



(19)

REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: AT 412 808 B

(12)

## PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 820/2003  
(22) Anmeldetag: 27.05.2003  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.2004  
(45) Ausgabetag: 25.07.2005

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: F03D 11/04  
F03D 3/00, E04H 12/10

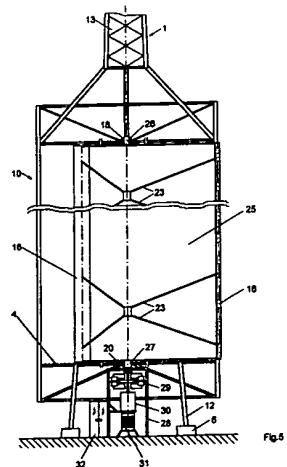
(56) Entgegenhaltungen:  
DE 4106976A1 JP 53-048144A  
DE 29610237U1 DE 29520150U1  
DE 19805667A1 CA 1263940A  
DE 19604476A1

(73) Patentinhaber:  
SCHUBERT PIUS  
A-1050 WIEN (AT).  
(72) Erfinder:  
SCHUBERT PIUS  
WIEN (AT).

### (54) HOCHSPANNUNGSMAST

AT 412 808 B

(57) Die Erfindung betrifft eine im Inneren eines Hochspannungsmastes (1) befindliche Windkraftmaschine zur Erzeugung von elektrischer Energie aus bewegter Luft, wobei der untere Mastteil durch einen im Grundriß größeren Käfig (10) ersetzt ist. Die Wellenstummel (26, 27) oder alternativ die Rotorwelle (17) der Windkraftmaschine, die als Senkrechtläufer (25) ausgebildet ist, sind in der Symmetriearchse des Käfigs angeordnet.



Die Erfindung betrifft einen Hochspannungsmast mit einer im Inneren des Mastes befindlichen Windkraftmaschine zur Erzeugung von elektrischer Energie aus bewegter Luft, bei der der untere Mastteil durch einen Käfig mit vergrößerter Querdimension, in dem die Windkraftmaschine angeordnet ist, ersetzt ist.

5

### Stand der zugrundeliegenden Technik

Bei der Erzeugung elektrischer Energie ist der Trend zu erneuerbaren Energiequellen unter dem Gesichtspunkt der Begrenztheit der Energievorräte der Erde ungebrochen, und unter den gebotenen Möglichkeiten ist die Nutzung der Windenergie prominent vertreten. Die gesamte Leistung, die in der bewegten Luft steckt - etwa  $4,3 \times 10^{12}$  Kilowatt - ist 300 mal größer, als der derzeitige globale Bedarf. Von diesem könnten schließlich immerhin 30% durch sinnvolle Nutzung des Windes abgedeckt werden.

10 Im Jahr 2002 konnte das in Hinsicht Windnutzung führende Deutschland bereits auf 12.000 Megawatt installierte Leistung verweisen. Am weitesten verbreitet als Windkonverter sind 15 Horizontalläufer, also Windräder mit waagrechter Nabe, die nach dem Auftriebsprinzip arbeiten; die kinetische Energie der durch den Wind wirkten Drehbewegung des Rotors wird via eines Getriebes und eines mit diesem gekoppelten Generators in elektrische Energie umgewandelt. Je nach 20 Art der erzeugten elektrischen Spannung - Gleich- oder Wechselspannung - erfolgt eine nachgeschaltete Aufbereitung, um die erzeugte Energie ins Netz einspeisen zu können. Leistungsgrößen von 3.000 Kilowatt sind bereits Standard. Windparks, bestehend aus mehreren Konvertern, die im Verbund arbeiten, mit einer Gesamtleistung von 20 Megawatt und mehr sind üblich.

25 Um die Windgeschwindigkeit besser zu nutzen, werden immer mehr und immer höhere Bauwerke geplant. Aber bei diesen Größenordnungen nimmt der Widerstand der Bevölkerung gegen deren Errichtung zu. Neben der potentiellen Gefährdung durch abbrechende Anlagenteile bei Sturm sind es typische Umweltauswirkungen, wie die optische Landschaftsbeeinträchtigung (Fremdenverkehr!), die Lärmentwicklung, der Schattenwurf und der flirrende Lichtwechsel durch 30 den sich drehenden Konverter (Windrad), die die Menschen irritieren und von ihnen nicht hingenommen werden. Darüber hinaus wird über Störungen des Fernsehempfangs im Umkreis von großen Windenergieanlagen berichtet. Eine vorausschauende Raumplanung und Flächensicherung bei Windparks sind vonnöten. Umweltverträglichkeitsprüfungen sind meist unvermeidlich und 35 dementsprechend lange dauert die Genehmigung neuer Anlagen. Mit der nachstehenden Erfindung kann dieses Problem gelöst werden.

