



(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1741/2001 (51) Int. Cl.⁷: **F03D 7/06**
 (22) Anmeldetag: 06.11.2001
 (42) Beginn der Patentdauer: 15.01.2004
 (45) Ausgabetag: 26.08.2004

(56) Entgegenhaltungen:
 WO 01/34975A1 DE 19544400A1
 DE 2745862A1

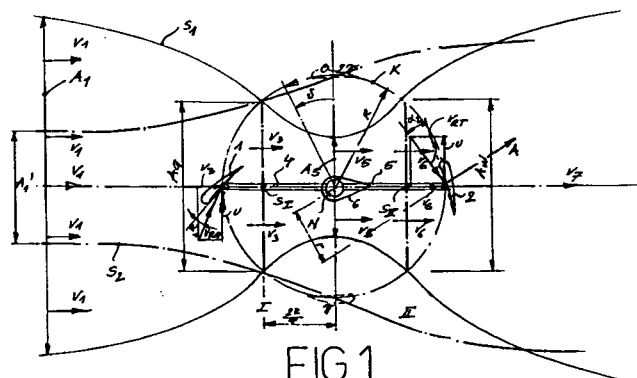
(73) Patentinhaber:
 BROSOWITSCH JOSEF DIPL.ING.
 A-1170 WIEN (AT).

(72) Erfinder:
 BROSOWITSCH JOSEF DIPL.ING.
 WIEN (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR EFFIZIENTEN NUTZUNG DER WINDENERGIE

AT 412 011 B

(57) Verfahren und Vorrichtung zur effizienten Nutzung der Windenergie, mit einer Windkraftanlage mit vertikaler Achse und parallel oder geneigt zur Achse stehenden, aerodynamischen Tragflügeln (1,2,3), welche während ihres Umlaufes um den Windradturm (T) um ihre Längsachse oder einer parallel dazu liegenden Achse mechanisch, elektrisch oder hydraulisch schwenkbar ausgebildet sind und wobei ein im Bereich der Nabe angeordneter Generator (9), Pumpe oder dgl., vorzugsweise ein getriebeloser Ringgenerator angetrieben wird, wobei die vordere, dem Wind zugewandte Hälfte des von den Flügeln (1,2,3) bestrichenen Rotorkreises (K), (also von 0 bis π) als Gebläse arbeitet und den eintreffenden Wind zusätzlich beschleunigt und gleichzeitig die rückwärtige Hälfte des Rotorkreises (K) (also von 0 bis 2π) als Windrad arbeitet, welches dem Wind Energie entzieht, sodass also die Tragflächenprofile (1,2,3) im vorderen Bereich als Gebläse und im hinteren Bereich als Turbine im Einsatz sind, wobei die Steuerung der Tragflächen (1,2,3) - wie bekannt - mechanisch, elektrisch oder hydraulisch erfolgt.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur effizienten Nutzung der Windenergie, mit einer Windkraftanlage mit vertikaler Achse und parallel oder geneigt zur Achse stehenden, aerodynamischen Tragflügeln, welche während ihres Umlaufes um den Windradturm um ihre Längsachse oder einer parallel dazu liegenden Achse mechanisch, elektrisch oder hydraulisch schwenkbar ausgebildet sind und wobei ein im Bereich der Nabe angeordneter Generator, Pumpe oder dgl., vorzugsweise ein getriebeloser Ringgenerator angetrieben wird.

Die weitere Verbreitung der herkömmlichen Propellerwindräder ist insofern problematisch, da durch den vermehrten Einsatz von derartigen Windrädern zur Stromerzeugung auch immer mehr Kohlekraftwerke gebaut und eingesetzt werden müssen, um den äußerst ungleichmäßigen Leistungsanfall kompensieren zu können. Der Strom muss nämlich dann produziert werden, wenn er gebraucht wird - und das ist bei den bekannten Windkraftanlagen nicht der Fall. Also wird der gewünschte, umweltschonende Effekt durch die Windkraftanlagen bisher gar nicht erfüllt. Dazu kommt noch, dass durch die relativ geringe Leistung der Windkraftanlagen eine große Anzahl derartiger Einrichtungen vorgesehen werden muss und damit das Landschaftsbild nachhaltig gestört wird. Ein großes Problem bei den herkömmlichen Windkraftanlagen ist nämlich noch, dass die Leistung der Windkraftanlage zwar mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit wächst, hohe Windgeschwindigkeiten jedoch selten auftreten und diese daher auch nicht voll genützt werden können, vielmehr muss bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit das Windrad überhaupt abgestellt werden. Wesentlich ist aber die in das Netz eingespeiste Arbeit in KWh und diese ist gleich Leistung (KW) mal Zeit (h). Da hohe Leistungen und auch die Nennleistung einer Windkraftanlage nur selten und kurzzeitig auftreten ist auch die in das Netz gelieferte Energie relativ gering.

