

Abregelung mit Doppelfahne und Furl-System mit Federrückstellung

1 Windfahnen und Fahnenarme

Gegeben: Rotor-D 4,10m Rotorfläche A= 13,2 m²

Nach Prof. Crome aus dem Gedächtnis: Hauptwindfahne 10%A; Seitenfahne 5%A

Da er bei seinen [Kukate-Anlagen](#) bei der A-Berechnung den freien Innenteil ab zieht reduziere ich für meinen Vollrotor auf 8% bzw. 4%.

Hauptwindfahne 8%A=1m²; Seitenfahne 4%A=0,52m². Jeweils die Wurzel (für quadratische Flächen): 1m bzw. 0,7m.

Dafür folgender Entwurf:

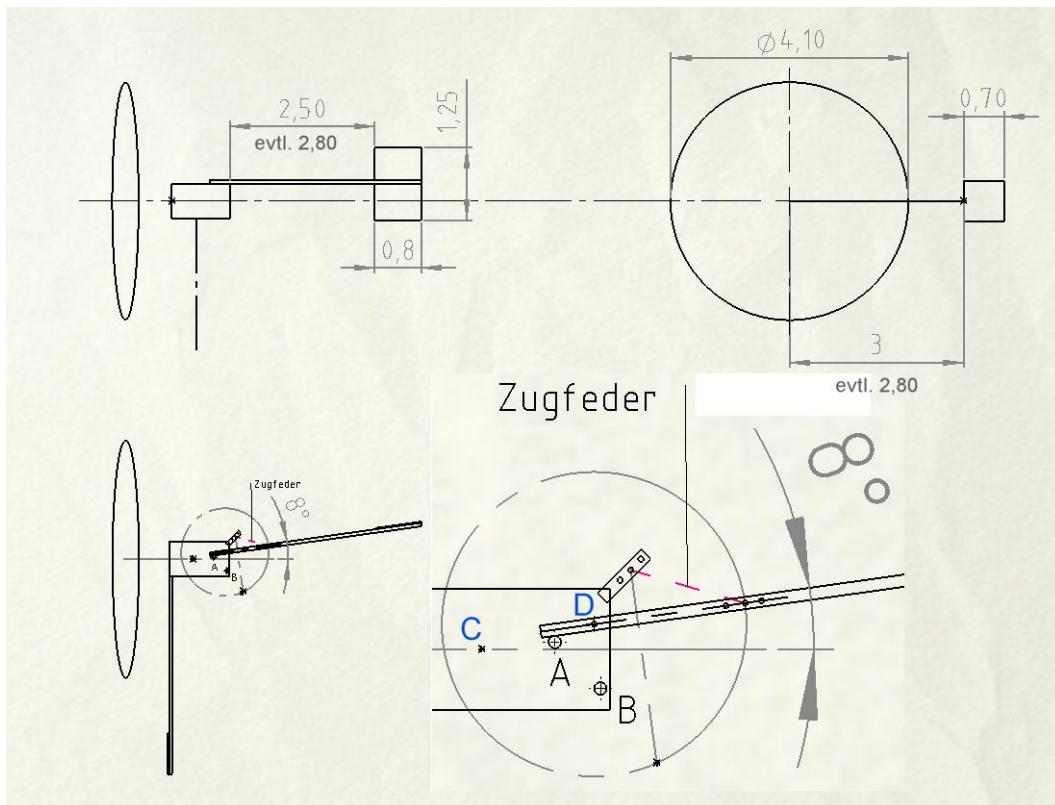


Abbildung 1 Entwurf

A und B sind Anschläge, C und D Gelenke.

Aufgabe: Leistungsdeckelung bei 8 m/s, dafür Beginn der Abregelung bei 7 m/s

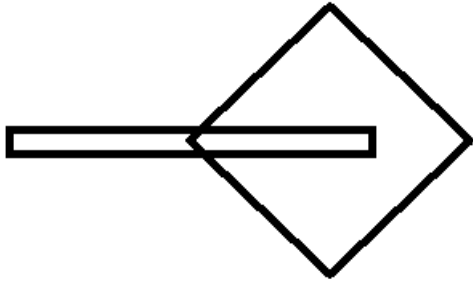
Widerstandskraft der Seitenfahne bei 7 m/s:

$$F_s = \rho \cdot C_w \cdot v^2 \cdot A \quad \text{mit } C_w=1,2 \quad 1,25/2 \cdot 1,2 \cdot 49 \cdot 0,5 = \underline{18,4N}$$

Das ist nicht viel, aber mit Hebellänge 3,15m (Maß 2,8m) ergibt sich ein Drehmoment M_s von 58Nm