40 Für die Auswahl eines geeigneten Windrades sind verschiedene Kriterien maßgeblich. Für die Stromerzeugungskosten ist neben dem erreichbaren Wirkungsgrad der Aufwand für die Errichtung bedeutsam und welche Zusatzeinrichtungen benötigt werden, also die Höhe der Investitionskosten. Bei einem großen Windkonverter entfällt ein erheblicher Anteil der Errichtungskosten auf die Tragkonstruktion (Turm) sowie auf das Maschinenhaus (Gondel) mit der Vorrichtung zur Windrichtungsnachführung. Daneben spielt auch der konstruktive Aufwand, der durch bestimmte Eigenschaften, wie die Masse der rotierenden Teile, die Schwingungsneigung, die Windangriffsfläche etc. bedingt wird, eine wichtige Rolle, ebenso wie die Eignung der Einzelkomponenten für eine industrielle Fertigung. Dazu kommt eine aufwendige Wartung. Bei Horizontalläufern wird immer ein Turm oder Mast, an dessen Spitze die Nabe des Windrades sitzt, als Tragkonstruktion für den Windkonverter benötigt. Dagegen wird bei manchen Senkrechtläufern, die ohne Tragmast ausgeführt sind und deren unteres Wellenende sich in einem Lager in Bodennähe abstützt, das obere 45 Wellenende durch schräg zum Boden führende Seile abgespannt.

50 Aus der Patentliteratur ist bereits bekannt, Hochspannungsmasten von Überlandleitungen als Stützkonstruktion für Windkonverter zu verwenden, wobei sich der Konverter im Inneren des Mastes befindet. Das Prinzip verlangt allerdings den Einbau von Windrädern, bei denen die Drehachse normal zur Windrichtung steht, sogenannte Senkrechtläufer. Senkrechtläufer zeichnen sich dadurch aus, daß sie - anders als Horizontalläufer - windrichtungsunabhängig arbeiten und daher keine Nachführung bei wechselndem Wind benötigen. Die hohe, gestreckte Bauweise von Hochspannungsmasten führt zu schlanken Rotoren, bei denen die Bauhöhe deutlich größer als ihr Durchmesser ist.

55 In der DE 41 06 976 A1 wird ein Hochspannungsmast beschrieben, in dessen Inneren ein oder mehrere Darrieus-Rotoren mit einer gemeinsamen vertikalen Achse in Verbindung mit einem

Generator angeordnet sind, wobei der erzeugte Strom in am Mast hängende Leitungen eingespeist wird. In ähnlicher Form wird in der DE 296 10 237 U1 der Einbau eines senkrecht gelagerten Flettner-Rotors in Verbindung mit einem Stromgenerator in einen Hochspannungsmast beschrieben; der erzeugte Strom wird in ein zusätzliches Windenergie-Netz eingespeist, dessen Leitungen an den vorhanden Masten verlaufen. Auch nach der DE 295 20 150 U1 bzw. nach der DE 196 04 476 A1 sind verschiedene Windkraftanlagen mit senkrechter Achse im Inneren von Freileitungsgittermasten angeordnet, während die JP 53 - 048 144 A den Einbau von mehreren, übereinander angeordneten Darrieus-Rotoren in das Fachwerk eines Radiomastes beschreibt.

Allen angeführten Anordnungen haftet jedoch der Nachteil an, daß die verfügbaren Standardmaste nur einen geringen Anströmquerschnitt bieten. Zudem verursachen die Verstrebungen des Fachwerks eine teilweise Abschattung sowie eine Verwirbelung der Luftströmung. Beides reduziert die mögliche Energieausbeute.

In der Regel weisen Senkrechtrläufer eine im Ganzen durchgehende oder bei mehreren übereinander angeordneten Rotoren eine aus den Einzelwellen zusammengesetzte Rotorwelle auf. Die Rotorwelle stellt bei Darrieus- und bei H-Darrieusläufern für den Wind ein zusätzliches Hindernis dar: Die Geschwindigkeit des Windes wird vermindert, bevor er auf den Rotorflügel trifft, wenn sich dieser auf der Leeseite befindet. In der CA 1 263 940 A wird zwar ein Rotor ohne Welle und die Lagerung des Rotors mit einem oberen und einem unteren Wellenstummel beschrieben, doch bleibt dieses Konstruktionsmerkmal ohne Einfluß auf den wirksamen Strömungsquerschnitt, weil dieser durch die Rotorflügel ohnehin ständig zur Gänze abgedeckt wird.

