III ist weiterhin eine Bezugswindgeschwindigkeit gemittelt über 10 Minuten v_{ref} = 37,5 m/s definiert.

Zusätzlich zu der zweistufigen generatorischen Bremsung auf Bremswiderstand und Generatorkurzschluss schwenkt der Rotor in eine Helikopterposition als Sturmsicherung. Damit sind 2 unabhängige Systeme vorhanden, eine Überdrehzahl des Rotors zu verhindern.

[1] In der derzeit noch gültigen 2. Edition von 2006, für das vereinfachte Lastmodell weitestgehend identisch mit der 3. Edition von Mai 2012, derzeit in deutscher Sprache nur als Entwurf verfügbar.

Lasten auf den Mast

Vereinfachtes Lastmodell

Es wird das vereinfachte Lastmodell nach DIN EN 61400-2 verwendet. Die Windenergieanlage erfüllt sämtliche Anforderungen, die für die Anwendung der einfachen, konservativen Gleichungen erforderlich sind.

- Horizontale Achse
- Propellerrotor mit zwei oder mehr Rotorblättern
- Freitragende Rotorblätter
- Starre Nabe
- Luv- oder Leerotor mit veränderlicher oder gleich bleibender Drehzahl
- Aktiver oder passiver Blatteinstellmechanismus, bzw. feste Blatteinstellung
- Nutzung der Möglichkeit, sich um eine vertikale, horizontale oder Zwischenachse, bzw. gar nicht aus dem Wind zu drehen

Tabelle 2: Eingabeparameter für das vereinfachte Lastmodell

Bemessungswert der Rotordrehzahl n_{design}	330	min^{-1}
Bemessungswert der Windgeschwindigkeit V_{design}	1,4 V_{ave} = 10,5	m/s
Bemessungswert des Wellendrehmomentes Q_{design}	236	Nm
größte Giergeschwindigkeit $\omega_{yaw,max}$ nach Gleichung (27)	2,8	rad/s
größte Rotordrehzahl n_{max}	400	min^{-1}
Bemessungsschnelllaufzahl λ_{design}	8,7	

Nachstehend werden die Lastfälle betrachtet, die für die Berechnung des Mastes relevant sind. Im Lastfall A werden Ermüdungslasten betrachtet, die anderen Lastfälle müssen nur gegen Bruch nachgewiesen werden.
Das Eigengewicht der Anlage muss ebenfalls vom Mast statisch getragen werden.

Lastfall A: Normalbetrieb

Im Normalbetrieb wird der Mast durch Ermüdungslasten beansprucht, die Lasten treten als schwellende Lasten mit hoher Zahl an Schwingspielen auf. Das Lastprofil ist nicht genau bekannt und die Häufigkeit stark von der Turbulenz der Windgeschwindigkeit am Standort abhängig. Es muss der Nachweis auf Dauerfestigkeit für die Bemessungswerte erbracht werden; das tatsächliche Lastprofil im Teillastbetrieb liegt dann deutlich unterhalb, daher kann der Sicherheitsbeiwert niedrig gewählt werden.
Rotorschub in Richtung der Rotorwelle im Bereich 0 … 1,22 kN und das Gegenmoment zum Wellendrehmoment von 0 … Q_{design}. Die tatsächliche Kraft für den Rotorschub wurde durch eine Messung ermittelt.
Der Mast darf keine kritischen Eigenfrequenzen im Betriebsdrehzahlbereich haben:
Durch Unwucht im gesamten Drehzahlbereich von 75 … 330 min^{-1} können Frequenzen von 1,25 … 5,5 Hz angeregt werden. Aufgrund der Rotorsymmetrie mit 3 Blättern werden durch aerodynamische Kräfte auch Frequenzen 3,75 bis 16,5 Hz angeregt.

BRAUN Windturbinen GmbH
Südstraße 19
57583 Nauroth
Deutschland

Telefon +49 (0)2747 / 930585
Telefax +49 (0)2747 / 914053
info@braun-windturbinen.com
www.braun-windturbinen.com

Bankverbindung
Voba Gebhardshain
BLZ 573 614 76
Konto 306 851
IBAN DE03 5736 1476 0000 3068 51
SWIFT-BIC GENODED1GBS

Geschäftsführerin
Manuela Ermert-Braun
USt.-ID-Nr. DE263195292

Amtsgericht Montabaur
HRB 21418

Lastfall B: Gierbewegung

Die Anlage verwendet ein passives Giersystem mit einem Gleitlager, durch das nur ein zu vernachlässigendes Drehmoment in den Mast eingeleitet wird.

