

Gegenüber den von mir im Jahre 2009 gemachten Äußerungen zum Darrieus-Prinzip¹ gibt es inzwischen folgende Änderungen und Ergänzungen.

1. Das Wichtigste vorweg

Während in älteren Quellen die Schnelllaufzahl λ (engl. TSR) mit 5 als optimal angegeben wird, sind nach neueren -zumindest Simulationen- die besten C_p bei etwa $\lambda=2,75$ zu erwarten,². Dabei besteht allerdings zumindest bei Kleinanlagen die Gefahr, dass der Strömungs-Abrisswinkel gerade an der dem Wind am meisten zugewandten Position (im Bild 1 die untere) nominal bei jedem Umlauf überschritten wird. Die Strömung reißt trotzdem nicht ab, da sie dafür eine gewisse Zeit braucht. Diese ist aber nicht gegeben, da sich das Blatt rechtzeitig weiter gedreht hat. So zumindest die Theorie.

2. Erzeugung von Auftrieb und Drehmoment

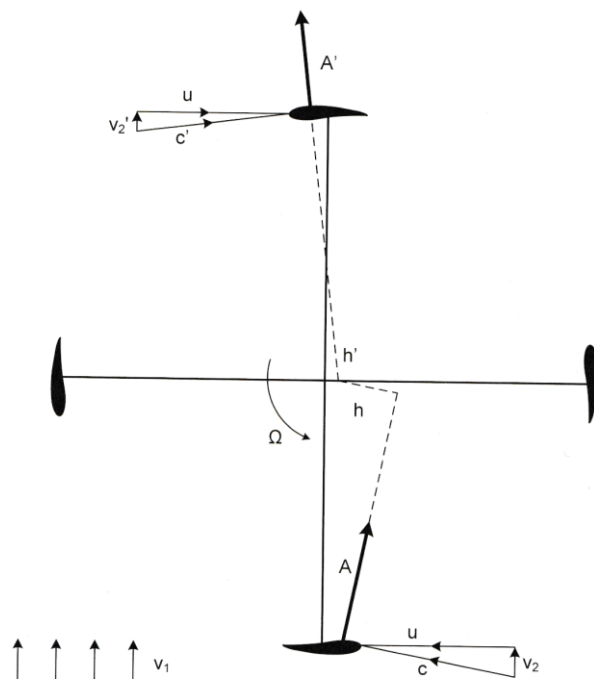


Bild 2-25 Antriebsprinzip des Darrieusrotors

Bild 1³

v_1 ist der wahre Wind, v_2 und v_2' die angenommenen Anteile jeweils in Luv- und Lee-Halbkreis. A bzw. A' der jeweilige Auftrieb, senkrecht zur zugehörigen Anströmung c bzw. c' . Der jeweilige Hebelarm ist h bzw. h' , die Umfangsgeschwindigkeit u . U/v_1 wäre die TSR.

Die größten Auftriebskräfte gibt es also, wenn der wahre Wind nahezu senkrecht auf das Profil trifft. (In Wahrheit wahrscheinlich mit geringfügiger Teilkomponente von Hinten, wie bei Segelbooten, „Raumer Wind“).

Durch Blattmontage näher zum Druckpunkt hin wird auch dem Lee-Flügel ermöglicht, mehr an der Drehmomententwicklung teil zu haben, auf Kosten des Luv-Flügels dann.

Schematische [Darstellung der Anströmungen und Kräfte am Blatt in 6 ausgewählten Positionen auf dem Laufkreis](#), neuzeitig insbes. Bild 4

