

LA VERITAT

(www.amics21.com)



Wie man anfangen könnte, den Selbstbau eines einfachen Windgenerators zu wagen

von Manuel Franquesa Voneschen¹

Inhalt

1. Einführung	2
2. Einige Worte über die Windenergie im allgemeinen	2
2.1 Herr Betz, die Windenergie und die leistung eines Windrades	2
2. Die Drehzahl eines Windrades	3
3. Ein wenig Aerodynamik	4
4. Konstruktion des Windgenerators.....	5
5. Segelwindrad	14
Schlusswort	17

¹ Verfasser von "Kleine Windräder : Berechnung u. Konstruktion" - Wiesbaden ; Berlin : Bauverlag, 1989; ISBN 3-7625-2700-8. Der Verfasser kann via Facebook kontaktiert werden.

1. Einführung

“Denke global, handle lokal”

Früher oder später wird uns die globale Erwärmung und die Ölknappheit zwingen, nach bescheideneren und deshalb respektvolleren Energien zu suchen.

Diese Kurzanleitung wird Dir eine Idee geben, wie man versuchen kann, einen kleinen Windgenerator mit einfachen Materialien selbst zu bauen.

Aber **Achtung**: wie jede sich drehende Maschine, kann ein Windgenerator gefährlich sein!

Man muss SEHR ROBUSTE Bauteile verwenden und sich nicht in der Nähe des drehenden Rotor aufhalten!

2. Einige Worte über die Windenergie im allgemeinen

2.1 Herr Betz, die Windenergie und die Leistung eines Windrades

Die **maximale Leistung**, die wir mit einer idealen Maschine dem Wind entziehen können, beträgt (wenn wir alle Verluste vernachlässigen):

$$P = 0,29 \cdot D^2 \cdot v^3$$

- **P** ist die Leistung in Watt [**W**]
- **D** ist der Durchmesser des Windrades in meter [**m**]
- **v** ist die Windgeschwindigkeit in meter pro sekunde [**m/s**].

Diese einfache Formel ist ein Kind von Herrn **Betz**, ein deutscher Gelehrter, der 1926 als Erster die theoretischen Grundlagen der Windmaschinen veröffentlicht hat. Deshalb nennt man diese Formel auch **Grenzwert von Betz**.

Wir sehen, dass die Leistung mit der dritten Potens der Windgeschwindigkeit zunimmt. d.h. **je mehr** Wind, desto **viel mehr** Leistung.

Leider wird es in der Praxis nicht möglich sein, den Grenzwert von Betz zu erreichen, weil alle Bestandteile einer Windmaschine entweder aerodynamische oder mechanischen Verluste aufweisen (der Rotor, die Lager, die Übersetzung (bzw. Untersetzung), der Generator, die Kabel, die Batterie um die Energie zu speichern usw.).

Um die maximale Energie einer Windmaschine zu **schätzen**, kann man folgende Formel benutzen (Gesamtwirkungsgrad der Anlage ca. 50%):

$$P = 0,15 \cdot D^2 \cdot v^3$$

Beispiel:

¿Wieviel beträgt die maximale Leistung eines Winrades mit einem Durchmesser von 6 m?

Bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s (= 36 km/h), beträgt die Leistung:

$$P = 0,15 \cdot 36 \cdot 10^3 = 5400 \text{ [W]} = \mathbf{5,40 \text{ [kW]}} \quad (1 \text{ kW} = 1000 \text{ W})$$

Verdoppelt sich die Windgeschwindigkeit auf 20 m/s (= 72 km/h), dann erhalten wir **acht mal mehr** Leistung ($2^3=8$):

$$P = 0,15 \cdot 36 \cdot 20^3 = 43200 \text{ [W]} = \mathbf{43,20 \text{ [kW]}}$$

2. Die Drehzahl eines Windrades

Die Drehzahl eines Windrades kann man mit folgender Formel berechnen:

$$n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (\pi \cdot D)$$

- n ist die Drehzahl in Umdrehungen pro minute [**U/min**] oder [**rpm**]
- λ ist die sogenannte **Schnelllaufzahl** des Windrades. Dieser Faktor ist von der Breite und vom Anstellungswinkel der Flügel des Windrades abhängig. Sein Nennwert kann zwischen ca. 0,8 und 14 betragen. Unser Windrad wird eine Schnelllaufzahl von ca. 4 haben.
- v ist die Windgeschwindigkeit in **meter pro sekunde [m/s]**.
- D ist der Durchmesser des Windrades in **meter [m]**

Die Schnelllaufzahl λ wird folgendermassen definiert:

$$\lambda = u_o/v$$

u_o ist die (tangentele) Geschwindigkeit der Flügelspitzen und v die Windgeschwindigkeit (Fig. 2.2.-1).

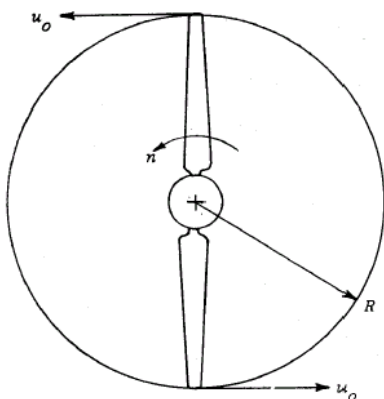


Fig. 2.2.-1 Zur Definition der Geschwindigkeit u_o der Flügelspitzen

Um sich ein Bild zu machen:

Ein moderner Windgenerator mit einem Rotor von 20 m Durchmesser hat eine Schnelllaufzahl von ca. $\lambda = 8$.

