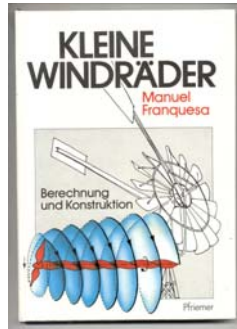


# LA VERITAT

([www.amics21.com](http://www.amics21.com))



## Kurze Einführung in die Darrieus Windturbinen

von Manuel Franquesa Voneschen<sup>1</sup>

### Darrieus Windturbinen

Diese Windturbinen mit vertikaler Achse sind ziemlich anspruchsvolle Maschinen, weshalb wir hier nur eine sehr kurze Einführung machen werden. Die Auslegeschnellaufzahl dieser Windturbinen ist  $\lambda_d = \text{ca. } 5 \text{ bis } 7$ .

Die Flügel eines Darrieus-Rotors haben volle, symmetrische und aerodynamisch hoch effiziente Profile, wie zum Beispiel das Profil NACA 0012, dessen Form und Polare in Fig. 2 dargestellt sind.

Meistens haben diese Maschinen zwischen zwei und drei Flügel, welche senkrecht, schief oder "parabolisch" um die vertikale Achse angeordnet sind (Fig. 1).

Meistens werden diese Rotoren nur für Windgeneratoren, die an ein starres Netz gekoppelt sind, benutzt, weil sie nur schwer von selbst starten können.

Für unsere Leser, die ein wenig in die Aerodynamik dieses Rotors tauchen möchten, haben wir zwei Illustrationen angefertigt: Fig. 3 zeigt die aerodynamischen Kräfte, die auf ein Flügelement in einer beliebigen Stellung wirken (Drehwinkel  $\varphi$ ), während Fig. 4 das Verhalten der drei Vektoren der Geschwindigkeiten  $v'$ ,  $u'$  und  $c$ , welche die Flügel während einer vollen Umdrehung um die Achse "angreifen". Es bedeuten:

$v'$  = Windgeschwindigkeit am Rotor

---

<sup>1</sup> Autor del libro "Kleine Windräder : Berechnung u. Konstruktion" - Wiesbaden ; Berlin : Bauverlag, 1989. ISBN 3-7625-2700-8. Für diese Übersetzung: © Manuel Franquesa Voneschen 2010.  
Der Autor kann via Facebook kontaktiert werden.

$u'$  = relative Geschwindigkeit der Luft bzgl. des Flügелеlementes (tangentialer oder Umfangsgeschwindigkeit des Flügелеlementes, senkrecht zum Radius des Rotors)

$c$  = absolute Geschw. des Flügелеlementes (Resultierende der Vektoren  $v'$  und  $u'$ )

Zwischen der Geschwindigkeit  $c$ , der Windgeschwindigkeit  $v'$ , dem Rotationswinkel  $\varphi$  und der Schnelllaufzahl  $\lambda$  des Rotors gilt folgende Beziehung:

$$c = v' \cdot [(\lambda + \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi)^2]^{1/2}$$