Es ist bereits bekannt Windkraftanlagen mit vertikaler Achse und umlaufgesteuerten Tragflächenprofilen zu bauen, z.B. aus der AT 408 022 B (BROSOWITSCH) oder der DE 100 54 700 A1 (BROSOWITSCH), welche bereits um 25% mehr Leistung erbringen als die Propellerwindräder, aber noch immer keinen umfassenden Entwicklungssprung ermöglichen.

Um nun diesen Nachteilen Abhilfe zu verschaffen, hat sich die Erfindung zum Ziel gesetzt ein Verfahren und eine Windkraftanlage zu realisieren, bei welchem bzw. bei welcher die in das Stromnetz gelieferte Leistung relativ konstant ist, im Vergleich zu den herkömmlichen Propellerwindkraftanlagen und durch effizientere Nutzung auch des unteren Windgeschwindigkeitsbereiches eine mehrfach höhere Netzeinspeisung erreicht wird, bei gleicher Anströmfläche.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die vordere, dem Wind zugewandte Hälfte des von den Flügeln bestrichenen Rotorkreises (also von $0-\pi$) als Gebläse arbeitet und den eintreffenden Wind zusätzlich beschleunigt und gleichzeitig die rückwärtige Hälfte des Rotorkreises (also von π bis 2π) als Windrad arbeitet, welches dem Wind Energie entzieht, sodass also dieselben Tragflächenprofile im vorderen Bereich als Gebläse und im hinteren Bereich als Turbine im Einsatz sind, wobei die Steuerung der Tragflächen - wie bekannt - mechanisch, elektrisch oder hydraulisch erfolgt. Damit ist es erstmals möglich auch im unteren Bereich (also z.B. bei 2-4 m/sec Windgeschwindigkeit) eine hohe Leistungsausbeute zu erzielen und die gelieferte Arbeit der Windkraftanlage über längere Zeitabschnitte hinweg relativ konstant zu halten. Der hintere Teil der Turbine - in Windrichtung betrachtet - treibt dabei den vorderen Teil, also das Gebläse an, da alle Flügel auf derselben Nabe sitzen - gibt also Energie an das Gebläse ab, sodass also nur mehr der Differenzbetrag für die Generatorleistung zu Verfügung steht. Trotzdem ist die gewonnene Energie um ein Mehrfaches höher, als bei einer Ausführung ohne Gebläsewirkung. Dabei handelt es sich nicht um ein „perpetuum mobile“, wie man auf den ersten Blick meinen könnte, sondern es wird einfach eine größere Luftmenge durch die Windkraftanlage geschleust, das Strömungsbild sieht ganz anders aus, als bei den herkömmlichen Propellerwindrädern.

Anhand von Berechnungen und Zeichnungen soll nun der erfindungsgemäße Effekt näher beschrieben werden:

Die effektive Leistung des erfindungsgemäßen Windrades ist: $L_{eff} = L_{wr} - L_{gebl}$ in KW, wobei:

L_{wr}Windradleistung an der dem Wind abgewandten, hinteren Seite (also von π bis 2π) und

L_{gebl}Leistung des Gebläses, welche von der Windradleistung, also von L_{wr} subtrahiert werden muss. Aus den bekannten Formeln für Windkraftanlagen bzw. Propeller (=Gebläse) ergibt sich:

$$L_{eff} = (\rho/2) \cdot A_w \cdot v_5^3 \cdot 4 \cdot (k_h^2 - k_h^3) - (\rho/2) \cdot A_G \cdot (v_5^2 - v_1^2) \cdot ((v_1 + v_5)/2) \text{ wobei:}$$

A_W, A_Gbestrichene, projizierte Windrad- bzw. Gebläsefläche;

$k_h = v_6/v_5$Durchlassfunktion hinten

ρDichte der Luft;

v_1, v_5Windgeschwindigkeiten laut Fig. 1. Daher mit $A_W \approx A_G = A$:

5 $L_{eff} = (\rho/2) \cdot A \cdot [4 \cdot (k_h^2 - k_h^3) \cdot v_5^3 - \frac{1}{2} \cdot (v_5^2 - v_1^2) \cdot (v_1 + v_5)]$ weiters ist

$L_{eff} = (\rho/2) \cdot A \cdot [4 \cdot (k_h^2 - k_h^3) \cdot v_5^3 - \frac{1}{2} \cdot (v_5^3 + v_1 \cdot v_5^2 - v_1^3 - v_1^2 \cdot v_5)]$

Nach Einführung von $v_5 = \varphi \cdot v_1$ ergibt sich:

$L_{eff} = (\rho/2) \cdot A \cdot v_1^3 [4 \cdot \varphi^3 \cdot (k_h^2 - k_h^3) - 0,5(\varphi^3 + \varphi^2 - \varphi - 1)]$.