Lastfall C: Gierfehler

Siehe Lastfall B.
Um Gierfehler zu vermeiden, wurde kein Stellmotor mit Getriebe und Windsensor verbaut. Ein Festfressen des Gleitlagers wurde in 20 Jahren Betriebserfahrung mit diesem Lagertyp nicht beobachtet, Lasten aufgrund eines Gierfehlers werden nicht berücksichtigt.

Lastfall D: Größter Schub

Bei hohen Windgeschwindigkeiten schwenkt der Rotor bis zu einem Winkel von 65° gegenüber der Horizontalen nach oben, wodurch sich die in den Wind ausgerichtet Fläche des Rotors stark reduziert.
Für die Berechnung des größten Rotorschubes ist nach Norm das 2,5fache des Jahresmittels der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe anzusetzen:

$$v_{hub} = 2{,}5 \cdot v_{ave}$$
$$v_{hub} = 18{,}75\, {}^{m}/_{s}$$

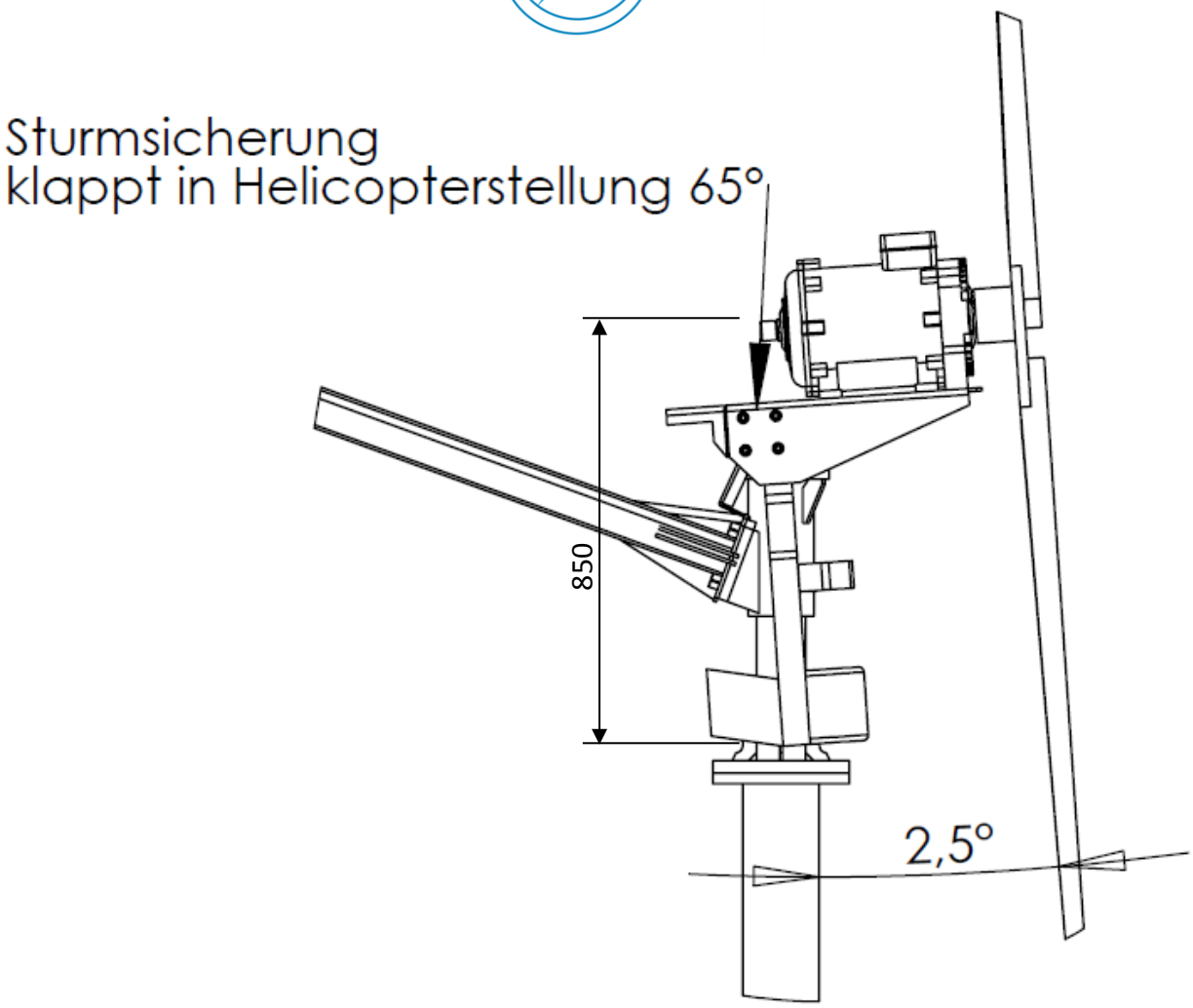
Der Rotor schwenkt bereits ab 12 m/s aus dem Wind, so dass der hier berechnete maximale Rotorschub in der Praxis nicht auftritt. Der Schwenkmechanismus kann nicht blockieren und arbeitet nur mit einem Gegengewicht. Als Endanschlag ist ein Dämpfer vorhanden.
Der maximale Schub nach Gleichung (32) vom Rotor ist der Staudruck des Rotors mit einem der Norm entnommenen Schubbeiwert $C_T = 0{,}5$.