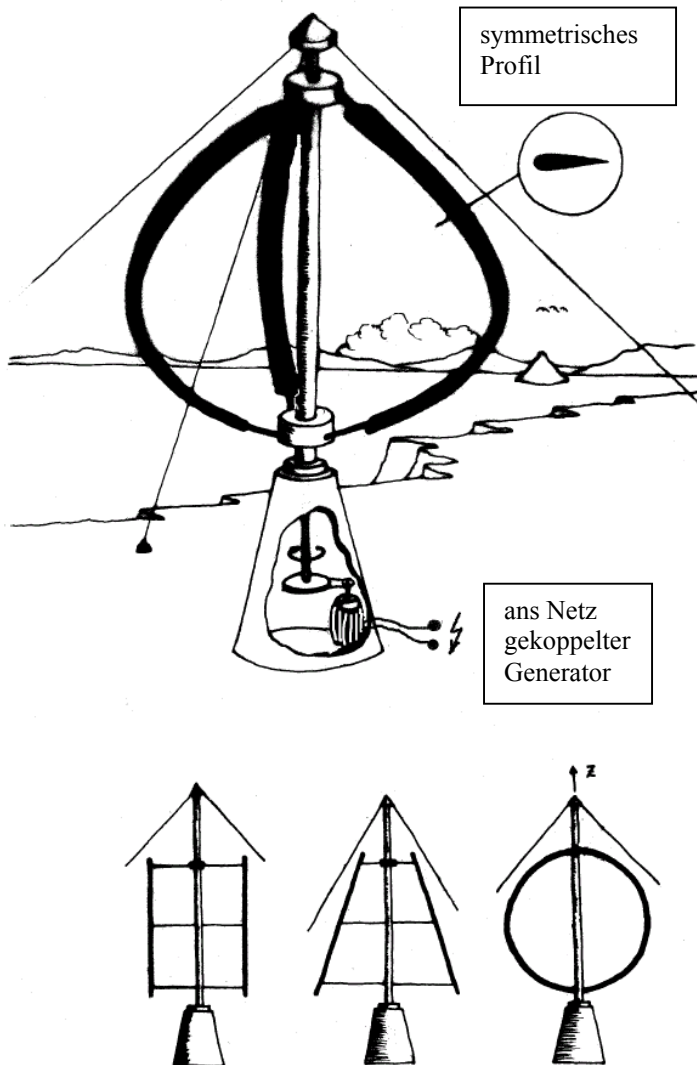


Fig. 1 Verschiedene Typen von *Darrieus* Windgeneratoren

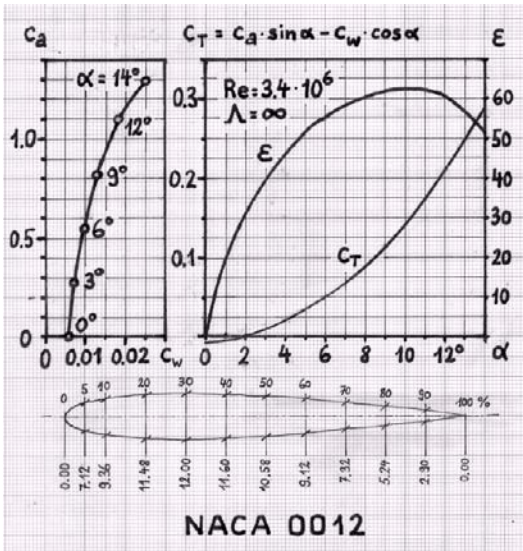


Fig. 2 Form und Polare des symmetrischen Profils NACA 0012

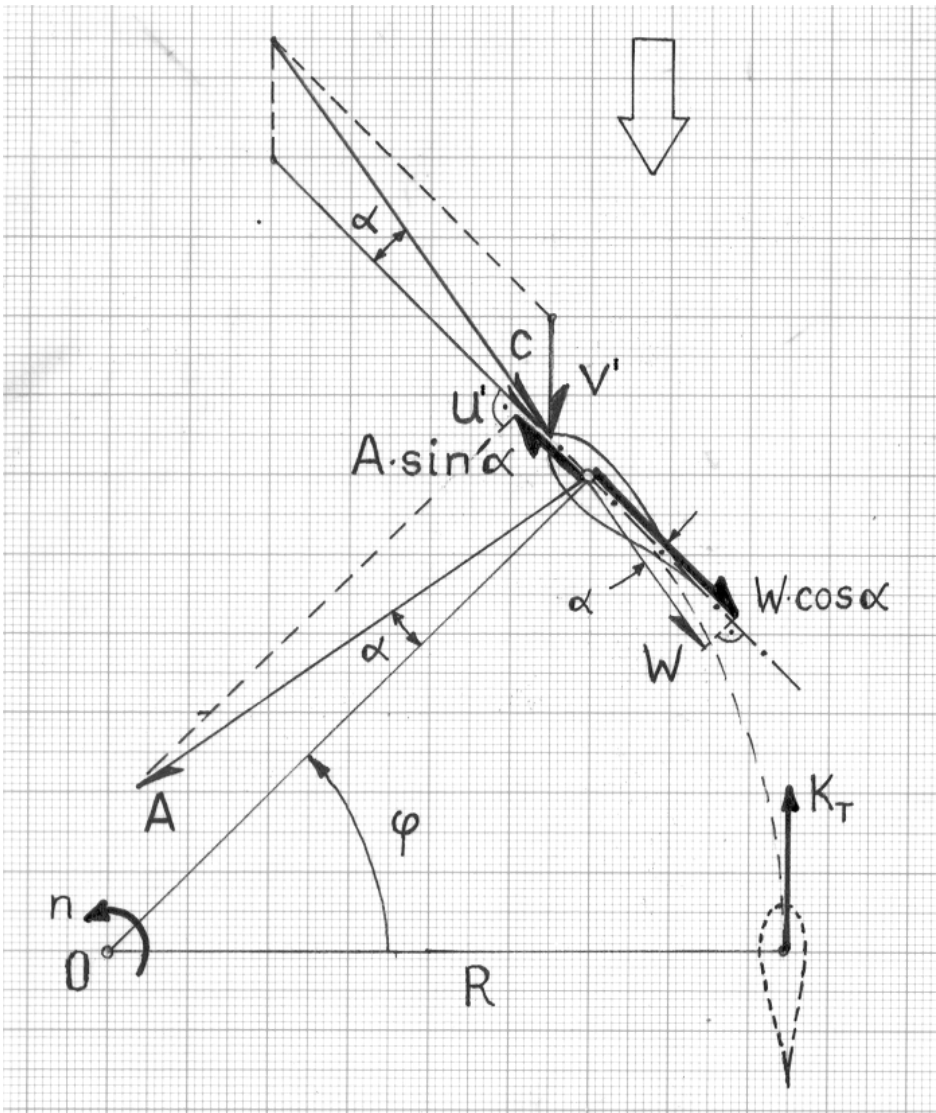


Fig. 3 Aerodynamische Kräfte die auf ein Flügelement eines Darrieus-Rotors wirken (NB:  $A$  ist senkrecht und  $W$  ist parallel zum Vector  $c$ )

Man beachte, dass der Angriffswinkel  $\alpha$  des Profils während einer vollständigen Umdrehung des Rotors sich ständig ändert. In jedem Punkt (Winkel  $\varphi$ ), ist die Tangentialkraft  $K_T$ , die auf die Flügel wirkt, gleich der Resultierenden der Tangentialkomponenten der Auftriebs- und Widerstandsvektoren  $A$  bzw.  $W$ :