Berechnen wir mit obiger Formel seine Drehzahl bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s (= 36 km/h):

$$n = (60 \cdot 8 \cdot 10) / (\pi \cdot 20) = 76,4 \text{ U/min}$$

Das scheint nicht viel, aber die Blatt- oder Flügelspitzen haben eine Umlaufgeschwindigkeit von **288 km/h!** Das erzeugt Lärm und stellt eine erhebliche Gefahr für die Vögel dar.

Allgemeine Regeln:

- je grösser der Durchmesser des Windrades, desto kleiner seine Drehzahl (bei gleichem Wind)
- eine höhere Anzahl Flügel erhöht nicht die Drehzahl, aber dafür den aerodynamischen Wirkungsgrad des Windrades (bei gleichem Durchmesser und gleicher Windgeschwindigkeit).

3. Ein wenig Aerodynamik

Die Blätter eines Windrades sind nichts anderes als Flugzeugflügel, die um eine horizontale (manchmal auch vertikale) Achse drehen.

Wenn das Flugzeug startet, wird es vom Motor nach vorne bewegt, und die Flügel fangen an die Luft zu "schneiden". Da sie ein bestimmtes Profil (Form) haben und etwas schief gegenüber der Windrichtung liegen (Angriffswinkel), bewirkt die um die Flügel zirkulierende Luft einen Überdruck an deren Unterseite. Dieser Druck (der sich als Auftriebskraft offenbart) "drückt" die Flügel -und somit das ganze Flugzeug- nach oben: Hallelujha, es "fliegt" (voll von Touristen nach Mallorca).

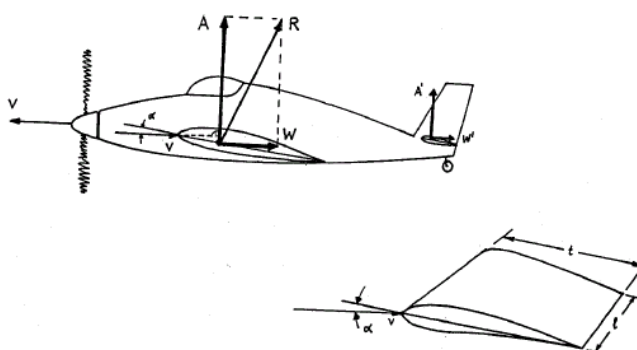


Fig. 3.1 A Auftriebskraft , W Widerstandskraft des Flügels (R Resultierende)

Wie bei jeder menschlichen Erfindung, sind die Flügel nicht ideal: Sie haben einen Widerstand, der auf Kosten des Treibstoffverbrauchs geht.

Der Propeller des Flugzeuges hat auch Flügel (wie ein "umgekehrtes" Windrad!), welche um die vom Motor angetriebene Achse drehen. Der Propeller

“schraubt” sich in die Luft wie ein Korkenzieher in den Zapfen eines guten, alten spanischen Rotweines.

In diesem Zusammenhang muss man erwähnen, dass die Propellerflugzeuge einen höheren Wirkungsgrad als *Jets* haben. Aber sie sind bedeutend langsamer, was heutzutage einer Katastrophe gleichkommt. Ökologisch betrachtet sind *Jets* eigentlich prähistorische Maschinen: Was ihre enorme Leistung hervorbringt ist nichts anderes als ein Strahl von schlecht verbrannten Auspuffgasen unbekannter Zusammensetzung, die in unserer dünnen Atmosphäre² billionen von kleinsten und hochgiftigen Partikeln hinterlassen.
Who cares...

Der Querschnitt eines modernen Flügels hat die Form (Profil) eines in die Länge gezogenen Tropfens. Dieses Profil erhöht den Auftrieb und reduziert den Widerstand. Lange, schmale und dünne Profile haben einen viel höheren Wirkungsgrad als kurze, breite und dicke Profile. Ein gutes Beispiel sind die Albatros, die tagelang herumfliegen können, ohne kaum mit den Flügeln zu schlagen. Oder die Segelflugzeuge, die mit ihren sehr langen und schmalen Flügeln stundenlang über den Alpen kreisen können, ohne Motor!

Ein grosser Vorteil eines (selbstgebauten) Windrades besteht darin (da der Wind (noch) kostenlos ist), dass es keine *hightech*-Blätter braucht. Die Blätter der alten Quijote-Mühlen bestanden vorwiegend aus einem Rost von Holzlatten, überzogen mit einem Stoffsegel! Der niedrigere Wirkungsgrad der vereinfachten Blätter kann beispielsweise mit einer Vergrößerung des Windraddurchmessers wieder ausgeglichen werden.

4. Konstruktion des Windgenerators

4.1 Beschreibung der Maschine

Wir werden jetzt versuchen, einen einfachen Windgenerator mit einer Nennschnelllaufzahl $\lambda_d = 4$ und einem Windraddurchmesser von 2 m zu konstruieren. Als Stromgenerator werden wir ein Automobilalternator -mit eingebautem Regulator- vorsehen.

Die rechteckigen und leicht gebogenen Blätter (“Durchbiegung” = 5% del Breite del Blätter) werden wir aus Blech anfertigen, vorzugsweise aus Aluminium. Die Dicke der Bleche sollte ca. 1,5% der Breite del Blätter betragen (siehe unten).

