(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(12) **Patentschrift**

(10) **DE 41 19 428 C 1**

(51) Int. Cl.[5]:
F 03 D 11/04

(21) Aktenzeichen: P 41 19 428.4-15
(22) Anmeldetag: 13. 6. 91
(43) Offenlegungstag: —
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 19. 11. 92

DE 41 19 428 C1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

Zuse, Konrad, Prof. Dr.-Ing. e.h. Dr.mult.rer.nat. h.c. Dr.techn. h.c., 6418 Hünfeld, DE

(74) Vertreter:

Andrejewski, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Honke, M., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Masch, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Albrecht, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte, 4300 Essen

(72) Erfinder:

gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-PS 8 30 180
DE-OS 28 12 465

(54) Windkraftanlage

(57) Windkraftanlage mit einem Mast, der eine Mastbasis aufweist, einen nach Maßgabe der Windrichtung um eine vertikale Achse drehbaren Mastkopf und einer in dem Mastkopf gelagerten Propellerwelle mit Anschluß eines Propellers, wobei über die Propellerwelle mittelbar oder unmittelbar ein Generator antreibbar ist. Der Mast ist auf unterschiedliche Masthöhe ein- und ausfahrbar. An die Propellerwelle sind zumindest zwei in bezug auf den Propellerkreisdurchmesser unterschiedliche Propeller anschließbar. Die unterschiedlichen Propeller sind auf Propeller-Aufnahmeeinrichtungen, die um die Mastbasis verteilt sind, ablegbar. Der Mastkopf ist nach Maßgabe der Propeller-Aufnahmeeinrichtungen um seine vertikale Achse einstellbar. Der Mast ist nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe einstellbar. Außerdem ist bei ausreichend eingefahrenem Mast ein an die Propellerwelle angeschlossener Propeller in eine Propeller-Aufnahmeeinrichtung ablegbar bzw. ein in einer Propeller-Aufnahmeeinrichtung abgelegter Propeller an die freie Propellerwelle anschließbar.

DE 41 19 428 C1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Windkraftanlage mit einem Mast, der eine Mastbasis aufweist und der nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe ein- und ausfahrbar ist, einem nach Maßgabe der Windrichtung um eine vertikale Achse drehbaren Mastkopf und einer in dem Mastkopf gelagerten Rotorwelle mit Anschluß eines Rotors, wobei über die Rotorwelle mittelbar oder unmittelbar ein Generator antreibbar ist.

Bei der bekannten Windkraftanlage, von der die Erfindung ausgeht (DE-OS 28 12 465) hat der Rotor einen vorgegebenen Rotorkreisdurchmesser. In dieser Hinsicht ist die Windkraftanlage fest ausgelegt. Eine Anpassung an unterschiedliche Windrichtungen erfolgt durch die beschriebene, anpassende Drehung des Mastkopfes. Eine Anpassung an unterschiedliche Windgeschwindigkeiten erfolgt lediglich durch eine Herstellung der Masthöhe. Der Wirkungsgrad der Windkraftausnutzung ist verbesserungsbedürftig. Eine andere bekannte Windkraftanlage (DE-PS 8 30 180) hat einen Mast mit einer vorgegebenen, unveränderbaren Höhe und zwei oder mehr Rotoren mit gleichem, vorgegebenem Rotorkreisdurchmesser. Eine Anpassung an unterschiedliche Windgeschwindigkeiten erfolgt hier durch Höhenverstellung einer am Turm verschiebbaren Hülse, an welcher Arme mit den Rotoren zwecks Anpassung an unterschiedliche Windrichtungen drehbar gelagert sind. Auch bei dieser Anlage ist der Wirkungsgrad der Windkraftausnutzung verbesserungsbedürftig. Bei einer weiteren, aus der Praxis bekannten Windkraftanlage hat der Mast eine unveränderbare Höhe und der Rotor hat zwei oder mehr als zwei Rotorblätter und einen vorgegebenen Rotorkreisdurchmesser. Eine Anpassung an unterschiedliche Windrichtungen erfolgt durch eine anpassende Drehung des Mastkopfes, die gesteuert oder windfahnenähnlich erfolgt. Eine Anpassung an unterschiedliche Windgeschwindigkeiten erfolgt durch eine Herstellung des sogenannten Anstellwinkels der Rotorblätter durch Drehung der Rotorblätter um ihre Achse, die mehr oder weniger orthogonal zur Rotorachse verläuft. Das turmartige Bauwerk insgesamt muß zur Aufnahme auch extremer Windkräfte ausgelegt sein, was ein verhältnismäßig schweres und aufwendiges Bauwerk erforderlich macht, zumal die Windkräfte hauptsächlich auch am Mastkopf und damit über den durch die Masthöhe gegebenen langen Hebelarm am Mast und insbesondere an der Mastbasis angreifen. Das ist aufwendig. Der Wirkungsgrad der Windkraftausnutzung ist auch hier verbesserungsbedürftig, weil gerade bei hohen Windgeschwindigkeiten zur Reduzierung der Windkraft an den Rotorblättern Anstellwinkel erforderlich werden, die die Strömung abreißen lassen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Windkraftanlage zu schaffen, welche eine gegenüber der bekannten Ausführungsform mit festem, turmartigen Bauwerk verhältnismäßig leichte Maschine darstellt, die an sehr unterschiedliche Windgeschwindigkeiten anpaßbar ist und stets mit hohem Wirkungsgrad der Windkraftausnutzung arbeitet.