$$K_T = A \cdot \sin\alpha - W \cdot \cos\alpha = [c_a \cdot \sin\alpha - c_w \cdot \cos\alpha] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot c^2 \quad [\text{N}]$$

mit

$c_a$  = Auftriebsbeiwert des gewählten symmetrischen Profils

$c_w$  = Widerstandsbeiwert (z.B. Profil von Fig. 2)

$\rho$  = mittlere Dichte der Luft (ca. 1,25 kg/m<sup>3</sup>)

$f$  = Oberfläche des Flügels [m<sup>2</sup>]

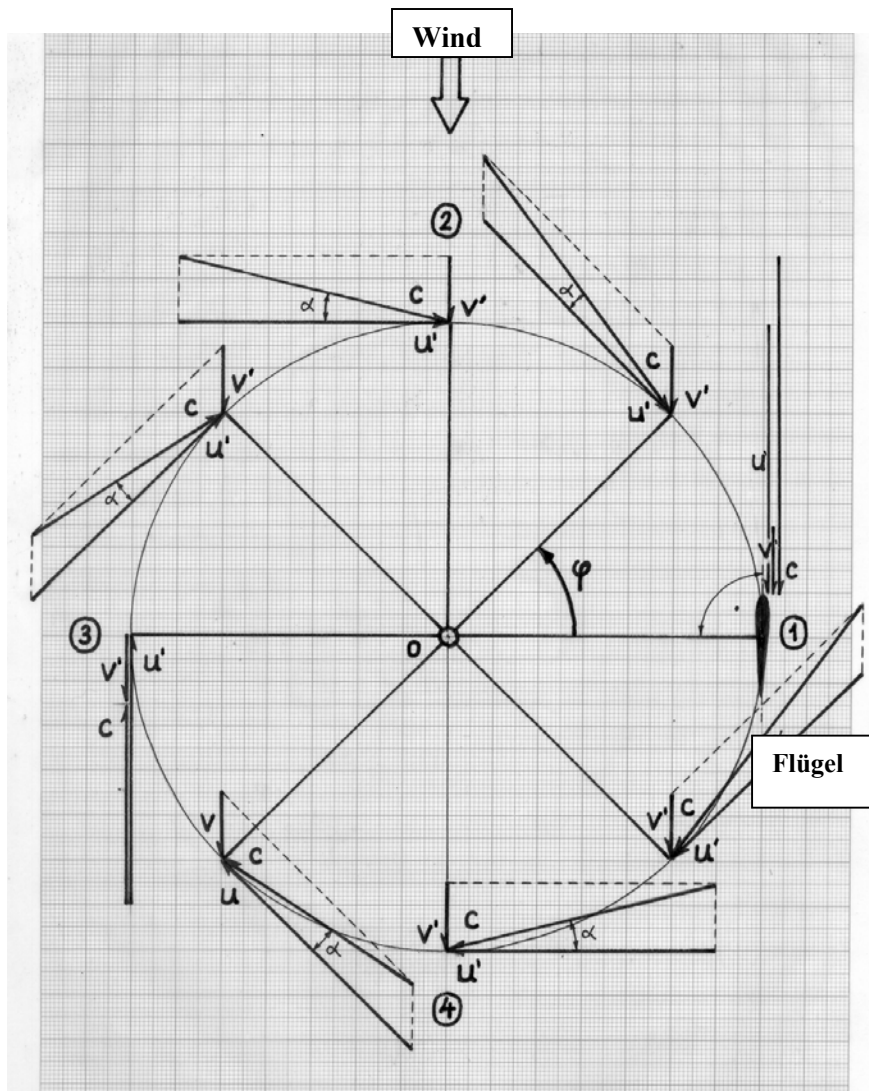
**NB:** Um  $K_T$  in Newton [N] zu erhalten, muss die Geschwindigkeit  $c$  in [m/s] eingegeben werden.