² Unsere lebensspendende Atmosphäre hat eine Höhe von 30 - 50 km. Wenn wir diese Distanz mit den ca. 12000 km Durchmesser der Erde vergleichen, dann ist die Atmosphäre wie eine Latexhaut von 1,5 mm Dicke über einen Fussball von 30 cm Durchmesser gestülpt

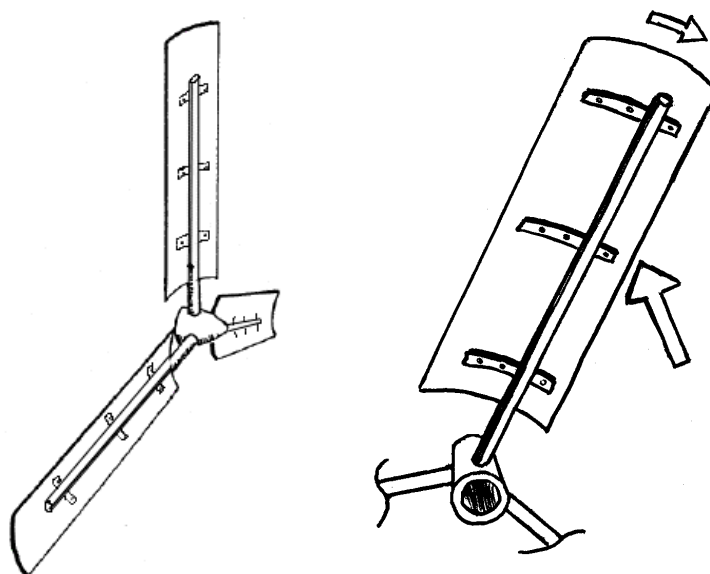


Fig. 4.1

Links: Windrad mit Blättern aus (leicht) gebogenem Blech

Rechts: Eine Möglichkeit, die Blätter zu befestigen (aus aerodynamischen Gründen sollte die Befestigungsstange an der konkaven Seite der Blätter befestigt werden, d.h. an der vom Wind angeblasenen Seite, andernfalls wird der aerodynamische Wirkungsgrad des Windrades merklich abnehmen).

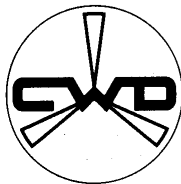
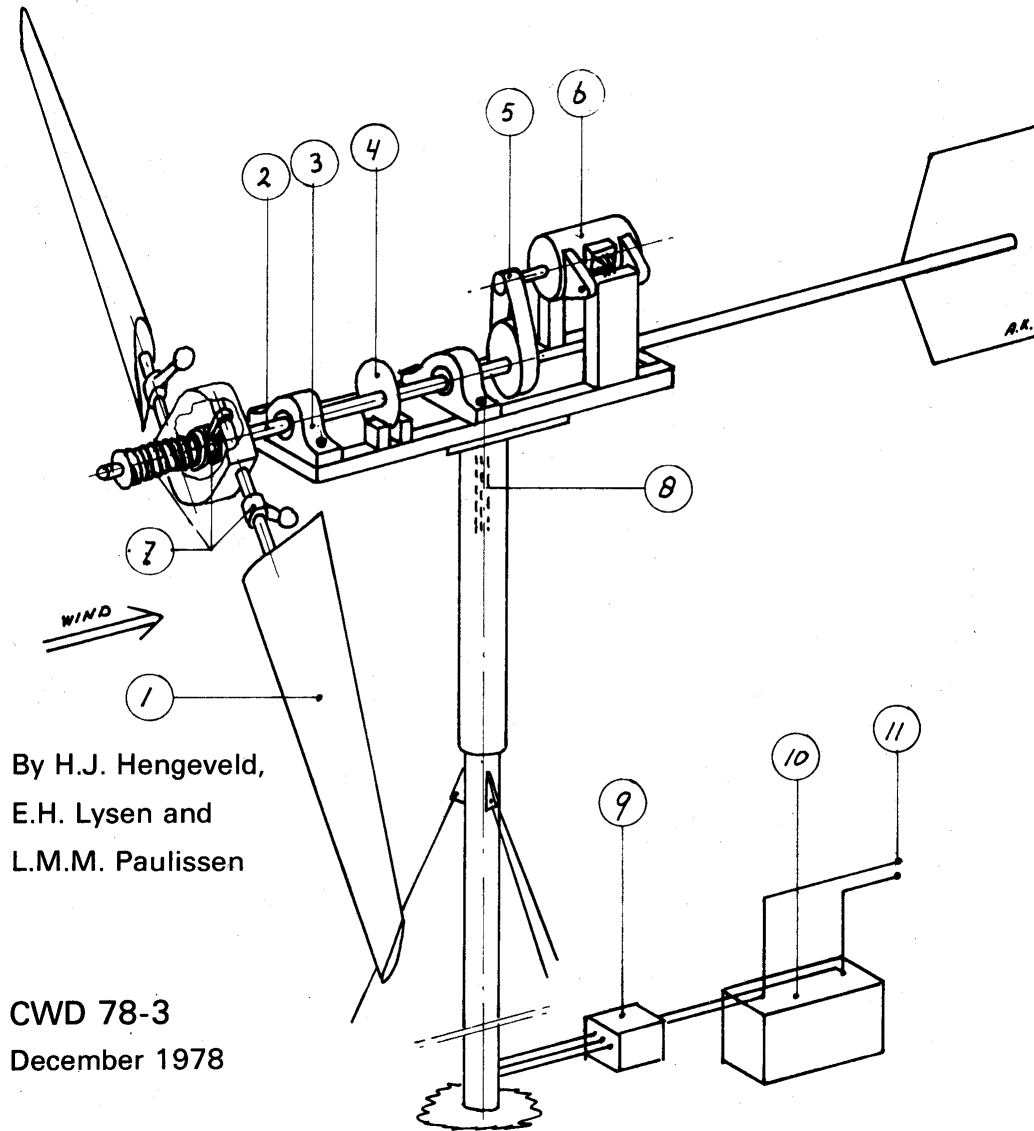
Das Schwierigste ist, einen geeigneten "Körper" für das Windrad zu finden, d.h. das Lager, welches die Rotation der Blätter an den Generator (bzw. Alternator) überträgt (in Deutschland sind Schrottplätze Goldminen!). Doch **Achtung!**, dieses Element sollte:

- (sehr) robust sein
- eine Achse haben, welche an einem Ende eine Scheibe o.ä. aufweist, an die man die Blätter des Windrades befestigen kann, und am anderen Ende die Scheibe für den Übertragungsriemen des Alternators

Auf der nächsten Seite geben wir das Titelblatt der hervorragenden Broschüre von Hengeveld, Lysen und Paulissen³ über die Anpassung von Windrädern an elektrische Generatoren niedriger Leistung wieder. Die Zeichnung ist höchst inspirativ.

³ Matching of wind rotors to low power electrical generators; 1978; Consultancy Services Wind Energy Developing Countries, Amersfoort, The Netherlands

Matching of wind rotors to low power electrical generators



CONSULTANCY SERVICES
WIND ENERGY
DEVELOPING COUNTRIES

P.O. BOX 85
3800 AB AMERSFOORT
THE NETHERLANDS

Fig. 4.1-1

1 Rotor, 2 Achse, 3 Lager, 4 Scheibenbremse, 5 Übertragungsscheiben, 6 elektrischer Generator (z.B. Automobilalternator), 7 Zentrifugalregler für die Änderung des Anstellwinkels der Blätter (Regelung der Drehzahl des Windrades), 8 Kabel, 9 Regler, 10 Batterie, 11 Kabel zum Verbraucher

4.2 Wichtigste Daten unseres Windgenerators

4.2.1 Breite, Anstellwinkel und Durchbiegung der rechteckigen, gebogenen (Durchbiegung in der Mitte = 5%) Blätter / Dicke des Bleches

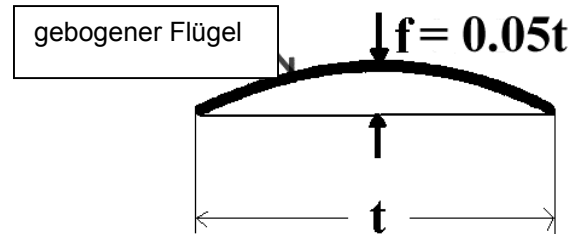


Fig. 4.2-1 Definition der Durchbiegung eines Flügels aus Blech

Durchmesser des Windrades	2 m				
Anzahl Blätter*	2	3	4	5	6
Breite der Blätter t	31,4 cm	21 cm	15,7	12,6	10,5
Anstellwinkel der Blätter**	10°	10°	10°	10°	10°
Durchbiegung der Blätter f	16 mm	11 mm	8mm	6 mm	5 mm
Minimale Dicke des Bleches	4 mm	3 mm	2 mm	2 mm	2 mm

* Bemerkung: Umso höher die Anzahl Blätter, desto höher der Wirkungsgrad des Windrades

** Winkel welcher die Blätter mit der Fläche des Windrades bilden (senkrecht zur Windrichtung).

4.2.2 Ungefähre Werte für die optimale Drehzahl, die maximale Leistung, das Anfahr- oder Losbrechmoment und das optimale Drehmoment des Windrades in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Windgeschwindigkeit v	8 m/s	10 m/s	12 m/s
Optimale Drehzahl des Windrades n	305 U/min ⁴	380 U/min	460 U/min
Leistung P	300 W	600 W	1000 W
Anfahrdrehmoment M_o	4 Nm	6 Nm	9 Nm
Optimales Drehmoment* M	9 Nm	15 Nm	20 Nm

*) Das optimale Drehmoment M kann mit folgender Formel berechnet werden:

M [Nm] = $(60 \cdot P) / (2 \cdot \pi \cdot n)$ (Hinweis: Um das Drehmoment in Newton-Meter [Nm] zu erhalten, müssen die Leistung P in [W] und die Drehzahl n in [U/min oder rpm] eingesetzt werden)

4.2.3 Übersetzungsverhältnis zwischen Windrad und Alternator

Es ist wichtig zu betonen, dass ein Automobil-Alternator nicht die beste Wahl für einen Windgenerator darstellt. Sein Wirkungsgrad ist miserabel (wahrscheinlich ein Nebeneffekt der tiefen Benzinpreise von damals): **er wird kaum 50% übersteigen!** Trotzdem gibt es einige Vorteile: diese Maschinen sind sehr robust, billig und jederzeit (beim Schrotthändler) verfügbar. Falls wir

⁴ auch *rpm* (revolutions per minute)

nicht unbedingt einen hohen Wirkungsgrad unseres Windgenerators anstreben, können wir mit ruhigem Gewissen mit einem solchen Alternator beginnen.