Es stellt sich somit die Aufgabe, die Kombination Hochspannungsmast - Windkraftmaschine so zu gestalten, daß die Energieausbeute vergrößert und gleichzeitig eine wirtschaftlich herstellbare Anordnung gefunden wird.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der untere Teil des Hochspannungsmastes, in dem die Windkraftmaschine angeordnet ist, für eine ergiebigere Windausbeute vergrößert wird. Da man bei der Windnutzung auf eine relativ niedrige Energiedichte angewiesen ist und daher möglichst große Strömungsquerschnitte angestrebt werden, kann dem bei der Neuerrichtung von Hochspannungsleitungsnetzen gleich mit einer entsprechend geänderten Mastform mit einer vergrößerten Querdimension Rechnung getragen werden. Aber auch bei bereits bestehenden Masten ist ein Umbau des fraglichen Bereiches denkbar: Dabei kann - gegebenenfalls ohne Unterbrechung des Netzbetriebs - ein verbreitertes Tragwerk mit einem regelmäßigen Vieleck als Grundriß um den bestehenden Mast herum errichtet und mit dem Fundament sowie dem unverändert bleibenden oberen Mastabschnitt verbunden werden. Anschließend wird der sich im Inneren befindliche untere Mastabschnitt entfernt. Aus aerodynamischen Gründen sollte dabei die Zahl der Verbindungsstäbe verringert oder diese überhaupt weggelassen und der Verlust an Steifigkeit der Konstruktion durch andere Maßnahmen kompensiert werden. Zum Beispiel können großkalibrige Rohre, die zusätzlich ausgeschäumt oder mit Beton gefüllt sind, als tragende Elemente verwendet werden. Eine weitere Verbesserung der Stabilität gegen Sturm, aber auch gegen Schwingungen wird erreicht, wenn die Tragsäulen nicht streng vertikal stehen, sondern geringfügig pyramidenartig nach innen geneigt sind. Eine Vergrößerung des Mastquerschnittes um einen erheblichen Betrag ist somit auf einfache Art und Weise erreichbar, wobei die Höhe des Mastes mit der vorgegebenen Lage der Stromleitungen unverändert bleibt.

Zur Verbesserung der Aerodynamik kann auf eine durchgehende Rotorwelle verzichtet werden, da sie ebenso wie die statische Tragkonstruktion einen Verlust an Windenergie bewirkt; für die Lagerung des Rotors reichen ein oberer und ein unterer Wellenstummel aus. Die Rotorblätter können dagegen mittels quer verlaufender Seile oder Stäbe ohne großen Strömungsverlust gegeneinander abgestützt werden.

Die Vorteile sind evident: Es entsteht ein in der Regel vernachlässigbarer zusätzlicher Grundstückbedarf im Vergleich zu einem Standard - Hochspannungsmast, aber auch zu einem Großwindrad. Wegen der vergleichsweise niedrigen Bauhöhe werden Belästigungen und potentiellen Gefahren minimiert, und eine Umweltverträglichkeitsprüfung kann unterbleiben. Daraus resultiert eine kurze Errichtungsdauer. Der erzeugte elektrische Strom wird nach bekannter Technik ins Netz eingespeist. Geringe räumliche Distanzen zum Netz verbilligen die Netzanbindung, wobei das Kollektiv der Masten zur Stromleitung bis zur Einspeisestelle mitbenutzt werden kann. Der Faraday-Käfig des Stahlmastes bietet einen inhärenten Blitzschutz. Aus der Standardisierbarkeit (viele

Strommaste sind baugleich) folgen kostengünstig herstellbare Komponenten. Wichtige Elemente, wie Bremse, Schwungrad, Getriebe, Generator etc. befinden sich in Bodennähe und sind somit für Montage, Inspektion, Wartung und Reparatur leicht zugänglich.

Durch Zusammenfassen einer Anzahl von mit Konvertern ausgestatteten Strommästen können ähnliche Strommengen wie mit Großwindrädern erzeugt werden, aber ohne deren gravierenden Nachteile bei der Errichtung und im Betrieb.

Die Erfindung wird anhand der beigefügten Zeichnungen veranschaulicht:

In Fig. 1 ist ein Standard - Hochspannungsmast dargestellt, in dem der für den Einbau eines Windrades in Betracht kommende Bereich besonders gekennzeichnet ist.

Fig. 2 beschreibt einen modifizierten Mast mit einem vergrößerten unteren Bereich.

Fig. 3 zeigt eine weitere Bauvariante mit einem vergrößerten Innenraum und mit eigenen Mastfundamenten.

In Fig. 4 ist die Anordnung eines 2-flügeligen H-Darrieusläufers in Segmentbauweise in einem Käfig mit schrägen Tragsäulen dargestellt.