$$F_{x-shaft} = C_T \cdot {}^{1}/_{2} \cdot \rho \cdot (2{,}5 \cdot V_{ave})^2 \cdot \pi \cdot R^2$$

Mit Luftdichte $\rho = 1{,}225\ kg/m^3$ ergibt sich eine maximale Kraft für den Schub vom Rotor in Richtung der Rotorwelle in Höhe von:

$$F_{x-shaft} = 2375\ N$$

Der maximale Rotorschub wird in Richtung der Rotorwelle in den Mast eingeleitet. Die Welle ist um 2,5° gegenüber der Horizontalen geneigt; der Abstand zum Flansch beträgt 850 mm.



Lastfall E: Größte Rotordrehzahl

Betrifft nur die Zentrifugalkraft am Rotorblattflansch und das Wellenbiegemoment aufgrund der Zentrifugalkraft und der Rotorunwucht.
Jeder Rotor wird statisch und dynamisch gewuchtet, die maximale Unwuchtmasse an jeder Blattspitze beträgt 2 g und ist damit für die Auslegung des Mastes vernachlässigbar. Jedes Blatt trägt eine Seriennummer, die im Prüfprotokoll dokumentiert ist.

Lastfall F: Kurzschluss am Lastanschluss

Das maximale Generatormoment beträgt nach Gleichung (35) $Q_{max} = 2 * Q_{design} = 472$ Nm.

Lastfall G: Abschaltung (Bremsen)

Identisch mit Lastfall F, da es keine zusätzliche mechanische Bremse gibt.

BRAUN Windturbinen GmbH
Südstraße 19
57583 Nauroth
Deutschland

Telefon +49 (0)2747 / 930585
Telefax +49 (0)2747 / 914053
info@braun-windturbinen.com
www.braun-windturbinen.com

Bankverbindung
Voba Gebhardshain
BLZ 573 614 76
Konto 306 851
IBAN DE03 5736 1476 0000 3068 51
SWIFT-BIC GENODED1GBS

Geschäftsführerin
Manuela Ermert-Braun
USt.-ID-Nr. DE263195292

Amtsgericht Montabaur
HRB 21418

Lastfall H: Extreme Windlast

Bei extremer Windgeschwindigkeit mit einer Auftretenshäufigkeit von 50 Jahren wird die Anlage nach dem Aus-dem-Wind-drehen durch den Endanschlag in dieser Position dem Wind ausgesetzt. Die 50-Jahres-Böe ist nach Gleichung (10) V_{e50}=1,4V_{ref} = 52,5 m/s. Die projizierte Fläche eines Blattes in dieser 65° Position beträgt $A_{proj,B}$ = cos 65° * 2,6 m*0,17 m = 0,187 m². Nach Gleichung (42) kann die Schubkraft des drehenden Rotors mit

$$F_{x-shaft} = 0{,}17 \cdot B \cdot A_{proj,B} \cdot \lambda_{e50}^2 \cdot V_{e50}^2$$

berechnet werden; dabei ist B die Anzahl der Blätter und λ_{e50} = 2,1 die Schnelllaufzahl bei maximaler Rotordrehzahl.

$$F_{x-shaft} = 1170\ N$$

Die projizierte gesamte Fläche der Gondelverkleidung und des Maschinenträgers wird mit 0,4 * 0,6 m² angesetzt; der Kraftbeiwert C_f wird mit 0,7 gewählt. Damit ist die Kraft auf die Gondel nach Gleichung (44):

$$F_{Gondel} = C_f\ {}^1/_2\, \rho V_{e50}^2 A_{proj}$$

$$F_{Gondel} = 284\ N$$

Die kombinierte Last aus Rotorschub und der Kraft auf die Gondel beträgt 1454 N, es wird angenommen, dass diese in horizontaler Ebene auf die Mastspitze wirkt.

Lastfall I: Windlast in Parkstellung, größte Windangriffsfläche

Dieser Lastfall bezieht sich auf den Ausfall des Giermechanismus. Wie für Lastfall C beschrieben ist ein Ausfall des Giermechanismus nicht wahrscheinlich.

Lastfall J: Transport, Montage, Instandhaltung und Reparatur

Die Anlage wird mit einem Kran errichtet; das Rohr des Mastes wird daher nur durch dessen Eigengewicht belastet. Ein weiterer Nachweis ist nicht erforderlich.