¹ http://www.angeo-privat.gmxhome.de/Windkraft/Darrieus_X.pdf

² Näheres im Bild 5

³ Quelle: Gasch/Twele, Windkraftanlagen, 7.Auflage

3. Simulation ausgewählter Profile

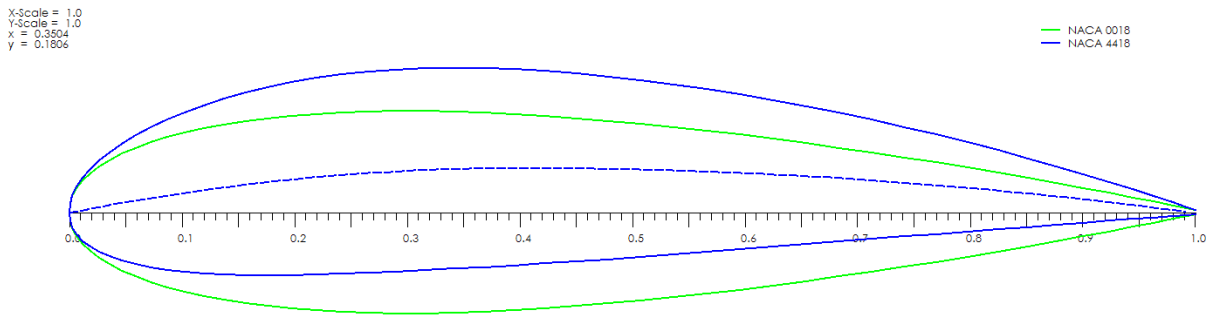


Bild 2 Die wohl gebräuchlichsten Darrieus-Profile

Persönlich habe ich erlebt, dass ein 3-kW-Darrieus nach Bild 6a mit Profil ähnlich NACA 0018 sehr überzeugend angelaufen und auch weiter gelaufen ist. Auch gab es eine wissenschaftliche Untersuchung im Netz, bei der quasiasymmetrische Profile am besten abgeschnitten haben. Ob real oder nur simuliert, wurde allerdings nicht ganz klar. Dennoch wären wir damit bezüglich Profil wieder bei den historischen Wurzeln des Darrieus.

NACA 4418 wird mit der Wölbung zum Drehzentrum hin verwendet⁴. D.h. man konzentriert sich auf das Abernten des Luv-Halbkreis und hofft, dass es widerstandsarm durch den Lee-Halbkreis wandert. Der Gewinn im Luv-Halbkreis müsste also größer sein als der Verlust in Lee, was aber zumindest nach Simulation nicht ganz zutrifft, s. Bild 5.

Im folgenden Simulationsergebnisse mittels QBlade v0.96, die alle einen Fehler haben müssen. Es wird für den linearen Luftstrahl simuliert. Der Darrieus-Flügel bewegt sich aber auf einer Kreisbahn. Das kann aerodynamisch nicht das Selbe sein!

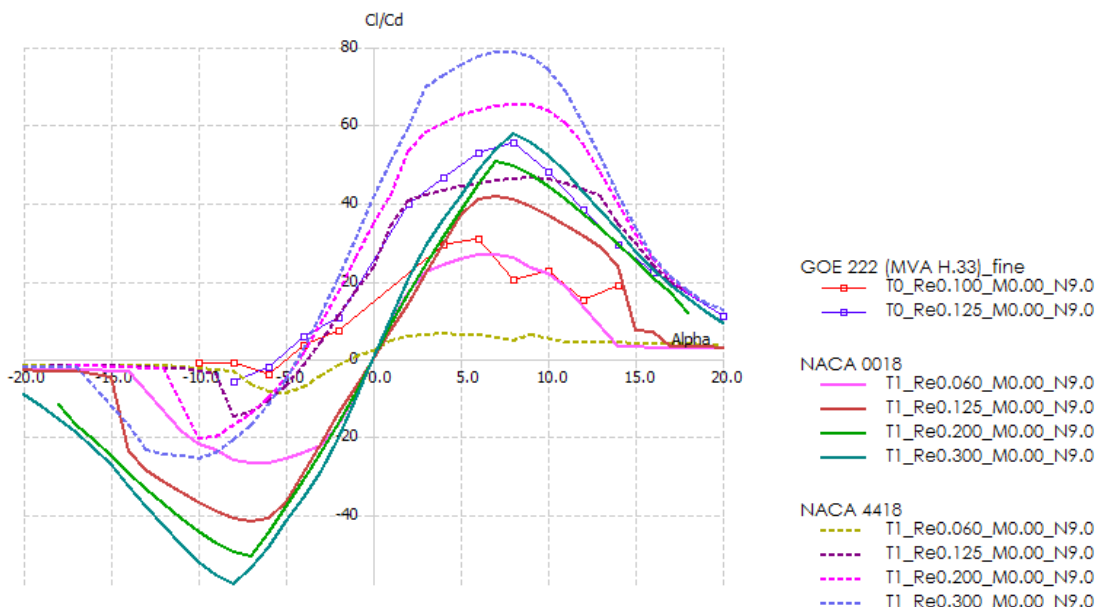


Bild 3 Gleitzahlen bei Re-Zahlen zwischen 60.000 und 300.000

NACA 0018 ist sogar noch bei Re 60.000 bedingt geeignet, mit Einschränkung des möglichen Anstellwinkels (Bild 4, $C_l=f(\alpha)$). Bei höheren Re-Zahlen Polare zunehmend spitz,

⁴ Invers eingebaut hatte ich eine Rückmeldung bekommen, dass die Ergebnisse sich wesentlich verschlechtert hätten. So auch die Ergebnisse der Simulation, s. Bild 5.

zumindest in der Simulation. Da scheint NACA 4418 Stärken zu haben, verträgt aber negative Anstellwinkel nicht, s. Bild 3 und Bild 4, $C_d=f(\text{Alpha})$.