Da nicht mehr bekannt, welche Längenverhältnisse Crome für den Arm der Hauptwindfahne angesetzt hat, hier zunächst Nachrechnung, ob Hauptwindfahne bei 7 m/s 58Nm stand hält:

Obwohl mehr hoch als breit wirksamer ist, (Es ist eine Auftriebsfläche!) empfehle ich bei quadratischer Form der Hauptfahne eine solche Anordnung:



Hat Vorteile bezüglich der Randwirbel.

$$F_h = \rho/2 \cdot C_a \cdot v^2 \cdot A \quad \text{mit } C_a \text{ bei } 8^\circ = 0,65 \quad 1,25/2 \cdot 0,65 \cdot 49 \cdot 1 = \underline{19,9N}$$

Mindestlänge Hauptfahne (von Schwenkpunkt C bis Mitte Hauptwindfahne):

$$L_h = 58Nm/19,9N = \underline{2,9m}$$

Dürfte das Maß 2,5m in Abb. 1 also genügen.

Und schon habe ich gedanklich ein Problem: Ansich herrscht an der Hauptwindfahne nur $1/3 v$, da der Wind durch die Wirkung des Rotors um $2/3$ vermindert wird. Aber dann würde die Windfahne oder der Fahnenarm exorbitant groß werden. Also geht hier Erfahrungswert vor Theorie und es bleibt bei 8% Rotorfläche.

Die Hauptwindfahne muss aber immer mit ca. 8 bis 10° Anstellwinkel im Wind stehen, auch dann, wenn das Furl-System wirksam wird!

2 Auswahl der Rückstellfeder vom Furl-System

Dazu eine erweiterte Entwurfskizze:

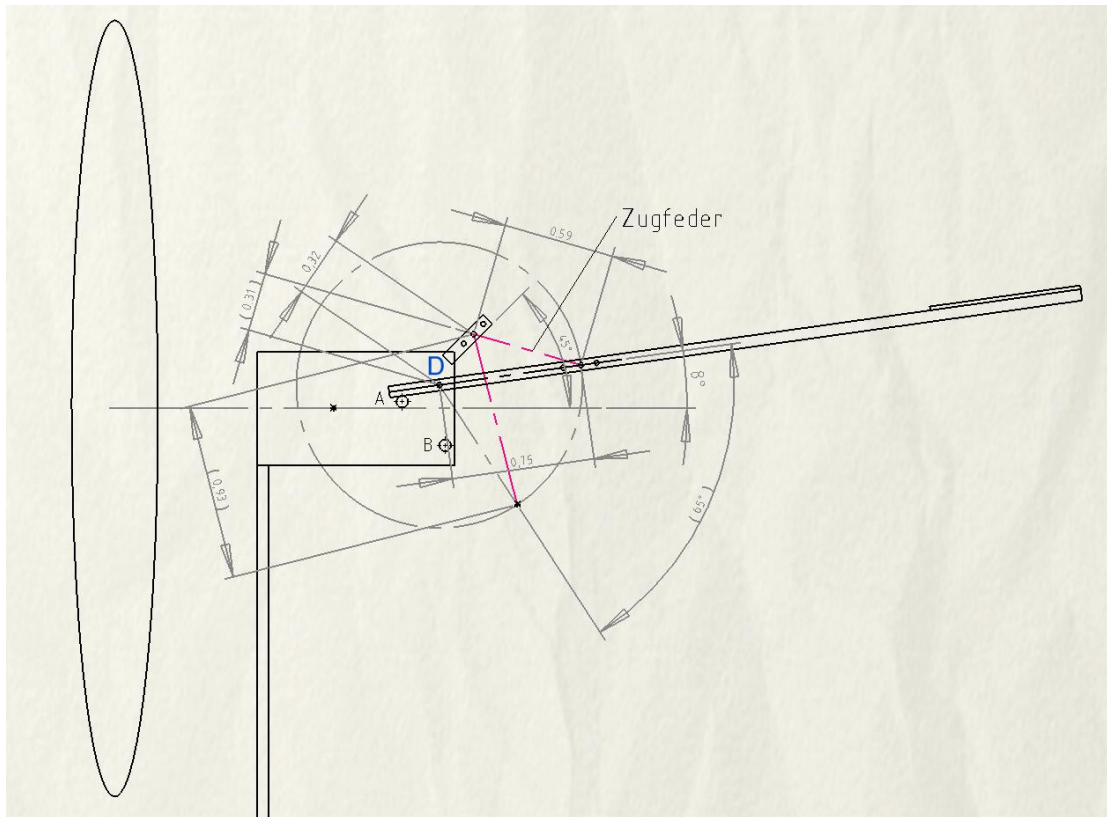


Abbildung 2

Ziel:

Bewegungsbeginn der Hauptwindfahne um Drehpunkt D beim ausgerechneten Drehmoment der Seitenfahne M_s von 58 Nm, s. Kapitel 1. Also $M_h = M_s$

Drehmoment ist allgemein Kraft mal Hebelarm senkrecht zur Wirkrichtung. Hier also Anfangskraft der eingespannten Zugfeder F_1 mal 0,31m.

$$F_1 = M_s / 0,31m = 58 \text{ Nm} / 0,31m = \underline{187 \text{ N}}$$

Andererseits darf die Feder bei Schwenkwinkel 65° (mehr wird nicht benötigt) nicht mehr als die sog. Prüflänge ausgezogen werden.