Zwischen dem Angriffswinkel des Profils  $\alpha$ , dem Drehwinkel  $\varphi$  und der Schnelllaufzahl  $\lambda$  des Rotors gilt folgende Beziehung:

$$\alpha = \arctan [\sin \varphi / (\lambda + \cos \varphi)]$$

In den Punkten 1 und 3 (Fig. 4), ist der Winkel  $\alpha = 0$ , sodass hier die Flügel keine Auftriebskraft aufweisen, und somit auch keine Energie liefern.

Bemerkung: Wenn ein Darrieus Windgenerator am starren Netz läuft, ist die Geschwindigkeit  $u'$  konstant, denn der Rotor dreht sich synchron mit der (konstanten) Netzfrequenz (in Europa 50 Hz, in USA 60 Hz).

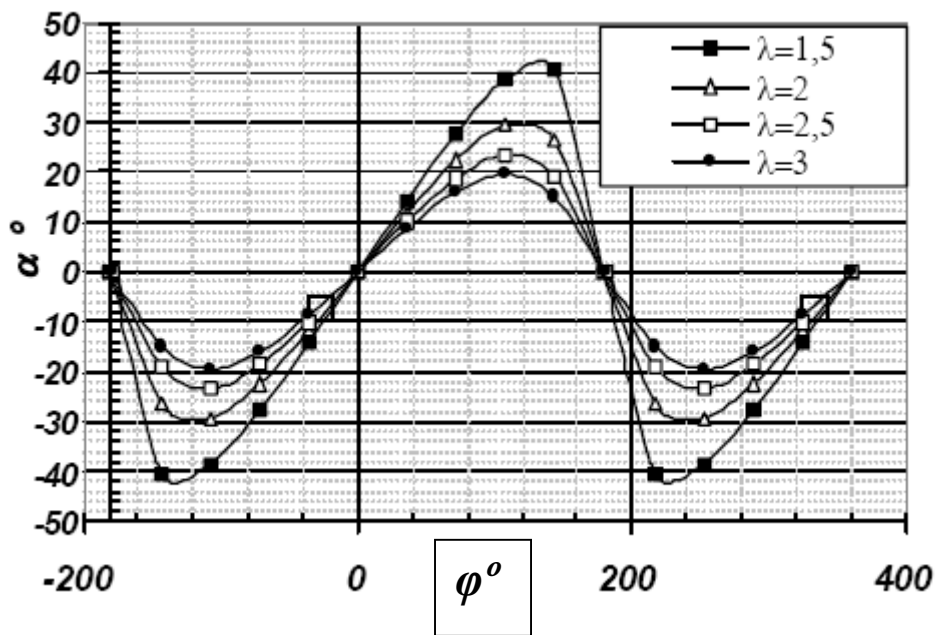


**Fig. 4**

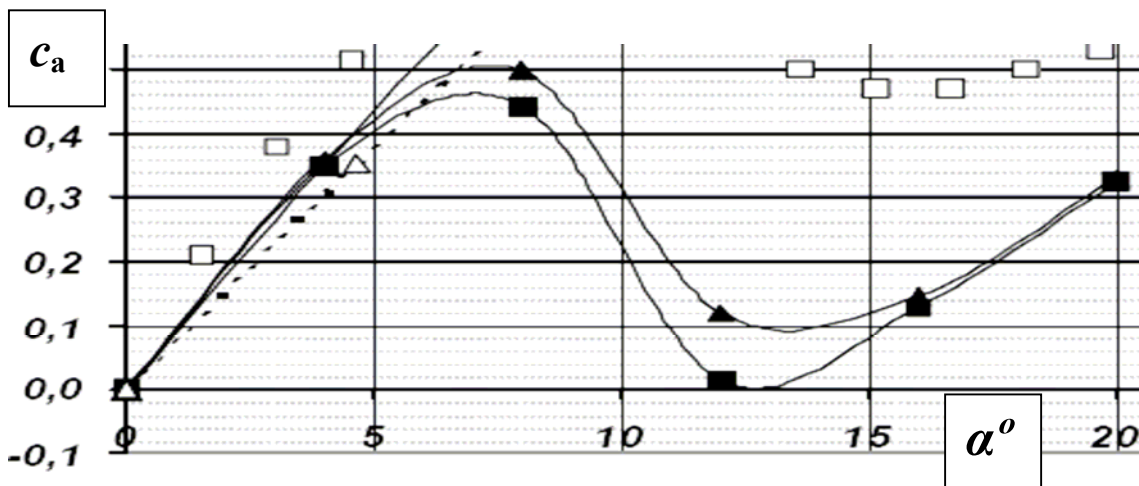