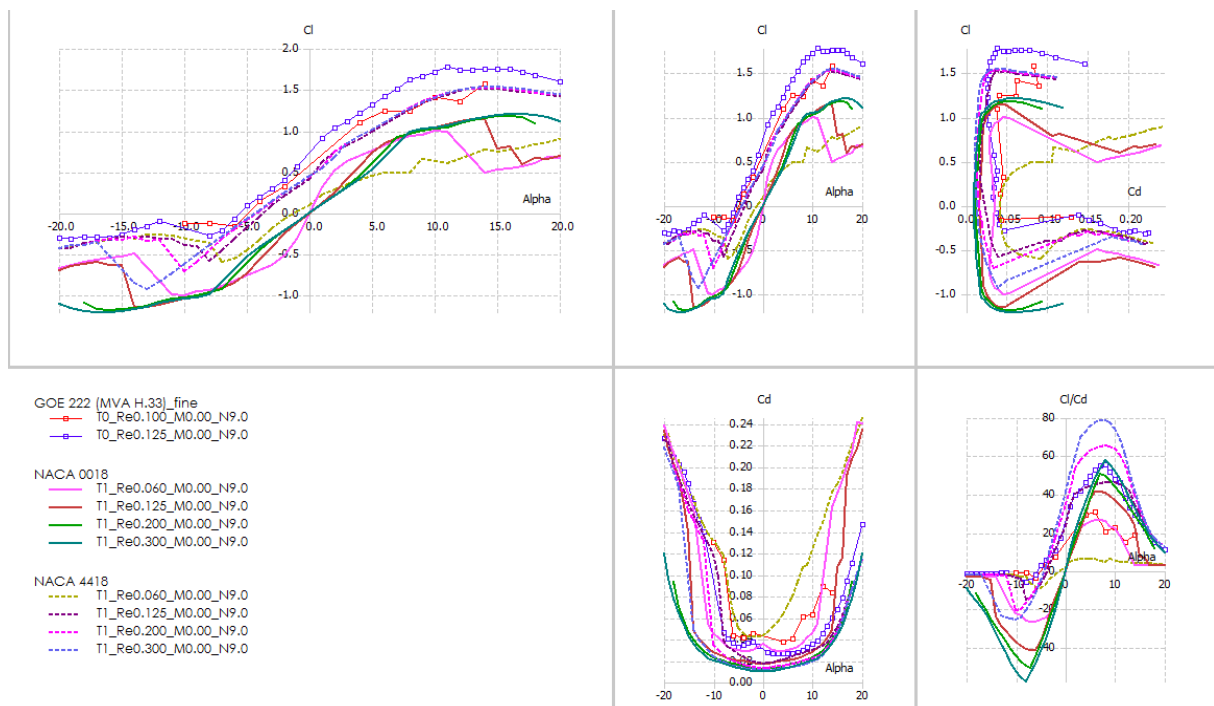


Bild 4 alle Polaren

Der Vollständigkeit halber wurde noch Goe 222, schon mit bestem Einbauwinkel, für 2 Re-Zahlen mit dargestellt. Es versagt aber bei 100.000 nahezu völlig. Auch im Rotor bleibt es weit hinter den Anderen zurück, wie folgendes Bild zeigt.