10 φ ...stellt dabei den Faktor der Geschwindigkeitserhöhung der Windströmung durch die Gebläsewirkung des vorderen Teils der Windturbine dar.

Der Leistungsfaktor beträgt: $1 = [4 \cdot \varphi^3 \cdot (k_h^2 - k_h^3) - 0,5(\varphi^3 + \varphi^2 - \varphi - 1)]$.

15 Dabei ist erkennbar, dass der Leistungsfaktor sowohl von φ , als auch von der Durchlassfunktion hinten k_h abhängt. Bei entsprechender Wahl dieser Parameter, kann der Leistungsfaktor 1 ein mehrfaches des bisher max. theoretischen Wertes von $16/27 \approx 0,5926$ betragen. Bei $\varphi = 0$ bis $0,9$ wirkt der vordere der Turbine noch als Windrad, bremst also die Luftströmung ab, dem Wind wird Energie entzogen. Erst ab $\varphi > 1$ wirkt der vordere Bereich des Rotorkreises - wie erwähnt - als Gebläse.

20 Fig. 1 zeigt eine Draufsicht des erfindungsgemäßen Windkraftsystems, wobei nur zwei Flügel -1- und -2- dargestellt sind. Günstigerweise werden jedoch drei oder auch mehr vertikal oder geneigt stehende Flügel eingesetzt. Der Bereich I stellt schematisch das Gebläse dar, wobei angenommen wird, dass die theor. Gebläsefläche A_G im Linienschwerpunkt S_I der vorderen Kreishälfte des Rotorkreises K liegt und die theor. Windradfläche $-A_W$, die ja in Wirklichkeit ebenfalls eine Halbzylinderfläche darstellt, durch den hinteren Linienschwerpunkt S_{II} verläuft. S_I stellt nun den Strömungsverlauf dar, wenn im vorderen - dem Wind zugewandten Bereich - die Flügel -1- als Gebläse arbeiten. Der Wind wird dabei von v_1 auf den Wert v_5 beschleunigt und dann im Windrad durch die Energieabgabe durch die Flügel -2- auf den Wert v_7 abgebremst. Im Tangentialbereich steht die Sehne der Profile genau in Windrichtung. Der Strömungsverlauf im herkömmlichen Windrad (Propeller- oder Vertikalachsensystem) ist mit S_2 eingezeichnet. Man sieht, dass beim erfindungsgemäßen Verfahren ein wesentlich größerer Strömungsquerschnitt A_1 weit vor der Windkraftanlage entsteht, während beim herkömmlichen Windrad nur ein kleiner Strömungsquerschnitt A_1' vorhanden ist, der sich dann vor dem Windrad I (jetzt als Windrad betrachtet) durch den Staudruck erweitert. Durch den hinteren Bereich des Windrades (man könnte also hier sagen, dass zwei Windräder unmittelbar hintereinander geschaltet sind) strömt dann nur ein Bruchteil der ursprünglichen Luftmasse.