Die Lösung dieser Aufgabe ist gekennzeichnet durch die Kombination der folgenden Merkmale:

a) An die Rotorwelle sind zumindest zwei in bezug auf den Rotorkreisdurchmesser unterschiedliche Rotoren anschließbar,

b) die unterschiedlichen Rotoren sind auf Rotor-Aufnahmeeinrichtungen, die um die Mastbasis verteilt sind, ablegbar,

c) der Mastkopf ist nach Maßgabe der Rotor-Aufnahmeeinrichtungen um seine vertikale Achse einstellbar,

wobei bei ausreichend eingefahrenem Mast ein an die Rotorwelle angeschlossener Rotor in eine Rotor-Aufnahmeeinrichtung ablegbar bzw. ein in einer Rotor-Aufnahmeeinrichtung abgelegter Rotor an die freie Rotorwelle anschließbar ist.

Das Merkmal des Oberbegriffs, daß der Mast ein- und ausfahrbar ist, läßt offen, wie dieses Ein- und Ausfahren im einzelnen geschieht. Das Merkmal besagt lediglich, daß der Mastkopf durch Verlängerung der freien Mastlänge über der Erde auf unterschiedliche Höhe einstellbar ist.

Eine Ausführungsform der Erfindung ist in diesem Zusammenhang dadurch gekennzeichnet, daß der Mast aus einzelnen Mastelementen zusammengesetzt ist, die in zumindest einem Magazin untergebracht und zum Ein- und Ausfahren des Mastes in diesen einbaubar bzw. aus diesem ausbaubar sind. Der Mast kann dabei teleskopartig ein- und ausfahrbar sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Anordnung so zu treffen, daß die Mastbasis eine Mastgrube aufweist und der Mast (als Ganzes) in die Mastgrube einfahrbar und aus dieser ausfahrbar ist.

Turmartige Bauwerke in Form eines Mastes, die ein- und ausfahrbar sind und mit dem Mastkopf auf unterschiedliche Höhe einstellbar sind, sind auch aus anderem Zusammenhang bekannt. So ist es bekannt (CH 4 31 917) Mastabschnitte beim Ausfahren aufeinander zu setzen und beim Einfahren wieder aus dem Mast herauszunehmen, beispielsweise um auf Sportplätzen am Mast Leuchten zu installieren. So ist es auch bekannt (US 34 51 182) einen spiralförmig gewickelten Mastmantel schraubenwendelförmig auszuziehen und wieder einzufahren. Für die erfindungsgemäßen Windkraftanlagen besonders geeignet ist eine gemäß PatG §3 (2) zum Stand der Technik gehörende Ausführungsform (DE 40 24 574.8) bei der einzelne schalenförmige Bauelemente schraubenwendelförmig zusammensetzbar sind und die Höhe des Mastkopfes durch Einbau bzw. Ausbau solcher Bauelemente veränderbar ist.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß bei einer Windkraftanlage, die auf einfache Weise und bei gutem Wirkungsgrad an untschiedliche Windgeschwindigkeiten anpaßbar sein soll, der Mast zu einer Maschine werden muß, deren Höhe aus statischen und stabilitätsmäßigen Gründen der Windgeschwindigkeit anpaßbar ist, und die darüber hinaus auf einfache Weise nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit ein Auswechseln des Rotors ermöglicht, um bei allen Windgeschwindigkeiten mit günstigem Wirkungsgrad zu arbeiten. Das schließt nicht aus, außerdem, wie eingangs beschrieben, eine Drehung der Rotorblätter um ihre Achse, die mehr oder weniger orthogonal zur Rotorachse verläuft, zum Zwecke der Anpassung des Anstellwinkels an die Windgeschwindigkeiten vorzunehmen. Nach bevorzugter Ausführungsform der Erfindung ist von den Rotoren zumindest einer mit kleinem Rotorkreisdurchmesser als Schnelläufer für hohe Windgeschwindigkeiten und einer mit großem Rotorkreisdurchmesser für niedrige Windgeschwindigkeiten ausgelegt. Das Auswechseln der Rotoren erfolgt zweckmäßigerweise automatisch, wozu auf die Hilfsmittel der modernen Handlings- und Steuerungstechnik zurückgegriffen werden kann.