Ein Automobil-Alternator benötigt eine gewisse Drehzahl um Strom liefern zu können (mindestens ca. 750 U/min). Da das Windrad wesentlich langsamer dreht, müssen wir eine Übersetzung vorsehen. Die einfachste Lösung ist ein mit der Achse des Windrades verbundenes grösseres Antriebsrad (z.B. eine Fahrradfelge oder das Antriebsrad einer Waschmaschinentrommel), die mittels eines Übertragungsriemens mit dem Antriebsrad des Alternators verbunden ist (siehe Fig. 4.1.-1).

Fig.4.2.3 zeigt die Strom-Drehzahl-Kennlinie eines willkürlichen Automobil-Alternators:

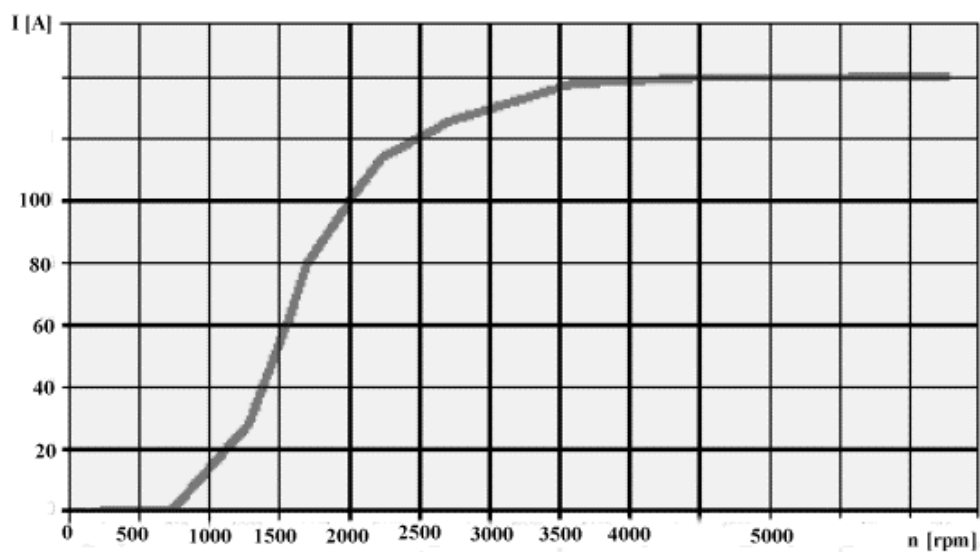


Fig. 4.2.3 Strom-Drehzahl-Kennlinie eines willkürlichen 12V-Alternators

Aus dieser Kennlinie ist ersichtlich, dass dieser Alternator ab einer Drehzahl von ca. 750 U/min anfängt Strom zu liefern.

Bei ca. 1250 U/min liefert er ca. 27 A.

Unter einer Ladespannung von 14 V und einem Strom von 27 A, beträgt die vom Alternator gelieferte Leistung ca. $14 \text{ V} \cdot 27 \text{ A} = 378 \text{ W}$.

Folgende Tabelle zeigt das Übertragungsverhältnis in Abhängigkeit von der Drehzahl mit welcher unser Alternator anfängt Strom zu liefern (n_o):

Drehzahl des Alternators n_o (rpm)	1000	1200	1400	1600
Übersetzungsverhältnis	2,6	3,2	3,7	4,2

Nachdem wir das Übersetzungsverhältnis bestimmt haben, wird der Durchmesser der mit der Achse des Windrades verbundenen

Übertragungsscheibe nur noch vom Durchmesser der Antriebsscheibe des Alternators und der von diesem geforderten Drehzahl abhängen, d.h.:

Durchmesser des grossen Rades = $k \cdot$ Durchmesser des Rades des Alternators

Drehzahl des Alternators $n_o = 1000$:

Durchmesser des Antriebsrades des Alternators	4 cm	6 cm	8 cm
Ungefährer Durchmesser des Scheibe des Windrades	10 cm	15 cm	20 cm

Drehzahl des Alternators $n_o = 1200$ rpm:

Durchmesser des Antriebsrades des Alternators	4 cm	6 cm	8 cm
Ungefährer Durchmesser des Scheibe des Windrades	12 cm	20 cm	19 cm

Drehzahl des Alternators $n_o = 1400$ rpm:

Durchmesser des Antriebsrades des Alternators	4 cm	6 cm	8 cm
Ungefährer Durchmesser des Scheibe des Windrades	15 cm	22 cm	30 cm

Drehzahl des Alternators $n_o = 1600$ rpm:

Durchmesser des Antriebsrades des Alternators	4 cm	6 cm	8 cm
Ungefährer Durchmesser des Scheibe des Windrades	17 cm	25 cm	33 cm

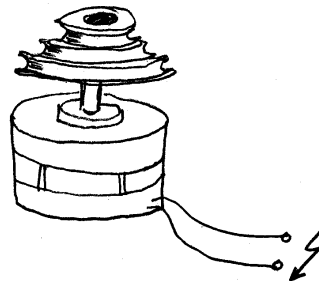
Unter dem Schrott unserer postmodernen Gesellschaft befinden sich unzählige Antriebsscheiben oder -räder von Maschinen oder Motoren in allen Grössen und Gestaltungen.

Wer nicht sucht, der findet (Zen-Buddhistisches Sprichwort)

Bemerkungen zum Übertragungssystem

- Das optimale Übersetzungsverhältnis des Antriebes muss ohnehin durch Probieren gefunden werden. Die Motoren von Tischbohrmaschinen

haben ein konisches Antriebsrad mit verschiedenen Durchmessern. Dies erlaubt, die optimale Drehzahl des Alternators schneller zu finden. Man muss eine Möglichkeit vorsehen, um den Alternator heben und senken sowie den Riemen spannen zu können nachdem man einen anderen Durchmesser gewählt hat.