35 Ganz anders bei dem erfindungsgemäßen System: Es wird eine große Luftmenge mit dem Querschnitt A_1 durch das Gebläse -1- angesaugt, auf v_5 beschleunigt und gibt dann erst die Energie an die Windradflügel -2- ab. Beide Flügel -1,2,- sitzen auf derselben Nabe -N- und sind durch die Arme -4,5- miteinander verbunden. Das Windrad treibt also das Gebläse an und gibt dabei Energie ab. Der Effekt ist in Fig. 1 genau dargestellt. Nach der Strömungsgleichung muss die gleiche Luftmenge durch die einzelnen Querschnitte strömen. Es ist also: $A_1 \cdot v_1 = A_5 \cdot v_5 = A_5 \cdot \varphi \cdot v_1$. Es findet also eine Querschnittsverengung statt, wenn die Luft im Gebläse beschleunigt wird: $A_5 = A_1/\varphi$. Es wäre daher sinnvoll, wenn im Bereich der Nabe -N- diese aerodynamisch günstig ausgebildet wäre, um einen möglichst geringen Luftwiderstand zu bieten. Eine derartige Lösung ist in Fig. 1 durch den Nabenteil -N- um diesen drehbar umschließenden, symmetrischen Flügel -6- dargestellt. Dieser Flügel -6- könnte bei einem System mit mechanischer oder elektronischer Verstellung gleichzeitig als Windfahne dienen. Man sieht also, dass eine wesentlich größere Luftmenge $A_1 \cdot v_1$ durch die Windkraftanlage strömt, als bei herkömmlichen Windrädern gleicher Größe, welche nur eine Luftmenge von $A_1' \cdot v_1$ aufweisen. In Fig. 1 sind ferner die Geschwindigkeitsdreiecke eingezeichnet. Die Umfangsgeschwindigkeit u des Flügels -1-, der als Gebläse arbeitet addiert sich geometrisch mit der mittleren im Gebläse befindlichen Geschwindigkeit v_3 , wobei die resultierende Geschwindigkeit V_{RG} entsteht, welche im Winkel α_1 auf den Flügel -1- auftrifft, welcher die Luft auf v_5 beschleunigt. Im hinteren Halbkreis des Rotorkreises -K- arbeiten die Flügel -2- als Turbine. Die Umfangsgeschwindigkeit u addiert sich jetzt geometrisch mit der nun höheren mittleren Durchströmgeschwindigkeit $-v_6-$ durch das Windrad und es entsteht die resultierende Geschwindigkeit v_{RT} , welche im Winkel α_2 auf den Flügel -2- auftrifft, wodurch ein Auftrieb -A-

entsteht, der die Turbine mit dem Drehmoment $A \cdot r$ antreibt. Der Winkel δ gibt dabei die Drehrichtung an, im Beispiel gegen den Uhrzeigersinn. Im Bereich δ von 0 bis π arbeiten die Flügel -1,2- als Gebläse, im Bereich δ von π bis $2 \cdot \pi$ arbeiten die Flügel als Turbine.

Im Gegensatz zur Propellertheorie (sich z.B. HÜTTE, Bd. I, 27. Aufl. 1942, S506ff), bei welcher zur Erzeugung eines Schubes nach dem Impulssatz eine Luftmenge beschleunigt werden muss, deren kinetische Energie verloren ist, wird beim gegenständlichen Verfahren eine hohe kinetische Energie der Luftmassen nach dem Gebläse erwünscht. Wenn man die Strahlableitung infolge des Beschleunigungsimpulses hinter der vorderen Rotorkreisfläche vernachlässigt, hängt der Strahlenergiegewinn des Luftstrahles ab vom Schubbelastungsgrad: $c_s = S / (\rho/2) \cdot v_1^2 \cdot A_G$, wobei S den Schub darstellt $S = I(\rho/2) \cdot A_G \cdot (v_5^2 - v_1^2)$. Daraus folgt $c_s = (v_5^2/v_1^2) - 1$. Wird noch der obige Faktor φ eingeführt, dann folgt $c_s = \varphi^2 - 1$. Würde das Gebläse als Propeller arbeiten müssen, bei welchem nur Schubkraft gefordert ist, wäre der Wirkungsgrad $\eta_P = 2/[1+(1+c_s)^{1/2}]$ eher schlecht gestellt. In unserem Fall jedoch, wo die kinetische Energie der Luftmenge gefragt ist, ist der Wirkungsgrad als Gebläse sehr hoch. Der Anstellwinkel α_1 , der sich während des Umlaufes stetig ändert, ist nun so zu wählen, dass die gewünschte hohe Beschleunigung der Luftströmung durch die Gebläsewirkung erfolgt und kann anhand der einschlägigen Tabellen, z.B. für Luftschrauben, einprogrammiert werden. Ebenso der Winkel α_2 , der als Turbine arbeitenden Flügel -2-, deren Berechnung bereits in der AT 408 022 B angeführt ist. Es entsteht somit durch das erfindungsgemäße Verfahren eine Art TURBO-EFFEKT, ähnlich wie bei der Aufladung bei einem Verbrennungsmotor, weshalb diese Anlage auch als „Turbo-Windkraftanlage“ bezeichnet werden kann.

Die Steuerung der Flügel -1,2,- (vorzugsweise werden drei Flügel verwendet) kann wie bereits erwähnt, mechanisch erfolgen, z.B. mittels Exzentersteuerung mit einer Windfahne, elektrisch oder hydraulisch, mittels Hydraulikzylinder, welche die Schwenkbewegung der Flügel ausführen, wobei ein eigenes Computerprogramm die Anstellwinkel α_1 und α_2 permanent nach Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Rotordrehzahl usw. steuert bzw. regelt. Das Flügelprofil wird vorzugsweise asymmetrisch gewählt. Es ist zu beachten, dass aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten auch große Schubkräfte auf die Flügel -1,2- wirken und diese daher entsprechend festigkeitsmäßig ausgeführt werden müssen.