Fig. 5 zeigt das Beispiel eines 3-flügeligen H-Darrieusläufers ohne Rotorwelle, der unter Verwendung eines oberen und eines unteren Wellenstummels gelagert wird.

In Fig. 1 ist anhand eines Standard - Mastes (1) der räumliche Bereich (2), der als Anströmquerschnitt für die Anordnung eines Senkrechtläufers gemäß dem Stand der Technik zur Verfügung steht, schraffiert dargestellt. Dieser Bereich kommt für eine Vergrößerung, wie sie in den folgenden Figuren dargestellt werden, in Betracht. Das Fachwerk ist mit allen Verbindungsstäben (14) dargestellt. Der darunter befindliche freie Bereich (3) - etwa bis zu einer Höhe von z.B. 3 m - steht für Getriebe, Bremse, Schwungrad (falls vorgesehen), Generator, Schaltschrank und andere Komponenten der elektrischen Anlage zur Verfügung. Gegen absichtliches oder unabsichtliches Hineingreifen in den sich drehenden Rotor von unten ist die Anordnung eines Schutzgitters (4) zweckmäßig. Der freie Zugang zur Windkraftanlage kann bei Bedarf durch einen Zaun (5) außerhalb der Mastfundamente (6) verhindert werden; eine zusätzliche seitliche Abgitterung im Bereich des Rotors ist aus naheliegenden Gründen nicht sinnvoll. Die Begrenzung (33) des Nutzbereiches ergibt sich zwangsläufig aus der Verjüngung des Mastes und nach oben aus der aus Sicherheitsgründen notwendigen Distanz zu den Stromleitungen. Im Schnitt A-A ist der grundsätzlich quadratische Mastquerschnitt erkennbar, in den eine Rotorkreisbahn (7) eingeschrieben ist.

In Fig. 2 ist ein Mast (1) mit einem quadratischen Grundriß und mit einem vergrößerten Anströmquerschnitt (2) für den Wind dargestellt. Diese Vergrößerung kann nachträglich an einem bereits vorhandenen Mast durch Umbauen desselben vorgenommen werden sein, sie kann aber auch bereits eine Neukonstruktion darstellen. Dazu ist ein Käfig (10) mit senkrechten Tragsäulen (11) mit dem unteren (12) und dem oberen (13) Teil des ursprünglichen Mastes verbunden und dessen dazwischen befindliche Teil weggelassen. Die Anzahl der Verbindungsstäbe (14) des Fachwerks im Bereich des Anströmquerschnitts (2) für das Windrad ist aus aerodynamischen Gründen stark reduziert bzw. sie sind überhaupt weggelassen, wobei eine Kompensation des Steifigkeitsverlustes durch zusätzliche Verstrebungen oberhalb (8) und unterhalb (9) des Käfigs sowie durch Verwendung biegesteifer Rohre für die Tragsäulen erfolgt. Ein weiterer strömungsphysikalischer Vorteil dieser Anordnung ist auch dadurch gegeben, daß der Abstand der vier senkrecht stehenden Säulen (11) des Käfigs von der Rotorkreisbahn (7) so groß ist, daß sich die durch diese hervorgerufenen Turbulenzen in der Luft bis zum Auftreffen auf die Rotorflügel teilweise beruhigt haben.

Mit Fig. 3 wird eine andere Ausführungsvariante mit einem 8-eckigen Grundriß gezeigt. In diesem Fall ist beispielhaft eine völlige Neugestaltung des unteren Mastteiles einschließlich eigener Säulenfundamente (6) vorgesehen, wohingegen der Mastoberteil (13) dem des Standard - Mastes (1) entspricht. Im Detail ist auch dargestellt, wie die Befestigung der Verbindungsstäbe (14) (oder auch der Verstrebungen (8, 9)) mit den Tragsäulen (11) - z.B. geschraubt oder geschweißt - ausgeführt sein kann.

Fig. 4 zeigt den allgemeinen Aufbau eines Vertikalläufers an Hand eines 2-flügeligen H-Darrieusläufers (15) in einem Käfig mit schrägen Tragsäulen (11). Das Windrad ist modular in mehrere übereinander angeordnete Einzelrotoren segmentiert, deren Durchmesser nach oben kleiner werden und sich der Verjüngung des Käfigs anpassen, indem die Flügelblätter (16) parallel zu den Begrenzungsflächen des Käfigs (10) ausgerichtet sind, so daß sie bei der Rotation einen