Diesen Kriterien kommt bei www.febratec.de nur eine Feder sehr nahe, die [0T43370](#) (Das erste Zeichen ist eine Null, da aus NIRO)

Ist ziemlich groß und da aus NIRO auch teuer. Dafür kann sie mit weniger als 20 Kilo ausgezogen mit der Hand eingesetzt werden.

Weiter in der Berechnung:

Vorspannung: 68,5N lt. Datenblatt
 $187\text{N} - 68,5\text{N} = 118,5\text{N}$

$$c = 0,7 \text{ N/mm} \quad C = F/s \quad s = F/c = 118,5\text{N} / (0,7\text{N/mm}) = 169\text{mm}$$

Um diese Länge muss sie für 187N ausgezogen werden.

$169\text{mm} + 377\text{mm} (L_0) = 546\text{mm}$. Derzeit in Zeichnung 590mm.

Muss also angepasst werden.

Ausgezogen sollte sie auch nicht mehr als auf Prüflänge 921mm. Derzeit 930mm.
Auch das gehört korrigiert.

Daher ein leicht veränderter Entwurf:

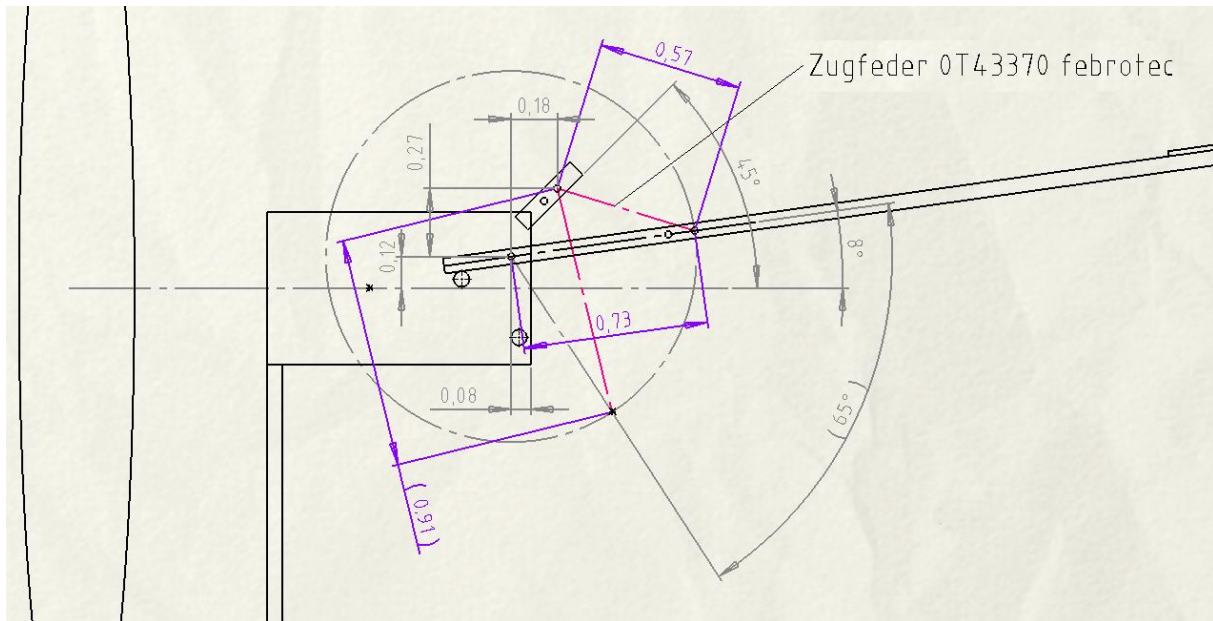


Abbildung 3

Nach Reduzierung des Maßes 0,75 auf 0,73 hat sich die Einspannlänge bereits auf 570 mm verkürzt. Bei weiterer Reduzierung, z.B. Verwendung des inneren Rastloches auf dem Fahnenarm, sollte es dann annähernd passen.

Die Auszuglänge wäre dann sogar unter der Prüflänge. Könnte der Fahnenarm notfalls sogar voll bis zum Anschlag ausschlagen.