Alternator mit einem dreifachen Antriebsrad (z.B. von einer Tischbohrmaschine)

- Wie in den obigen Tabellen ersichtlich, sollte man einen Alternator mit einer kleineren Antriebsscheibe wählen, ansonsten wird der Durchmesser des Antriebsrades des Windrades ziemlich gross, was zwangsläufig zu Platzproblemen führt

Bemerkung zum elektrischen System

Über das elektrische System werden wir nicht viel sagen. **Sucht Rat bei einem guten Autoelektriker.** Es ist wichtig zu wissen, ob der (meistens) im Alternator eingebaute **Regler** (ein elektronisches Ding, welches verhindert, dass die Spannung zu hoch wird, den Ladestrom begrenzt und die Batterie ausschaltet wenn sie aufgeladen ist) für das Laden der Batterie unseres selbstgebautes Windgenerators geeignet ist.

Und noch eine wichtige Bemerkung

Je höher das Übersetzungsverhältnis, desto kleiner wird das Anlaufdrehmoment des Systems Windrotor/Alternator, d.h., das Windrad wird Mühe haben, sich in Gang zu setzen, insbesondere wenn der Alternator bereits erregt ist. Aus diesem Grund sollte man ein Regulierungssystem vorsehen, welches den Erregungsstrom des Alternators erst einschaltet wenn das Windrad (der Alternator) eine gewisse Drehzahl erreicht hat (→ Autoelektriker fragen).

4.2.4 Die Windfahne des Windgenerators

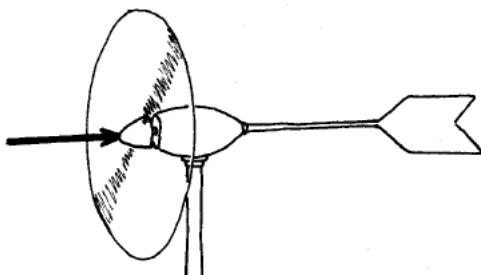


Fig. 4.2.4 Windfahne eines Windgenerators

Die Windfahne bewirkt, dass das Windrad immer senkrecht zur Windrichtung steht. Sie besteht aus einem Blech, dessen Form keine grosse Rolle spielt (sollte aber schön sein), welches mittels einer robusten Stange mit dem Hauptkörper des Windgenerators verbunden ist. Die Länge dieser Stange sollte zwischen 60 und 100% des Durchmessers des Windrades betragen.

Das Blech muss eine minimale Fläche haben (siehe nachstehende Tabelle):

Länge der Stange der Windfahne*	1,2 m	2 m
Minimale Fläche der Windfahne	0,40 m² (z.B. rechteckiges Blech von 80 x 50 cm)	0,25 m² (z.B. rechteckiges Blech von 63 x 40 cm)

*Distanz zwischen der Symmetrieachse des Turmes und dem Schwerpunkt des Windfahnenbleches

4.2.5 Turm des Windgenerators

Dem Turm unseres selbstgebauten Windgenerators sind eigentlich keine Grenzen gesetzt. Ein alter Telefonmast aus Holz kann auch dienen.

Wichtig: Er muss (sehr) robust sein und fest in der Erde verankert sein. Selbstverständlich muss man auch das obere Drehlager des Systems Windrad/Alternator **SEHR** gut mit dem Turm verbinden. **LEBENSGEFAHR BEI STURM!**

Man halte sich stets vor Augen, dass der Turm nicht nur das Gewicht des Windgenerators ertragen, sondern auch das Biegemoment aufnehmen muss, das der Winddruck (= **Kraft**) auf das drehende Windrad ausübt. Es ist wie mit einem in einen Korkzapfen eines guten spanischen Rotweines gesteckten Zahnstochers: Wenn man mit der Fingerspitze zu stark gegen das freie Ende drückt, so bricht er – und kippt.

4.2.6 Ein (relativ) einfaches Sicherheitssystem gegen starke Winde

Vergessen wir nicht, dass die Energie des Windes mit der dritten Potenz seiner Geschwindigkeit zunimmt – und somit auch die Kräfte. **Unser Windrad muss dem gewachsen sein.** ¡Ein Sturm kann dein liebes Windrad in Minuten zerstören – und stellt somit eine Gefahr für Mensch, Vieh, Hühner und Sachen dar!

Man kann eine Scheibenbremse vorsehen (siehe Fig. 4.2), welche am Fuss des Turmes betätigt werden kann (darüber musst du dir deine eigenen Gedanken machen...).

Es gibt auch eine sehr "primitive", aber umso billigere Lösung, um bei Sturm das Windrad "aus dem Wind" zu nehmen:

Falls du "am Fuss der Kanone" lebst, d.h. wenn du z.B. ein Landwirt bist, der wegen den Tieren **niemals** seinen Hof verlassen kann, dann kannst du zwei Seile an die Windfahne befestigen, die im Normalbetrieb einfach an dieser hängen. Sobald aber der Wind gefährlich wird, kannst du mit Hilfe dieser beiden Seile den Windgenerator (die Windfahne) senkrecht zur Windrichtung stellen, und sofort die beiden Seile an zwei stabile, voneinander entsprechend entfernte Verankerungen befestigen.

Vergiss nicht, dass bei einem Sturm der Wind eine der Hauptrollen spielt, und dass du nie wissen kannst, was er im nächsten Augenblick tun wird.