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen beispielsweise Ausführungen von Windkraftanlagen nach dem erfindungsgemäßen System. Fig. 2 zeigt einen Turm -T-, der mit einem Fundament -15- mit dem Boden verbunden ist. Oben befindet sich die Nabe -N-, welche den Generator -9- antreibt, der auch das Traglager für den Rotor trägt. Es sind drei Flügel -1,2,3- vorgesehen, welche an den Tragsternen -7,8-, um ihre senkrechte Achse -10,11;12,13;14,14a- schwenkbar verbunden sind. Die Verstelleinrichtungen, z.B. Exzenterstangen oder Hydraulikzylinder sind nicht eingezeichnet. Die wirksame Anströmfläche -A- beträgt 2.h.R. Da wie erwähnt, in der Mitte der Nabe -N- große Windgeschwindigkeiten herrschen, durch die Gebläsewirkung im vorderen Bereich des Rotorkreises -K-, wird eine um die Nabe drehbare Fahne -6-, welche auch als Verstelleinrichtung für einen nicht dargestellten, mittig angebrachten Exzenter dienen kann, vorgesehen.

Fig. 3 zeigt eine andere Ausführung, bei welcher die Tragflügel -1,2,3- nach oben zeigen, damit in der Windradmitte kein Widerstand auftritt. Die Flügel -1,2,3- sind nur im oberen Bereich, oberhalb des Tragsternes -16- schwenkbar. Die Flügelbereiche -1a,2a,3a- dienen als Lagerstellen. Die Tragarme -17- und -18-, sowie die oberen Flügelverbindungen -19- dienen zur Versteifung der Windradkonstruktion. Die Flügel -1,2,3- könnten jedoch auch nach unten zeigen. Eine weitere Möglichkeit wäre, vor allem bei Offshore-Anwendungen, dass der Turm - vorzugsweise ein Stahlrohrturm - mitsamt den Tragsternen -7,8- und den Flügeln -1,2,3- mitrotiert, wobei die ganze Einheit im Wasser schwimmend konstruiert ist. Der Generator -9- würde sich dann im Wasser befinden, wobei dann dessen Außen- oder Innenring pendelnd festgehalten werden muß. Bei Sturm würde sich die Anlage neigen und damit selbst schonen.

Damit sind nur einige Beispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der Vorrichtung beschrieben. Es wäre natürlich auch möglich, anstelle eines Vertikalachsensystems auch zwei Propeller, welche auf einer gemeinsamen Welle sitzen zu verwenden, wobei der vordere Propeller als Gebläse und der hintere als Windrad wirkt. A. BETZ hat bereits 1926 auf diese Möglichkeit hingewiesen, jedoch nicht die richtigen Folgerungen gezogen, da er das System in einem Geschwindigkeitsbereich betrachtete, wo die Leistung gerade extrem niedrig ausfällt. Außerdem wäre es sehr teuer und aufwendig zwei Propeller unmittelbar hintereinander auf einem einzigen Turm unterzu-

bringen.

Die Türme -T- nach Fig. 2 oder Fig. 3 sind für Großwindanlagen etwa 50m bis 100m hoch. Der Durchmesser des Rotorkreises -K- ca. 30m bis 60m. Die Generatornennleistung beträgt ca. 1 MW, wobei eine Windkraftanlage nach dem beschriebenen System mehrere herkömmliche Propellerwindkraftanlagen gleicher Nennleistung ersetzen kann, da auch im unteren Windgeschwindigkeitsbereich die Luftströmung effizienter nutzbar ist.

PATENTANSPRÜCHE:

10

1. Verfahren zur effizienten Nutzung der Windenergie, mit einer Windkraftanlage mit vertikaler Achse und parallel oder geneigt zur Achse stehenden, aerodynamischen Tragflügeln (1,2,3), welche während ihres Umlaufes um den Windradturm (T) um ihre Längsachse oder einer parallel dazu liegenden Achse mechanisch, elektrisch oder hydraulisch schwenkbar ausgebildet sind und wobei ein im Bereich der Nabe angeordneter Generator (9), Pumpe oder dgl., vorzugsweise ein getriebeloser Ringgenerator angetrieben wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vordere, dem Wind zugewandte Hälfte des von den Flügeln (1,2,3) bestrichenen Rotorkreises (K), (also von 0 bis π) als Gebläse arbeitet und den eintreffenden Wind zusätzlich beschleunigt und gleichzeitig die rückwärtige Hälfte des Rotorkreises (K) (also von 0 bis 2π) als Windrad arbeitet, welches dem Wind Energie entzieht, sodass also die Tragflächenprofile (1,2,3) im vorderen Bereich als Gebläse und im hinteren Bereich als Turbine im Einsatz sind, wobei die Steuerung der Tragflächen (1,2,3) - wie bekannt - mechanisch, elektrisch oder hydraulisch erfolgt.
2. Verfahren zur effizienten Nutzung der Windenergie nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung der Schwenkbewegung der Flügel (1,2,3) um ihre Längsachse oder einer dazu parallelen Achse abhängig von der Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Drehzahl und dem Leistungsbedarf unter Zuhilfenahme eines Computerprogrammes erfolgt.
3. Vorrichtung zur effizienten Nutzung der Windenergie nach einem Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tragflächen (1,2,3) nach oben und/oder nach unten zeigen und dabei an einem oder mehreren Tragsternen (7,8,16) schwenkbar gelagert sind.
4. Vorrichtung zur effizienten Nutzung der Windenergie nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Offshore-Anwendungen der Turm (T) mitsamt den Flügeln (1,2,3) und den Tragsternen (7,8,16) mitrotiert und das System im Wasser schwimmend ausgeführt ist, wobei sich der Generator im Wasser befindet und vom Turm (T) angetrieben wird.
5. Vorrichtung zur effizienten Nutzung der Windenergie nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich im Bereich der Nabe (N) eine um diese drehbare, aerodynamisch ausgebildete Windfahne (6) befindet.
6. Vorrichtung zur effizienten Nutzung der Windenergie nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Generator (9) auch das Traglager für den Rotor trägt.