3 Test und Feinabstimmung

Z.B. mit einer solchen [Zugwaage](#) kann man das Schwenkmoment des Furl-systems überprüfen.

Bei 58 Nm wären das 5,8 Kilo auf 1m, letzterer gemessen ab Schwenkgelenk D s. Abb. 1.

Dieser Test wird am Besten vor genommen, bevor weder Rotor noch Generator noch Windfahnen montiert sind.

Ob die Leistung hier tatsächlich bei 8 m/s gedeckelt wird, dass muss allerdings im Wind getestet werden und die Federspannung ggf. angepasst.

In Betrieb muss sich dann stets der Rotor zur Seite weg schwenken. Die Windfahne aber muss stramm im Wind stehen bleiben, verdreht gerade mal mit dem Anstellwinkel, also in Größenordnung von 10°.

4 Optionale Erzeugung des Schwenkmoments über Rotorschub und Offset

4.1 Rotorschub

Anstatt der Lösung mit Seitenfahne kann auch so etwas vor gesehen werden. Dafür muss der Rotorschub oder zumindest der Schubbeiwert am Besten mit QBlade simuliert werden:

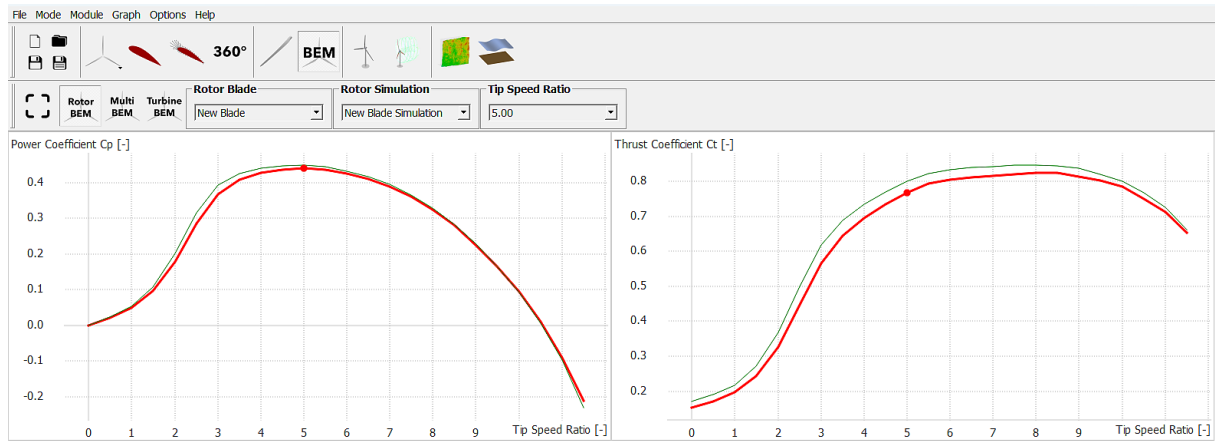


Abbildung 4 Q-Blade BEM-Simulation

$S = \rho / 2 \cdot C_t \cdot v^2 \cdot A$ mit C_t bei $TSR_{opt.} = 0,77$ $v = 7$ m/s und $A = 13,2$ m² ergibt sich

$$S = 311 \text{ N}$$

Mit der Gleichung aus folgender [Quelle](#) ergibt sich in Kilo Folgendes:

„Turbine Thrust = Diameter² * WindSpeed² / 24“ also:

$$S' = 4,1^2 \cdot 7^2 / 24 = 34,3 \text{ Kilo, etwa } 343 \text{ N} \quad \text{Das ist auch noch verwendbar.}$$

Allerdings ist der Schubkoeffizient und damit der Schub eines Rotors abhängig vom Belastungszustand, was sich in der momentanen TSR widerspiegeln würde. Bei einfachen Lademaschinen mag die TSR bei höheren Winden hier nur zwischen 2 und 4 liegen, der Schub also geringer sein.

Das kann die Gleichung aus theBackSheed.com nicht abbilden. Auch nicht, dass Rotoren i.A. in Nabennähe nicht oder nur spärlich mit Blattfläche versehen sind.

4.2 Offset

Schwenkmoment = Schubkraft * Offset

$$M_s = S \cdot e$$

$$e = M_s / S \quad \text{hier: } e = 58 \text{ Nm} / 311 \text{ N} = 0,186 \text{ m}$$

So weit also müsste die Rotorachse hier neben der Schwenkachse der Gondel liegen, wenn die Wirkung der Seitenfahne durch den Rotorschub ersetzt werden soll.

Sieht gewiss moderner aus, ist aber abhängig vom Belastungszustand des Rotors, wie schon erwähnt.