Kegelstumpf umschreiben. Die einander diametral gegenüberstehenden geraden Flügelblättern (16) weisen ein - nicht näher dargestelltes - aerodynamisch geformtes Profil auf. Sie können aus einem leichten Aluminium-Strangpreßprofil, aus glasfaserverstärktem Kunststoff oder aus anderen, für Rotorflügel erprobten Materialien hergestellt sein. Die Flügelblätter der einzelnen Rotoren sind nicht durchgehend miteinander verbunden. Dagegen ist die Welle (17) segmentiert, die Enden sind mittels einer das Drehmoment übertragenden Paßform aneinander gefügt, und das jeweilig untere Ende ist in einem Radiallager (18) geführt, das mittels 4 Verstrebungen (21) an der Tragkonstruktion (11) befestigt ist. Die Verbindungsstelle (19) der Wellenteilstücke ist mittels einer rutschsicher ausgebildeten Sicherungshülse (24) gegen ein unbeabsichtigtes Auseinandergleiten während des Betriebes gesichert. Die unterste der Segmentwellen (17) ist mittels einer gleichartigen Paßverbindung (19) mit einem Übergangsstück (22) zusammengefügt, das die Abstützung des Gewichtes des Windrades in einem als Spurlager dienenden Axiallager (20) bewirkt. Das Spurlager ist mittels der Verstrebungen (21) mit den vier Säulen verbunden. Das Übergangsstück überträgt die Drehbewegung der Darrieusläufer auf die Generatorwelle. Die Rotorblätter (16) sind in statisch günstiger Weise mittels aerodynamisch geformter Streben (23) am zugehörigen Wellenteilstück befestigt. Das nebenstehende Detail zeigt vergrößert die Segmentwelle (17) mit der Paßverbindung (19) zweier Teilstücke, die rutschfeste Sicherungshülse (24) der Verbindung, ein Radiallager (18) und das untere Spurlager (20).

In Fig. 5 ist das Beispiel eines H-Darrieus - Rotors (25) mit drei achsparallelen Rotorblättern (16) aus einem aerodynamisch geformten Profil dargestellt: Diese sind gegenseitig mehrfach abgestützt und benötigen keine durchgehende Welle, damit sie den Vorteil einer höheren Windausbeute beziehungsweise eine für den Sturmfall bedeutsame geringere Windangriffsfläche aufweisen. Sie sind am oberen (26) und am unteren (27) Ende mit Wellenstummeln versehen, die oben von einem Radiallager (18), das in der Käfigkonstruktion (10) verankert ist, und unten von einem Axiallager (20) geführt werden, das von einem Gestell (28) getragen wird. Die übrigen betriebsnotwendigen Komponenten, wie die Bremse (29), das Getriebe (30) zur Übersetzung der Rotordrehzahl auf die benötigte Drehzahl für den Generator und der Generator (31) befinden sich in Bodennähe, u.z. in der verlängerten Achse der Rotorwelle unterhalb des Rotors. (Der Generator kann in einer anderen Ausführungsvariante auch neben der Wellenachse angeordnet sein, wobei die Übertragung der Drehbewegung der Rotorwelle auf die dazu parallele Generatorwelle z.B. mittels eines Zahnriemens erfolgen kann). Ein Schaltschrank (32) ist neben dem Generator angeordnet und rundet die elektrische Ausstattung des Windenergiekonverters ab.

35

## PATENTANSPRÜCHE:

1. Hochspannungsmast mit einer im Inneren des Mastes (1) befindlichen Windkraftmaschine zur Erzeugung von elektrischer Energie aus bewegter Luft, **dadurch gekennzeichnet**, daß der untere Teil des Hochspannungsmastes durch einen Käfig (10) mit einer vergrößerten Querdimension und einem regelmäßigen Vieleck als Grundriß ersetzt ist, in dem die Windkraftmaschine angeordnet ist.
2. Hochspannungsmast nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Käfig (10) im Bereich des Anströmquerschnittes (2) ohne Fachwerksverbindungsstäbe (14) ausgeführt ist.
3. Hochspannungsmast nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Tragsäulen (11) des Käfigs (10) leicht pyramidenartig nach innen geneigt sind.
4. Hochspannungsmast nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Windkraftmaschine eine vertikale Drehachse aufweist, die in der Symmetriearchse des Hochspannungsmastes angeordnet ist.
5. Hochspannungsmast nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Windkraftmaschine als H-Darrieus-Rotor (15) ausgeführt ist.
6. Hochspannungsmast nach Anspruch 3 und 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Windkraftmaschine in übereinander angeordnete, von unten nach oben kleiner werdende Einzelrotoren unterteilt ist, deren Flügel (16) parallel zu den Begrenzungsflächen des Käfigs (10) ausgerichtet sind und deren Rotorwellen (17) miteinander verbunden sind.

7. Hochspannungsmast nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die wellenlos ausgeführte Windkraftmaschine mittels eines oberen (26) und unteren (27) Wellenstummels im Käfig (10) gelagert ist und über ihre Länge durchgehende, sich gegenseitig abstützende Rotorblätter (16) aufweist.