Die Einstellung der erfindungsgemäßen Windkraftanlage auf sich ändernde Windgeschwindigkeiten kann mit den Mitteln der modernen Meß- und Steuerungstechnik sowie mit den Hilfsmitteln der modernen Antriebstechnik ohne Schwierigkeiten und auf verschiedene Weise verwirklicht werden. Die Erfindung lehrt dazu, daß der Mast einen Einfahr/Ausfahr-Antrieb aufweist, der mit einer Steuereinrichtung versehen ist, die nach zeitlichem Programm und/oder nach Maßgabe von zugeführten Meßwerten für die Windgeschwindigkeit arbeitet, und daß die Steuereinrichtung die Masthöhe und/oder das Auswechseln der Rotoren steuert. Nach bevorzugter Ausführungsform ist dabei die Anordnung so getroffen, daß die Steuereinrichtung mit einem Rechner ausgerüstet ist und daß die Meßwerte für die Windgeschwindigkeit dem Rechner zuführbar sind, der die Steuereinrichtung entsprechend betätigt. Es versteht sich, daß die Windgeschwindgkeit ein Vektor ist, zu dem eine Richtung und eine skalare Größe gehören. Folglich kann die Steuereinrichtung im Rahmen der Erfindung auch eine Einstellung des Rotors auf die Windrichtung bewirken. Zweckmäßigerweise ist der Mast über die Steuereinrichtung und den Rechner entsprechend den gemessenen Windgeschwindigkeiten nach Maßgabe vorgegebener Höhenstufen ein- und ausfahrbar, und zwar so, daß nach Überschreitung bzw. Unterschreitung von vorgegebenen Schwellwerten das Einfahren bzw. Ausfahren erfolgt. Es empfiehlt sich, die Auslegung so zu treffen, daß der Mast über die Steuereinrichtung und den Rechner bei böigen Winden nach Maximalwerten der Windgeschwindigkeit, die vom Rechner für vorgegebene Zeitspannen ermittelt sind, ein- und ausfahrbar ist.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung ausführlicher erläutert. Es zeigt in schematischer Darstellung

Fig. 1 eine Ansicht der erfindungsgemäßen Windkraftanlage mit einem Mast,

Fig. 2 den Gegenstand nach **Fig.** 1 in anderer Funktionsstellung,

Fig. 3 eine Draufsicht auf den Gegenstand nach **Fig.** 2, und

Fig. 4 eine graphische Darstellung zur Erläuterung von steuerungstechnischen Maßnahmen bei der Windkraftanlage nach **Fig.** 1.

Die in den **Fig.** 1 und 3 dargestellte Windkraftanlage besitzt einen Mast **1**, der eine Mastbasis **2** aufweist, und einen nach Maßgabe der Windrichtung um eine vertikale Achse **3** drehbaren Mastkopf **4**. In dem Mastkopf **4** ist eine Rotorwelle **5** gelagert, die zum Anschluß eines Rotors **6** eingerichtet ist. Über die Rotorwelle **5** ist mittelbar oder unmittelbar ein Generator angeschlossen, der die von dem Rotor **6** aufgenommene Windenergie in elektrische Energie umsetzt.