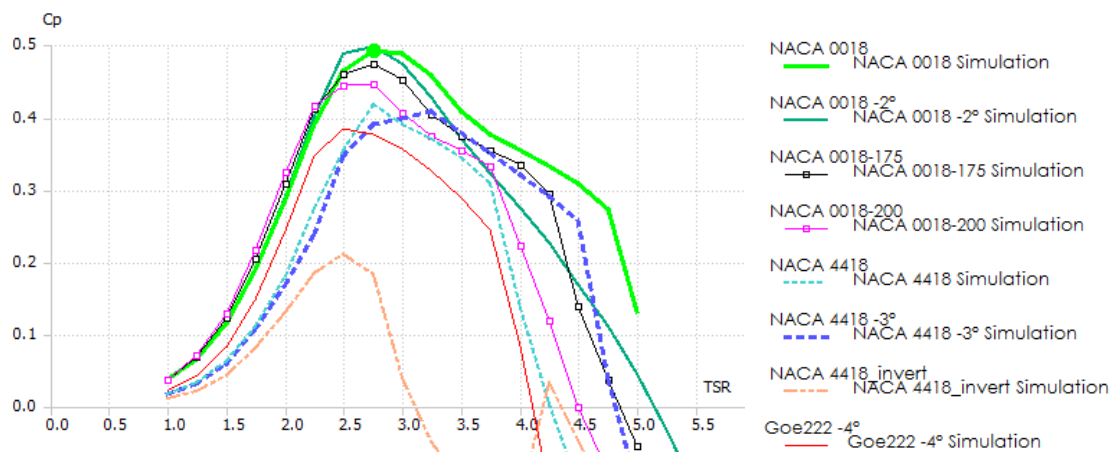


Bild 5 Simulation von 3-Blatt Rotoren bei 7 m/s; D 1,5m; H 1,8m
Blattbreite 150mm, wenn nicht anders angegeben

Der Cp beinhaltet nicht die Verluste der Haltestreben! Oft übersteigt der Gesamt-Cp von Kleinanlagen den Wert 0,2 nicht. Auch ist nicht sicher, ob QBlade den Auftriebsabfall zu den Blattenden hin ausreichend umsetzt. Daher würde ich diese Blätter letztendlich mit Breite 175mm veranschlagen⁵, was auch der Anlaufähigkeit zu Gute kommt. Diese ist bei Darrius-Rotoren eine echte Herausforderung. Man darf nicht zu viel erwarten, laufen doch selbst manche Normalwindräder erst höchstens ab 4 m/s an⁶, trotz rastkraftfreiem Generator.

⁵ [Link](#), Möglicherweise sogar noch breiter, damit auch so eine Kleinanlage leidlich sicher anläuft, vgl. Bild 22 in http://www.geopolos.de/Quellen/Darriusprinzip_n.pdf

⁶ http://www.geopolos.de/Entwicklung%20von%20Klein-Windenergie-Anlagen.htm#_Toc528057675

4. Gerade Blätter oder gebogene bzw. zur Helix verwundene?



Bild 6 a+b Skyline SL 30⁷

Konstruktion mit gestreckten Blättern

Eine SL 30 mit 3 kW Leistung hatte ich in einem Wohngebiet beobachtet. Auffällig war sie wohl, passte mit den gebogenen Blättern aber eher nicht zu den geraden Linien der Wände und Dächer. Ähnliches gilt aus meiner Sicht für den Helix-Rotor.

Im Vergleich dazu rechts eine Version mit gestreckten Blättern. Die fügt sich eher ein in die Bausubstanz. Außerdem hat sie den Vorteil, wesentlich weniger aufwändig zu sein. Das gilt sowohl für die Konstruktion als auch für die Fertigung. Daher tendiere ich persönlich zu Bauformen nach Bild 6 b.

Zu früheren Bauweisen:

Wenn die Streben nach Bild 7 angeordnet werden, haben sie den geringsten Widerstand und die geringste Verwirbelung für den Lee-Halbkreis. Allerdings gibt es für die Generatorlager ein erhöhtes Kippmoment.

5. Risiken beim Darrieus

Erfindungsgemäß hatten die Rotoren die „Schneebesens-Form“. Da gab es in den Blättern nahezu nur Zugkräfte. Allerdings waren die Blätter so schmal, dass es Anlaufhilfen bedurfte.

Beim H-Rotor beanspruchen die Kräfte die Blätter auf Biegung, die Fliehkräfte noch viel mehr als die aerodynamischen. Das kann richtig übel werden. Deshalb ist dringend angeraten, die Drehzahl zu begrenzen, auf die Nenn-Drehzahl von z.B. 9 m/s. Dazu wird üblicherweise der Generator bei Übersteigen der zu deckelnden Drehzahl mehr belastet, so dass die überschüssige Energie entweder verwertet wird, oder in einem *Brems-Chopper* vernichtet. Das aber muss der Generator thermisch aus halten, was längst nicht jeder schafft. Gerade die sog. *Eisenlosen*, bezüglich Anlauf gern genommen wegen der fehlenden Rastkraft, haben oft wenig thermische Reserven. Regelmäßig durchgebrannte Generatoren haben schon manche Firma in den Ruin getrieben.