5

**HIEZU 5 BLATT ZEICHNUNGEN**

10

15

20

25

30

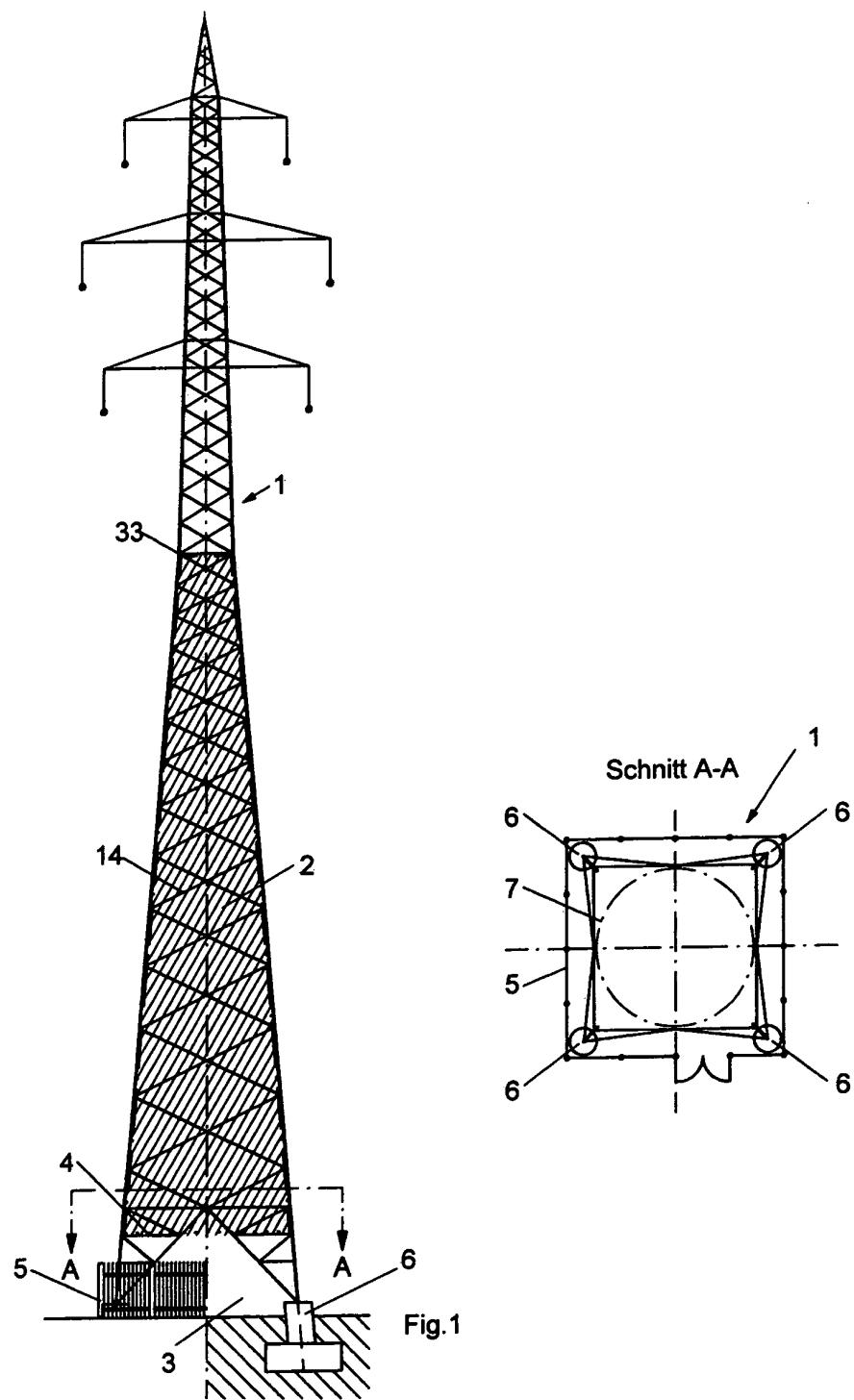
35

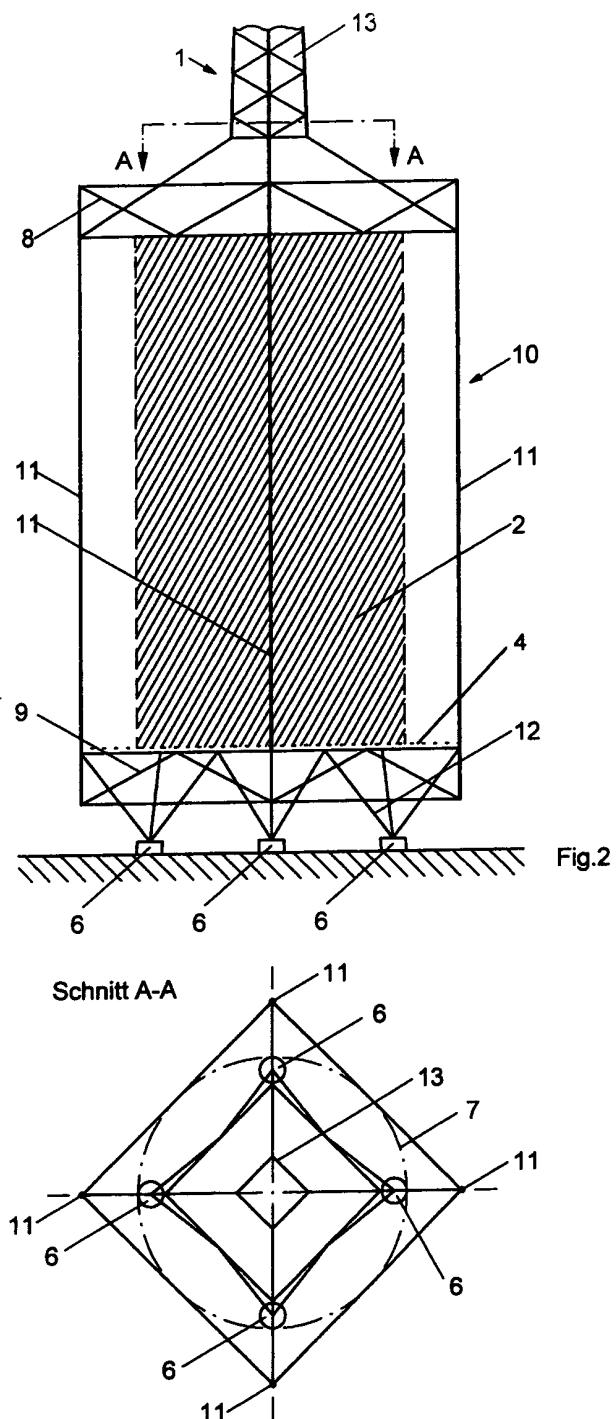