Aus einer vergleichenden Betrachtung der **Fig.** 1 bis 3 entnimmt man zunächst, daß der Mast **1** auf unterschiedliche Masthöhe h ein- und ausfahrbar ist. An die Rotorwelle **5** sind zumindest zwei in bezug auf den Rotorkreisdurchmesser unterschiedliche Rotoren anschließbar, die in den **Fig.** 2 und 3 erkennbar und dort durch die Zusätze A und B differenziert sind. Die unterschiedlichen Rotoren **6** sind auf Rotor-Aufnahmeeinrichtungen **7**, **8**, die um die Mastbasis **2** verteilt sind, ablegbar. Der Mastkopf **4** ist nach Maßgabe der Rotor-Aufnahmeeinrichtung **7**, **8** um seine vertikale Achse **3** einstellbar. Die Anordnung und Auslegung im Ganzen sind so getroffen, daß der Mast **1** nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe h einstellbar ist. Die Anordnung ist fernerhin so getroffen, daß bei ausreichend eingefahrenem Mast **1** ein an die Rotorwelle **5** angeschlossener Rotor **6** in eine Rotor-Aufnahmeeinrichtung **7** bzw. **8** ablegbar ist bzw. ein in einer Rotor-Aufnahmeeinrichtung **7** bzw. **8** abgelegter Rotor **6** an die freie Rotorwelle **5** anschließbar ist. Im Ausführungsbeispiel und nach bevorzugter Ausführungsform der Erfindung mag der Mast **1** aus einzelnen Mastelementen zusammengesetzt sein, die in zumindest einem Magazin untergebracht und zum Ausfahren bzw. Einfahren des Mastes in diesem einbaubar bzw. aus diesem ausbaubar sind. Nicht gezeichnet wurde, daß der Mast auch teleskopartig ein- und ausfahrbar sein kann oder daß er als Ganzes beim Einfahren in eine Mastgrube eingeführt werden kann.

Aus der **Fig.** 3 entnimmt man, daß von den Rotoren **6** einer mit kleinem Rotorkreisdurchmesser **9** als Schnellläufer für hohe Windgeschwindigkeiten ausgeführt ist, während ein anderer mit großem Rotorkreisdurchmesser **9** für niedrige Windgeschwindigkeiten eingerichtet ist. — Nicht dargestellt wurden die Meß- und Steuereinrichtungen, auf die sich die Ansprüche 7 bis 9 beziehen.

Zur Erläuterung der den Ansprüchen 7 und 8 entsprechenden Maßnahmen wird auf die **Fig.** 4 verwiesen: Auf der Abszissenachse der **Fig.** 4 ist die Windgeschwindigkeit mit den Werten v_0 bis v_{14} dargestellt worden, auf der Ordinatenachse findet sich die Masthöhe h, deren Werte von a bis f angegeben sind, genauer die Höhen der Rotorachse im Mastkopf. Die Kurve **10** gibt für die Betriebsweise mit Rotoren **6** großen Rotorkreisdurchmessers **9** bei verhältnismäßig kleinen Windgeschwindigkeiten v_0 bis v_6 die Masthöhe an. Die Kurve **11** gibt entsprechend bei verhältnismäßig großen Windgeschwindigkeiten v_6 bis v_{14} die Masthöhen an, wobei sich auf der Rotorachse **5** ein Rotor **6** mit verhältnismäßig kleinem Rotorkreisdurchmesser **9** befindet. Die **Fig.** 4 zeigt, wie die verschiedenen Höhen der Rotorwelle bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten eingestellt werden, und zwar für beide Rotoren **6**. Der Langsamläufer **6** wird bis zur Windgeschwindigkeit v_6 benutzt, wobei als Funktion der Windgeschwindigkeit verschiedene Arbeitshöhen d, e, f eingestellt werden können. Der Wechsel der Höhe erfolgt mit einer gewissen Toleranz und Trägheit, so daß bei schnellwechselnden Windgeschwindigkeiten (Böen) der Mast **1** nicht fortwährend auf- und abgefahren werden muß. So wird zum Beispiel bei v_4 wenn sich die Welle **5** auf Höhe e befindet, diese auf die Höhe d gefahren. Läßt die Windstärke wieder nach, so wird die Welle **5** aber nicht sofort wieder heraufgefahren, sondern erst bei Geschwindigkeit v_3. Dasselbe gilt für die Umstellung von einem Rotor **6** auf den anderen. Bei v_6 erfolgt die Umstellung auf den schnellaufenden Rotor **6**, zu dem die Kurve **11** gehört. Wegen seines geringeren Durchmessers kann er bei höherer Windstärke auf die Höhe b herabgefahren werden.