25

30

35

40

45

HIEZU 3 BLATT ZEICHNUNGEN

50

55

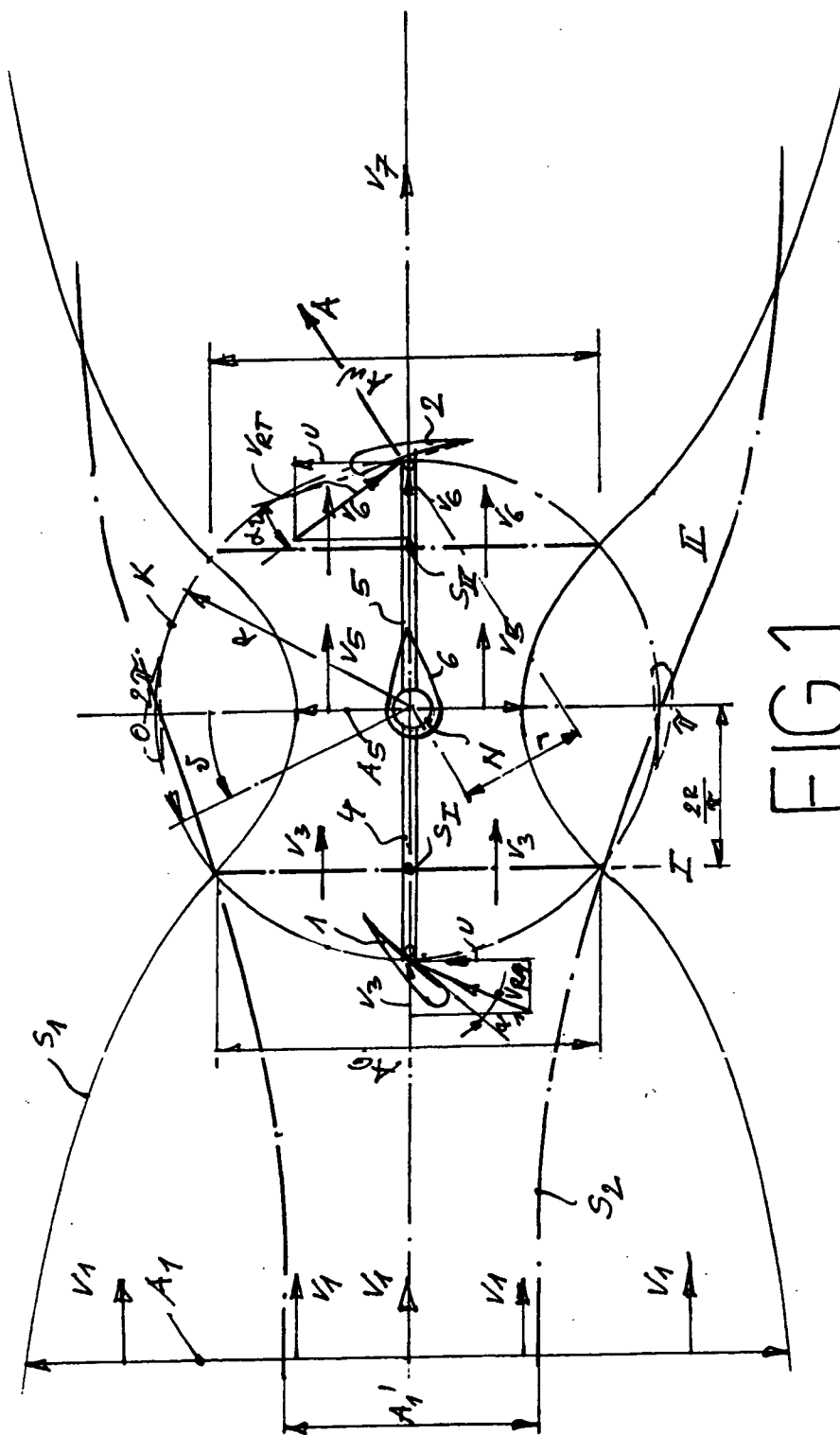


FIG.1