Verhalten der Geschwindigkeiten  $v'$ ,  $u'$  und  $c$  während einer vollständigen Umdrehung eines Darrieus-Rotors.

**Fig. 5** zeigt die Änderung des Angriffswinkels  $\alpha$  des Profils in Abhängigkeit des Drehwinkels  $\varphi$  des Rotors. Man beachte, dass für  $0^\circ < \varphi < 180^\circ$   $\alpha$  positiv und für  $180^\circ < \varphi < 360^\circ$  negativ ist. Aber auch unter einem negativen Angriffswinkel ist die (tangentielle) Zugkraft an del Flügeln trotzdem positiv, d.h. für  $180^\circ < \varphi < 360^\circ$  produziert der Rotor weiterhin Energie.

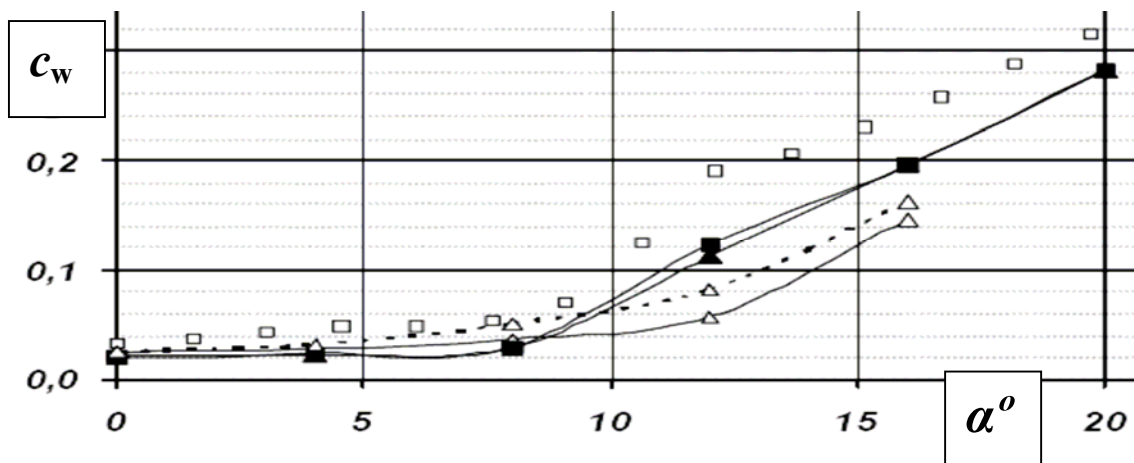
Die **Figuren 6** und **7** zeigen den Auftriebsbeiwert bzw. Widerstandsbeiwert eines symmetrischen NACA-Profiles.