40

45

50

55





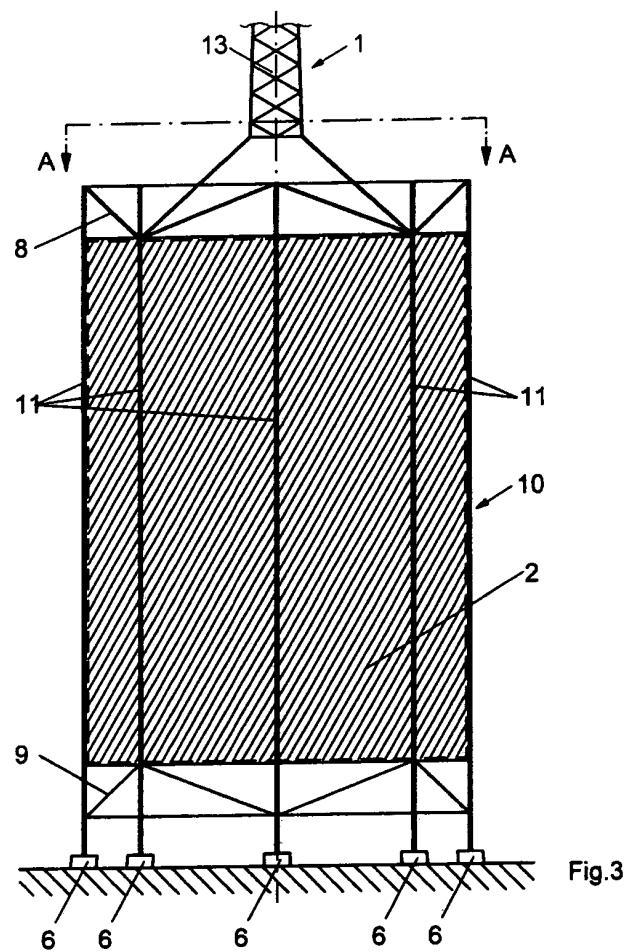
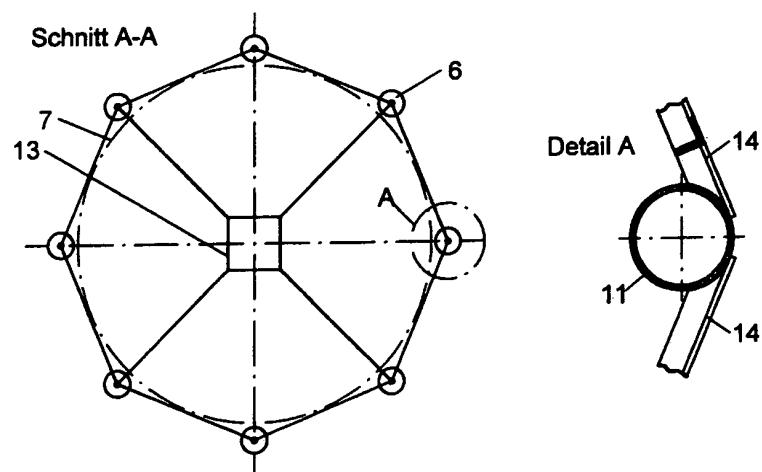