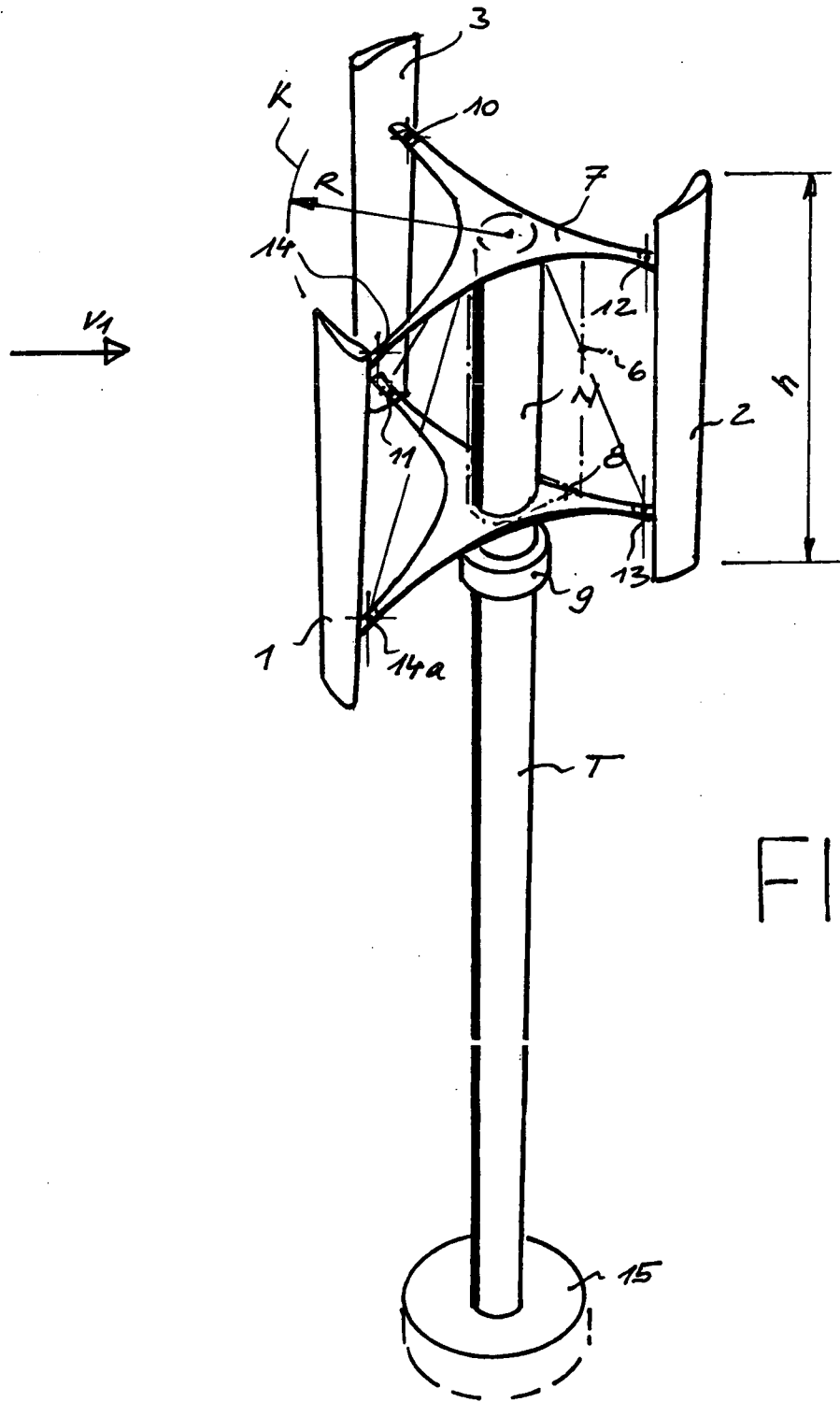


FIG. 2

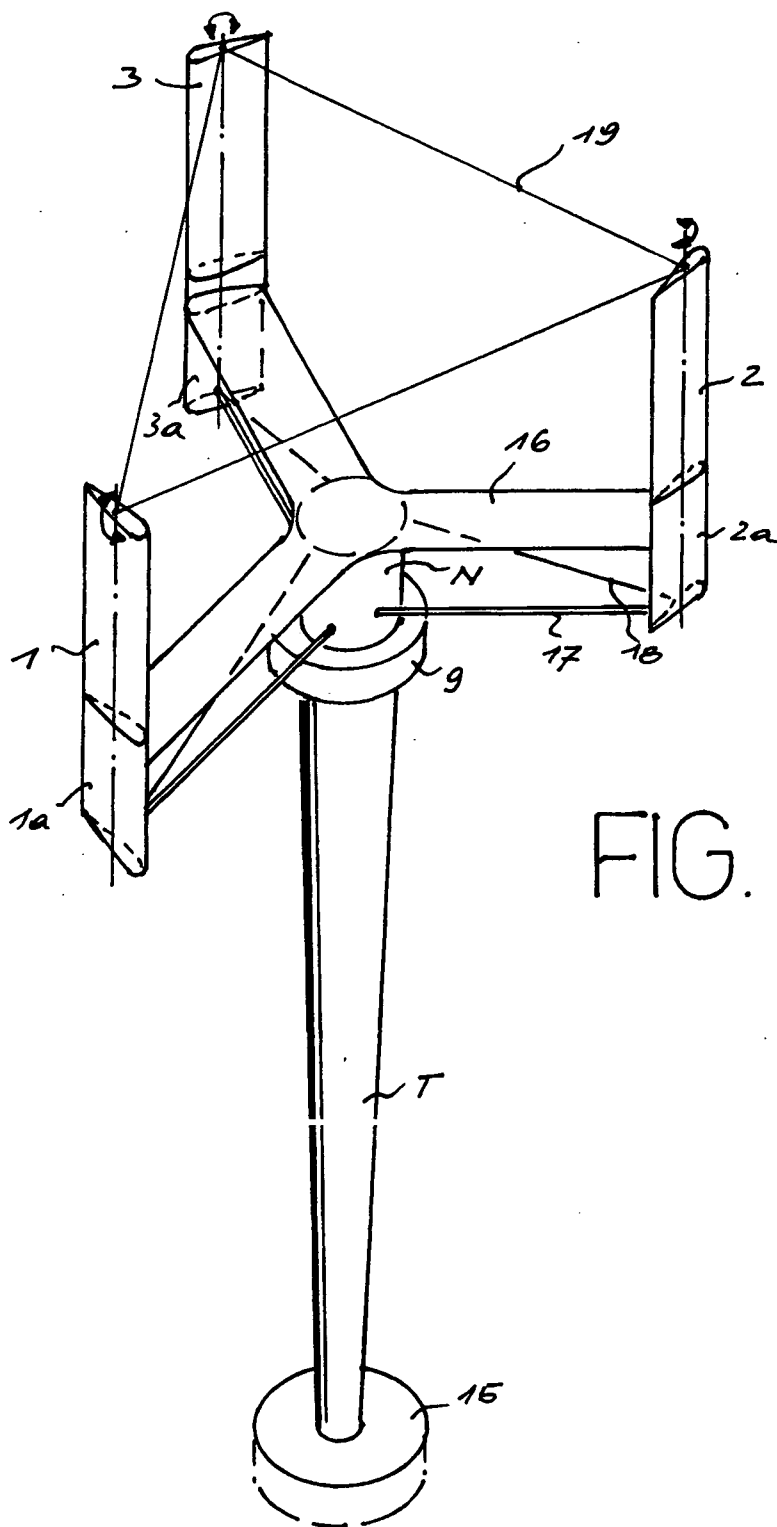


FIG. 3