Die andere Herausforderung ist der Selbstanlauf ohne spezielle Hilfen. Das gelingt nur leidlich, wenn die Blätter breit genug sind, und damit die Optimum-TSR von 2,75 evtl. noch unterschritten wird. Nur Rotoren mit 3 Blättern oder mehr sind aus allen Stellungen anlaufähig.

Letztendlich sind nur ca. 2/3 Wirkungsgrad eines Normalwindrades erwartbar. Dem gegenüber stehen höhere Kosten beim Generator als auch bei den Blättern, der geringeren TSR geschuldet. Beim Generator kann es das Doppelte sein.

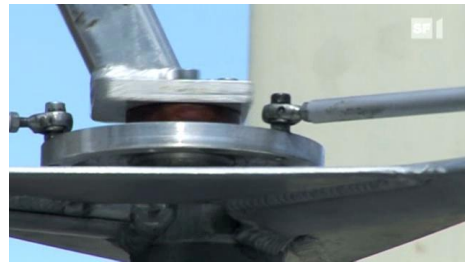
⁷ Italienisches Erzeugnis, nicht mehr lieferbar; deutscher Importeur ist pleite.

Gesteuerter Darrieus

Obwohl auch dessen letzter Hersteller längst Pleite ist, soll auch auf das Prinzip hin gewiesen werden.



Schmuck sah sie aus, die **envergate 600** aus der Schweiz, mit konzipierten 10 bis 12 kW.



Allerdings haben u. A. solche [Vorkommnisse](#) zur Pleite geführt, bzw. waren schon die Folge davon.

Als sie mit der Technik später wohl leidlich auf der Höhe waren, sogar ohne Hilfsfahne, war es für einen Fortbestand zu spät.

Bild 7 Zum Antrieb des Exzenters dient eine kleine Hilfs-Windfahne

Zur Technik:

Die Blätter sind winkelbeweglich gelagert. Über einen Steuer-Exzenter (Bild im Kasten) werden sie Pro Umlauf einmal in die eine, dann in die andere Richtung geschwenkt. Nur wenige Grad, aber damit wird der Anlauf verbessert und die periodisch auftretenden Extrema bei den Anstellwinkeln abgemildert. Allerdings ist der Aufwand nicht gering. Auch müssten die Kugelgelenke nach Herstellerangaben spätestens nach 3 Jahren gewechselt werden. Das ohne Total-Demontage der Blätter, aber eben nicht ohne kostenpflichtigen Aufwand.

Eigenkonstruktion

Ich hatte seinerzeit eine [Konstruktion](#) angefertigt, mit dem Ziel, sowohl den gesteuerten als auch den ungesteuerten Darrieus nach allen möglichen Richtungen aus zu testen. Bilder auf dem nächsten Blatt.

Folgendes sollte möglich sein:

- Betrieb als Normal-Darrieus (Exzentrizität der Steuerscheibe = 0)
- Betrieb als gesteuerter Darrieus, mit Einstellbereich des Verstellwinkels bis 11°
- Ermittlung der Vorzugsstellung der Windfahne

Für Beide:

- Einstellbereich des Grundanstellwinkels von $+2$ bis -8°
- Flügeleinbau mit Wölbung nach außen (wie dargestellt) oder Wölbung nach innen. Profil: Auf Laufkreis „gebogenes“ NACA 0018. Ergebnis ähnlich NACA 4418.