Es empfiehlt sich, als Berechnungsgrundlage nicht die unmittelbar gemessene Windgeschwindigkeit zu verwenden, sondern eine abgeleitete Berechnungsgeschwindigkeit zu verwenden, die dem Maximalwert der in der vergangenen Zeitspanne von beispielsweise einer Stunde aufgetretenen Windgeschwindigkeit entspricht. Dadurch wird der Einfluß einzelner Böen vermindert und ein zu häufiges Auf- und Abfahren des Turms vermieden. Die Berechnungsgeschwindigkeit kann auf verschiedene Weise ermittelt werden. Beispielsweise wird die Windgeschwindigkeit über einen Analog-Digital-Wandler auf ein Schieberegister geleitet, welches in ei-

nem Zeitabstand Delta t fortgeschaltet wird. Es sind dann die in der vorhergehenden Zeitspanne auftretenden Windgeschwindigkeiten in diesem Schieberegister gespeichert. Daraus kann jeweils der Maximalwert ermittelt werden. Dieser wird der Berechnung entsprechend **Fig.** 4 zugrundegelegt.

Patentansprüche

1. Windkraftanlage mit einem Mast, der eine Mastbasis aufweist und der nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe ein- und ausfahrbar ist, einem nach Maßgabe der Windrichtung um eine vertikale Achse drehbaren Mastkopf und einer in dem Mastkopf gelagerten Rotorwelle mit Anschluß eines Rotors, wobei über die Rotorwelle mittelbar oder unmittelbar ein Generator antreibbar ist, **gekennzeichnet durch** die Kombination der folgenden Merkmale:

   a) An die Rotorwelle (5) sind zumindest zwei in bezug auf den Rotorkreisdurchmesser (9) unterschiedliche Rotoren (6) anschließbar,

   b) die unterschiedlichen Rotoren (6) sind auf Rotor-Aufnahmeeinrichtungen (7, 8), die um die Mastbasis (2) verteilt sind, ablegbar,

   c) der Mastkopf (4) ist nach Maßgabe der Rotor-Aufnahmeeinrichtungen (7, 9) um seine vertikale Achse einstellbar,

   wobei bei ausreichend eingefahrenem Mast (1) ein an die Rotorwelle (5) angeschlossener Rotor (6) in eine Rotor-Aufnahmeeinrichtung (7, 8) ablegbar bzw. ein in einer Rotor-Aufnahmeeinrichtung (7, 8) abgelegter Rotor (6) an die freie Rotorwelle (5) anschließbar ist.

2. Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Mast (1) aus einzelnen Mastelementen zusammengesetzt ist, die in zumindest einem Magazin untergebracht und zum Ausfahren bzw. Einfahren des Mastes in diese einbaubar bzw. aus diesem ausbaubar sind.

3. Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Mast (1) teleskopartig ein- und ausfahrbar ist.

4. Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mastbasis (2) eine Mastgrube aufweist und der Mast (1) in die Mastgrube ein- und ausfahrbar ist.

5. Windkraftanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß von den Rotoren (6) zumindest einer mit kleinem Rotorkreisdurchmesser (9) als Schnelläufer für hohe Windgeschwindigkeiten und einer mit großem Rotorkreisdurchmesser (9) für niedrige Windgeschwindigkeiten ausgelegt sind.

6. Windkraftanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Mast einen Einfahr/Ausfahr-Antrieb aufweist, der mit einer Steuereinrichtung versehen ist, die nach zeitlichem Programm und/oder nach Maßgabe von zugeführten Meßwerten für die Windgeschwindigkeit arbeitet, und daß die Steuereinrichtung die Masthöhe und/oder das Auswechseln der Rotoren steuert.