Falls du aber nicht immer da bist, dann kannst du eine relativ(!) einfache "Sturmsicherung mit Querfahne" an deinen Windgenerator montieren.

Prinzip: Eine Querfahne (d.h. eine Windfahne, die senkrecht zur Windrichtung steht) wird starr mit dem Körper des Windgenerators befestigt, während die Hauptfahne mittels eines Scharniers o.ä. (das du (er)finden musst) und einer Feder (die du berechnen -oder empirisch herausfinden musst⁵) verbunden wird.

Fig. 4.2.7 versucht dieses Prinzip bildlich darzustellen.

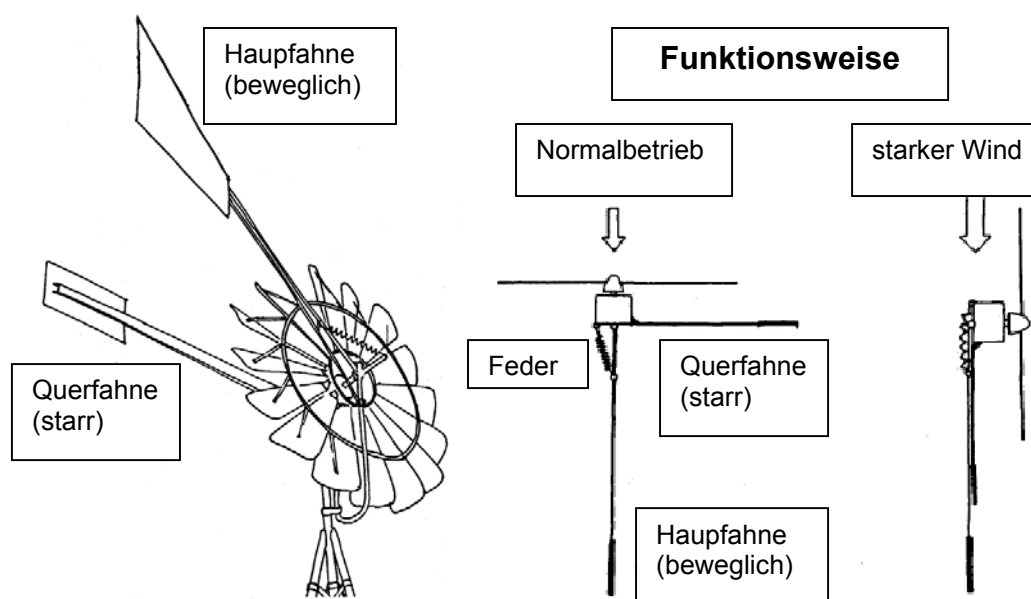


Fig. 4.2.7 Windrad mit Querfahne als Sturmsicherung

⁵ Versuchs mal mit einer Federkonstante von ca. 20 N/cm (ohne Gewähr)

Funktionsweise: Sobald das himmlische Kind der Wind eine gewisse -für dein Experiment gefährliche- Schwelle überschreitet, "drückt" er automatisch auf das Blech der Querfahne, welche *ipso facto* den ganzen Windgenerator aus dem Wind "kippt" (d.h. das Windrad hört auf zu drehen oder tut es nur noch langsam).

Richtwert für die Fläche der Querfahne: 5% der Rotorfläche

Wichtige Bemerkung

Wenn der Windgenerator weit vom Haus entfernt steht, muss man sich im klaren sein, dass man sehr dicke Kabel benötigt, um Strom mit 12V zu transportieren, ansonsten stehen im Haus nur noch ein paar Volt zur Verfügung. Es gibt heute relativ preisgünstige DC/AC-Umformer, welche die Gleichspannung von 12V in eine Wechselspannung von 220V/50Hz umwandeln.

5. Segelwindrad

Die "Flügel" dieser alten Windmühlen (Kreta) bestehen aus dreieckigen Segeln (Fig. 5.1).

Die "Maste" dieser Segel (= Radien des Rotors) können aus Holz sein. Heute kann man auch Aluminiumrohre benutzen.

Jedes Segel ist mit dem nächsten Radius mittels eines Seiles oder Kabels verbunden. Um die Segel stets straff zu halten, kann man auch Federn oder Gummibänder benutzen. Dies hat den Vorteil, dass die Segel bei starken Winden "nachgeben" können.

Da die Segel gegenüber dem Wind einen beträchtlichen Widerstand entgegenbringen, haben diese Segelwindräder oft eine nach vorne verlängerte Achse, an welche die verschiedenen Radien mittels Kabeln befestigt werden. Dies verhindert, dass unter dem Winddruck die Radien brechen oder sich nach hinten verbiegen.

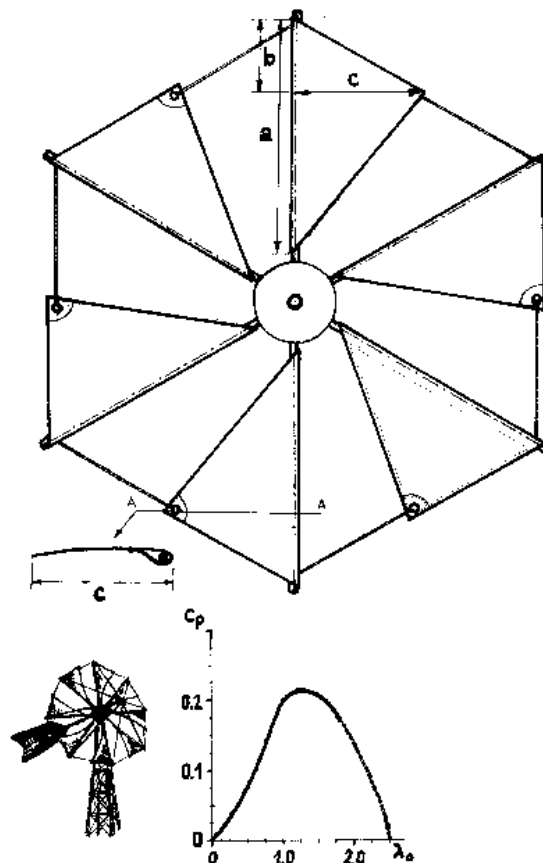


Fig. 5.1

Windrad mit 6 Segel ($a = 0,8 \cdot R$; $b = 0,25 \cdot R$; $c = 0,45 \cdot R$)