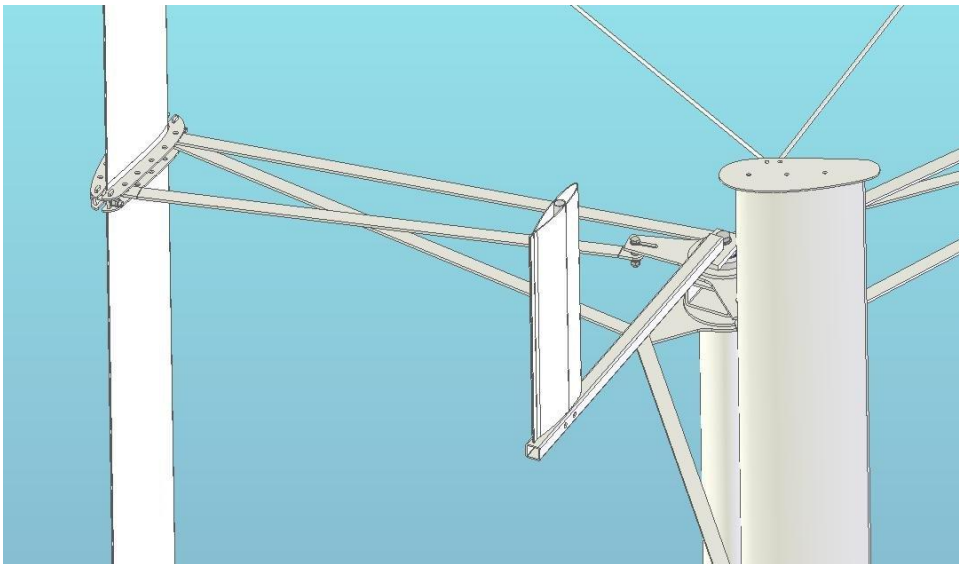
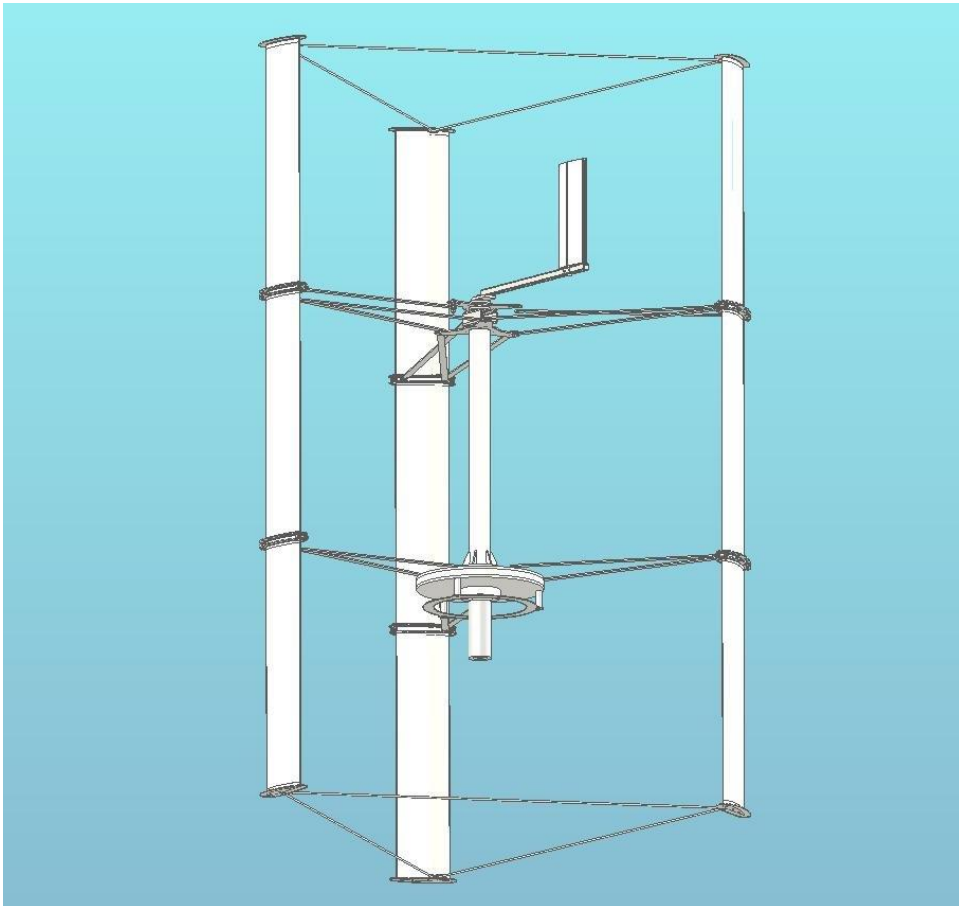


Bild 8 a+b Konstruktion zur Austestung des Prinzips, D 1,25m H 1,8m

Die Hilfswindfahne ist nur für den Fall, dass sich die Blätter doch nicht alleine durch die aerodynamischen Kräfte ausrichten. Ansich sollte es ohne funktionieren.

Die Konstruktion ist bis zum Zeichnungssatz gediehen. Es könnte also gebaut werden.

Allerdings ist die wirtschaftliche Bedeutung inzwischen aus meiner Sicht eher marginal.

Die Verspannung der Blattspitzen kann entfallen, wenn es gelingt, die Drehzahl auf die Nenn-Drehzahl von etwa 9 m/s zu deckeln.