7. Windkraftanlage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung mit einem Rechner ausgerüstet ist, in dem die für einen vorgegebenen Rotor bzw. eine vorgegebene Windgeschwindigkeit maximale Masthöhe gespeichert ist, und daß die Meßwerte für die Windgeschwindigkeit dem Rechner zuführbar sind, der die Steuereinrichtung entsprechend betätigt.

8. Windkraftanlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Mast über die Steuereinrichtung und den Rechner entsprechend den gemessenen Windgeschwindigkeiten nach Maßgabe vorgegebener Höhenstufen ein- und ausfahrbar ist, und zwar so, daß nach Überschreitung bzw. Unterschreitung von vorgegebenen Schwellwerten das Einfahren bzw. das Ausfahren erfolgt.

9. Windkraftanlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Mast über die Steuereinrichtung und den Rechner (bei böigen Winden) nach Maximalwerten der Windgeschwindigkeit, die vom Rechner für vorgegebene Zeitspannen ermittelt sind, ein- und ausfahrbar ist.

10. Windkraftanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Auswechseln der Rotoren automatisch durchführbar ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

Nummer: DE 41 19 428 C1
Int. Cl.[5]: F 03 D 11/04
Veröffentlichungstag: 19. November 1992

Fig. 2

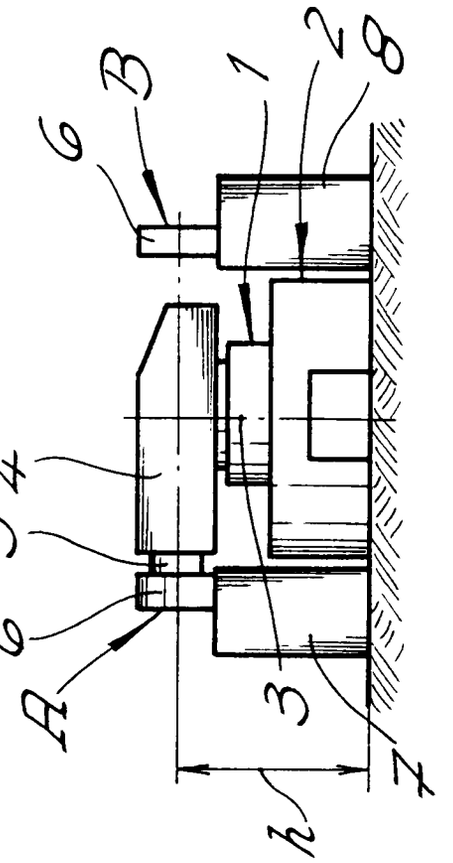
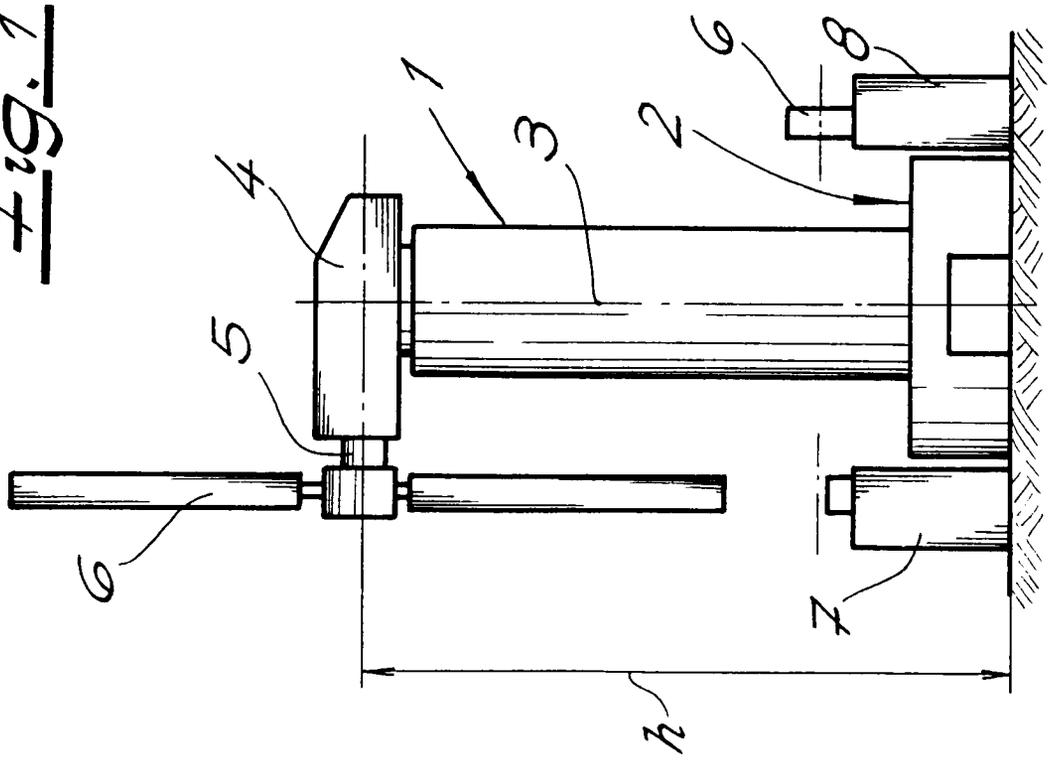
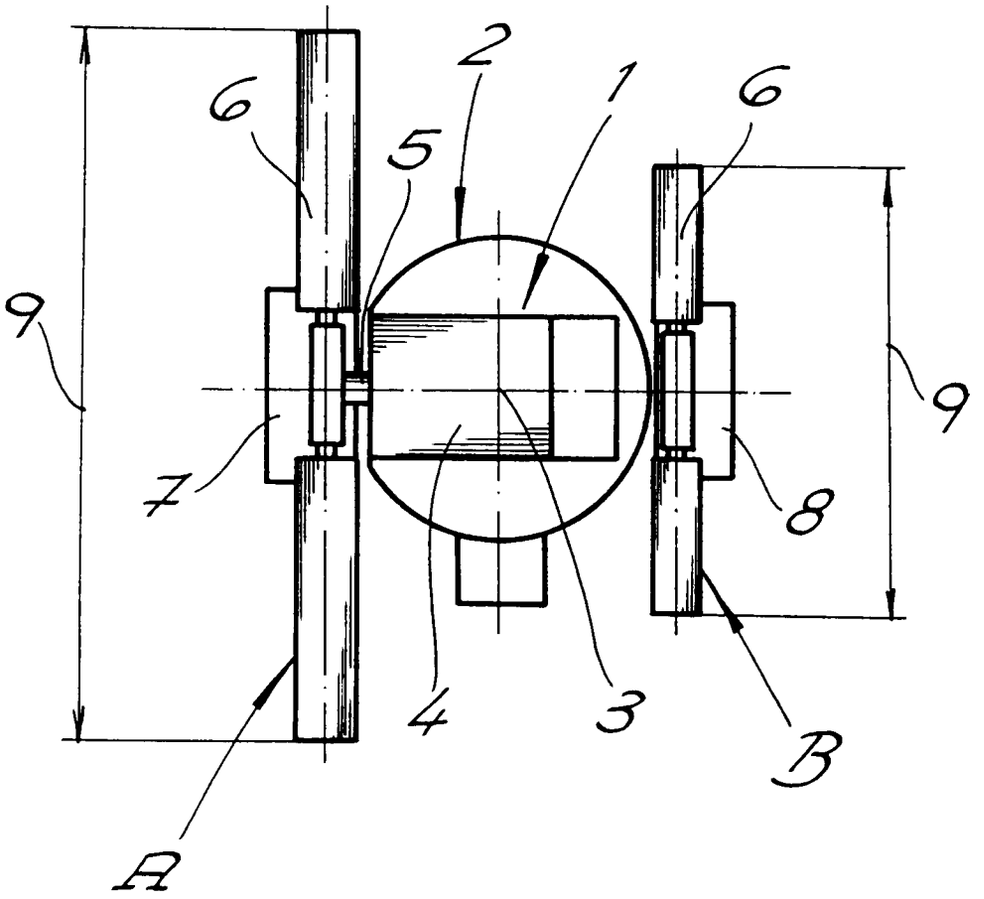


Fig. 1



Nummer: DE 41 19 428 C1
Int. Cl.[5]: F 03 D 11/04
Veröffentlichungstag: 19. November 1992

Fig. 3



Nummer: DE 41 19 428 C1
Int. Cl.[5]: F 03 D 11/04
Veröffentlichungstag: 19. November 1992