Diese Rotoren haben eine niedrige Nenn-Schnelllaufzahl ($\lambda_d = 1,2 \dots 1,4$) und somit eine tiefe Drehzahl. Um damit einen Autoalternator anzutreiben benötigt man ein grosses Übersetzungsverhältnis ($k > 8$ für einen Segelrotor von $D = 2$ m (Fig. 5.2). Ihr Wirkungsgrad ist eher bescheiden, aber sie haben den Vorteil – dank des grosszügigen Losbrechdrehmomentes –, dass sie schon bei relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten anfahren.

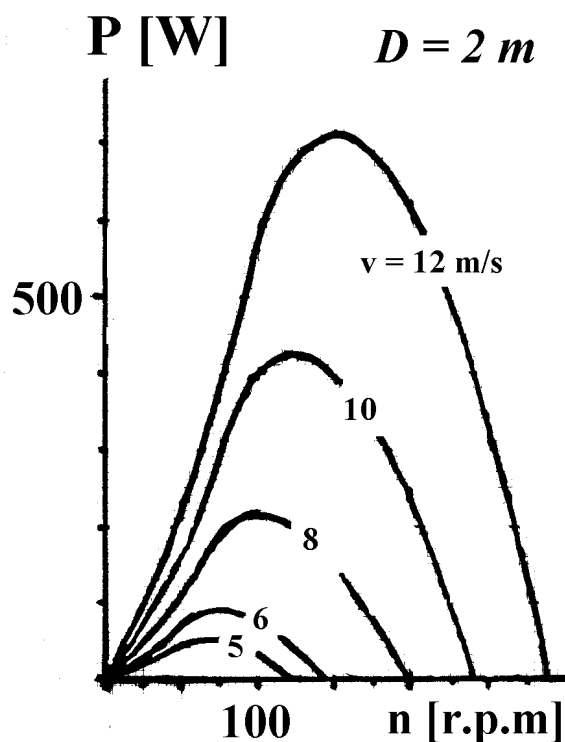


Fig. 5.2

P, n, v – Kennlinien eines Segelwindrades von 2 meter Durchmesser und 6 Segeln (Fig. 5.1), von [Smulders et al.] in einem Windkanal gemessen.

Ungerähe Werte für die maximale Leistung, die optimale Drehzahl, das Anfahrtdrehmoment und das optimale Drehmoment eines Windgenerators bestehend aus dem Segelrotor von Fig. 5.1 ($D = 2\text{m}$):

Windgeschwindigkeit v	8 m/s	10 m/s	12 m/s
Optimale Drehzahl des Rotors n_{opt}	100 W	200 W	350 W
Leistung P_{max}	100 U/min	125 U/min	144 U/min
Anfahrtdrehmoment M_o	44 Nm	68 Nm	99 Nm
Optimales Drehmoment M	9,5 Nm	15 Nm	23 Nm

Übersetzungsverhältnis zwischen Segelrotor $D = 2\text{ m}$ und Autoalternator:

Drehzahl des Alternators (U/min)	1000	1200	1400	1600
Übersetzungsverhältnis (ca.)	8	10	12	14

Schlusswort

Ich muss zugeben, dass ich persönlich nur zwei von solchen selbstgebastelten Windgeneratoren bewerkstelligt habe. Was ich euch hier vorgeschlagen habe ist nur eine Quintessenz aus dieser spälischen -aber lehrreichen- Erfahrung!

Trotzdem bin ich davon überzeugt, dass ich nach dem Motto "knapp daneben ist auch daneben" das Ziel nicht zuweit verfehlt habe.

Im schlimmsten Falle, d.h., falls dieser gute selbstgebastelte Windgenerator nicht genug Strom liefern sollte, so könnt ihr einfach weiterbasteln oder – denken.

Auf diese Weise werdet ihr die dritte Zeile eines alten chinesischen Sprichwortes schneller erreichen, das in weiser Form besagt:

„Was ich höre, vergesse ich;
was ich sehe, erinnere ich;
was ich tue, verstehe ich.“

Oder, auf Deutsch: **“Die Übung macht den Meister”**

Ich wünsche Euch viel Gesundheit, Humor und Wind!



Manuel Franquesa Voneschen, Castelldefels, Spanien

Siehe auch unser kleines Handbuch zur Konstruktion eines Windgenerators mit den zwei Hälften eines alten 200 Liter-Ölfasses (**Savoniusgenerator**):

www.amics21.com/laveritat/savonius_generator_deutsch.pdf

Den blutigen Anfängern auf dem Gebiet der Windenergie empfehlen wir folgende Lektüre:

www.amics21.com/laveritat/einfuehrung_windenergie_fuer_anfaenger.pdf