**Fig. 5** Angriffswinkel  $\alpha$  des Profils in Abhängigkeit des Drehwinkels  $\varphi$  des Rotors [Quelle: "Flow Modelling in a Darrieus Turbine for Moderate Reynoldsnumber – C. Ploestenu, D. Tarziu et T. Maitre"]



**Fig. 6** Auftriebskoeffizient  $c_a$  in Abhängigkeit des Angriffswinkels  $\alpha$  eines symmetrischen Profils NACA [Quelle: "Flow Modelling in a Darrieus Turbine for Moderate Reynoldsnumber – C. Ploestenu, D. Tarziu et T. Maitre"]



**Fig. 7** Widerstandskoeffizient  $c_w$  in Abhängigkeit des Angriffswinkels  $\alpha$  eines symmetrischen Profils NACA [Quelle: "Flow Modelling in a Darrieus Turbine for Moderate Reynoldsnumber – C. Ploestenu, D. Tarziu et T. Maitre"]

### Die Leistung einer Darrieus-Windturbinen

Wenn wir in Gleichung [2] für die Geschwindigkeit  $c$  den durch Gleichung [1] gegebenen Ausdruck einsetzen, erhalten wir für die Tangential (oder Antriebs-)kraft des Flügels:

$$K_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot v^2 \cdot [c_a \cdot \sin \alpha - c_w \cdot \cos \alpha] \cdot [(\lambda + \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi)^2] \quad [4]$$

( $f$  = Oberfläche des Flügels)

Für eine gegebene Windgeschwindigkeit  $v$  ist das Produkt  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot v^2$  eine Konstante  $k$ , so dass wir schreiben können:

$$f(K_T) = k \cdot f(\lambda, c_a, c_w, \alpha, \varphi)$$

Mit Hilfe der Figuren 5, 6 und 7 können wir die Funktion

$$f(\lambda, c_a, c_w, \alpha, \varphi) = [c_a \cdot \sin \alpha - c_w \cdot \cos \alpha] \cdot [(\lambda + \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi)^2]$$

berechnen

Sie hat den prinzipiellen Verlauf von Fig. 8.

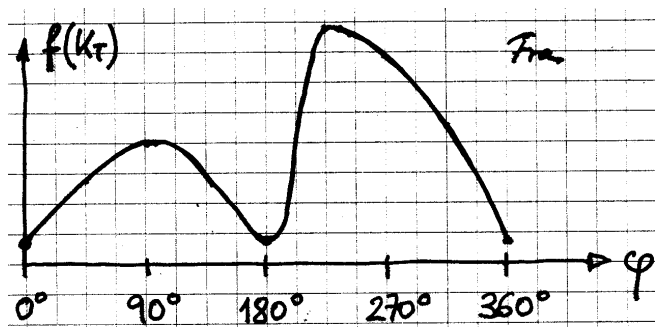


Fig. 8

Infolgedessen wird auch das Drehmoment, und mit ihm die Leistung, des Darrieus-Rotors in ähnlicher Weise schwanken.

Fig. 9 zeigt den Momentenbeiwert (oder Drehmomentziffer)  $c_m$  eines Darrieus-Rotors mit 3 Flügeln.

Mit diesem Beiwert kann das Drehmoment einer Darrieus-Rotors mit vertikalen Flügeln (Fig. 1, ganz links) folgendermassen berechnet werden:

$$M = \frac{1}{4} \cdot c_m \cdot \rho \cdot H \cdot D^2 \cdot v^2 \quad [\text{Nm}]$$

Die Leistung des Rotors beträgt:

$$P = \left[ \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \right] \cdot M \quad [\text{W}]$$