Fig. 3



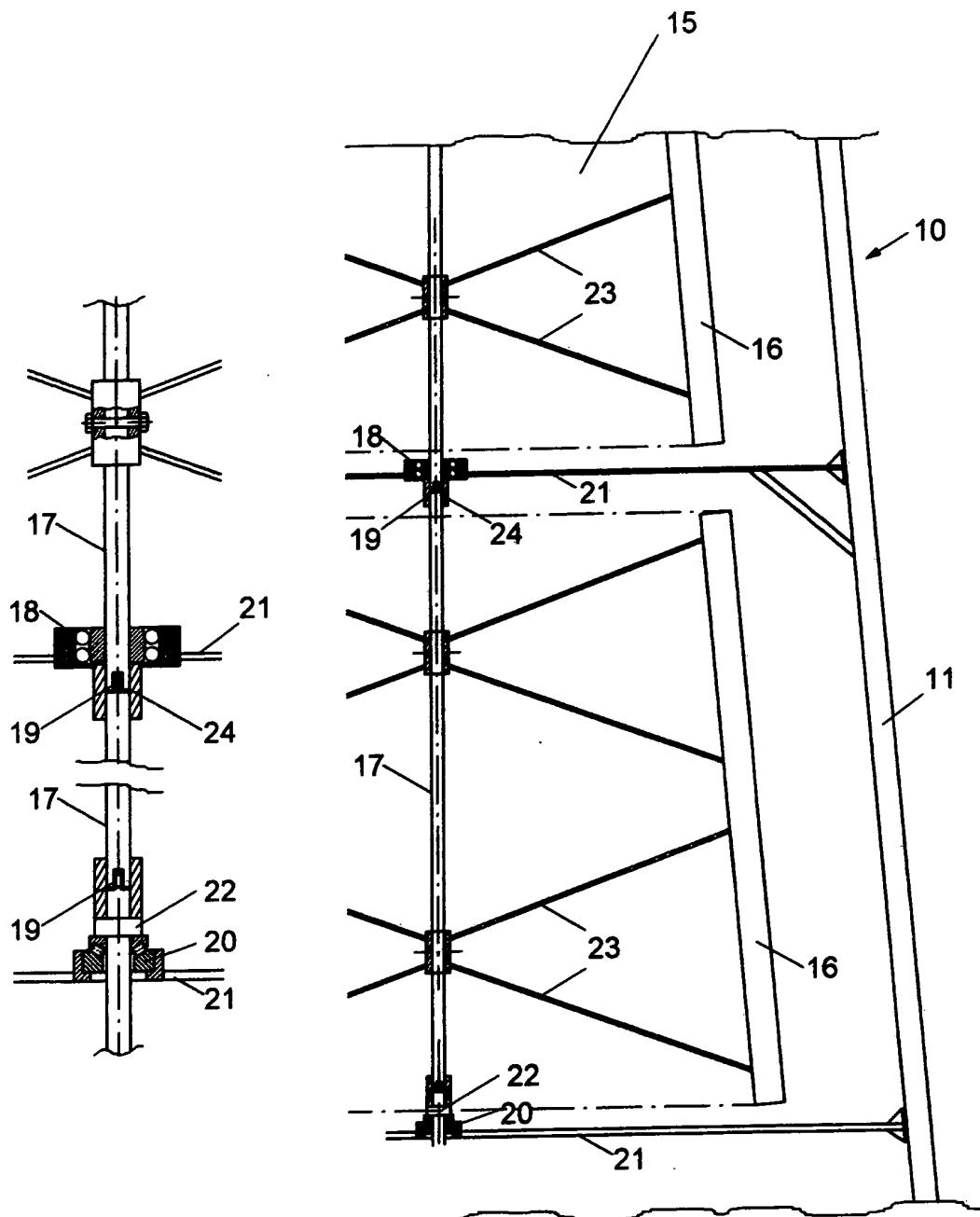


Fig.4