mit

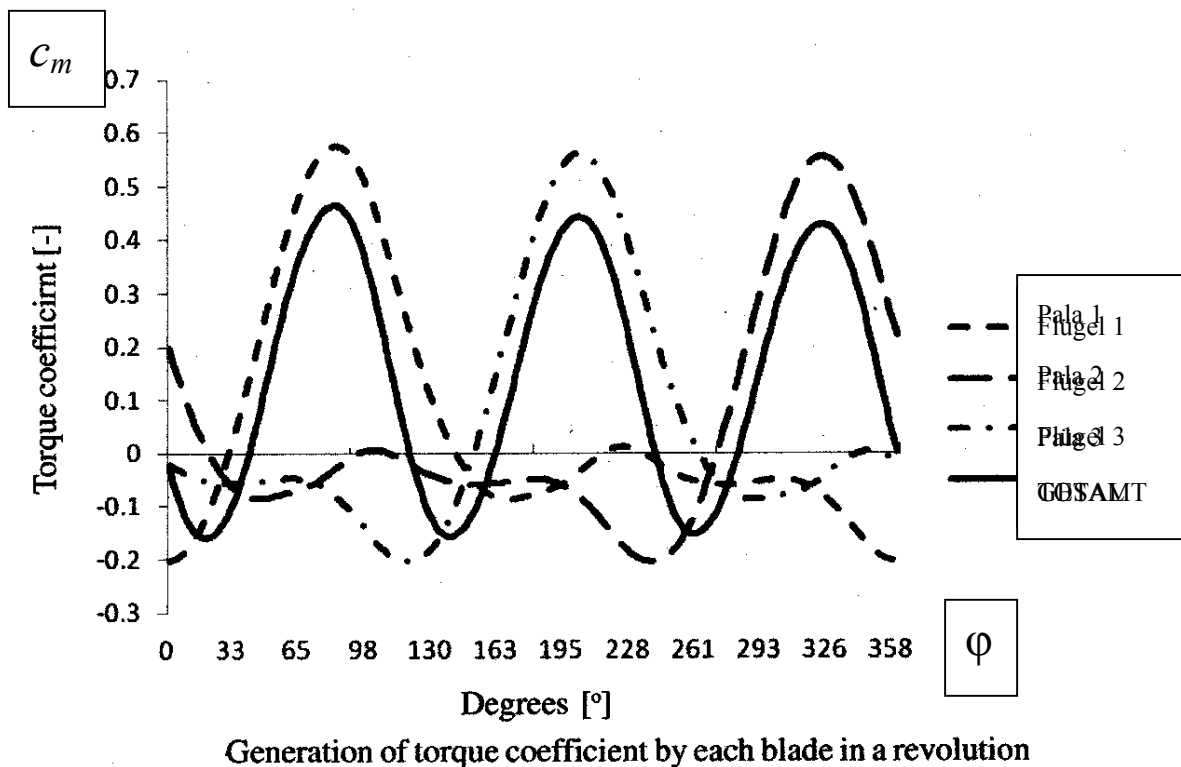
$v$  = Winggeschwindigkeit [m/s]

$D$  = Durchmesser des Rotors (mit vertikalen Flügeln) [m]

$H$  = Höhe des Rotors (= Länge der Flügel) [m]

$n$  = Drehzahl des Rotors [r.p.m.]

(NB: Bei einem mit dem starren Netz verbundene Darrieus Windgenerators ist  $n$  konstant)



**Fig. 9** Momentenbeiwert (oder Drehmomentziffer)  $c_m$  eines Darrieus-Rotors mit 3 Flügeln während einer Umdrehung um seine Achse. [Quelle: Lain & Osorio: Simulation of a straight-bladed Darrieus-type cross flow turbine]

**Schlussfolgerungen:**

Die Leistung einer Darrieus-Turbine schwankt erheblich bei jeder Umdrehung (siehe Fig. 9). Für bestimmte Drehwinkel  $\varphi$  wird die Leistung negativ. Bei einer ans starre Netz gekoppelte Darrieus-Windturbine bedeutet dies, dass der Rotor zeitweise Energie von Netz bezieht, d.h. der an ihn gekoppelter (Synchron-)Generator arbeitet dann als Motor.

Zum Schluss möchte ich noch betonen, dass das Studium der Aerodynamik einer Darrieus-Turbine ein ziemlich faszinierendes Unterfangen ist.

Um mehr über die Theorie der Windturbinen zu erfahren, siehe auch (z.Z. nur auf Spanisch):

[www.amics21.com/laveritat/introduccion\\_teorias\\_turbinas\\_eolicas.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teorias_turbinas_eolicas.pdf)

In unserer Web [www.amics21.com/laveritat.htm](http://www.amics21.com/laveritat.htm) finden sich auch Anleitungen zum Selbstbau eines Savonius Windgenerators mit den zwei Hälften eines 200l-Ölfasses oder eines kleinen Windrades mit horizontaler Achse, welches einen Autoalternator antreibt.