



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 57 392 A1** 2005.04.21

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 57 392.5**
 (22) Anmeldetag: **09.12.2003**
 (43) Offenlegungstag: **21.04.2005**

(51) Int Cl.7: **E04H 12/00**
E02B 17/02, E04H 12/34, F03D 11/00,
F03D 11/04

(66) Innere Priorität:
103 41 731.1 08.09.2003

(71) Anmelder:
Oevermann GmbH & Co. KG Hoch- und Tiefbau,
48153 Münster, DE

(74) Vertreter:
Dr. Hoffmeister & Tarvenkorn, 48147 Münster

(72) Erfinder:
Funke, Günther, 48165 Münster, DE

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

DE 101 09 040 C1
DE 101 01 405 A1
DE 100 61 916 A1
DE 202 07 941 U1
DE 201 09 981 U1
GB 23 02 356 A
US 65 75 665 B2
US 46 87 380
US 45 53 878

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

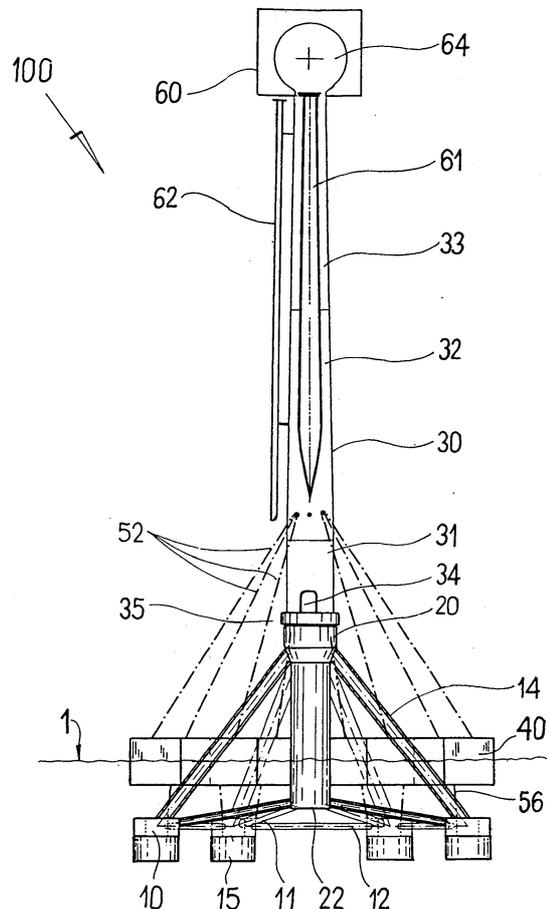
(54) Bezeichnung: **Turmbauwerk, insbesondere für eine Windenergieanlage**

(57) Zusammenfassung: Ein Turmbauwerk (100), insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, besitzt wenigstens:

- drei Fundamente (15), die auf eine Aufstandsebene aufzusetzen sind und die an Fundamentknotenelementen (10) jeweils paarweise über Peripherverbindungsstäbe (11) miteinander verbunden sind,
- Stützstäbe (14), die sich jeweils von einem Fundamentknotenelement (10, 10.1...10.6) bis zu einem oberhalb der Aufstandsebene angeordneten Turmbasislager (20) erstrecken; und
- eine Turmsäule (30), die auf das Turmbasislager (20) aufgesetzt ist.

Ein Transportsystem dafür umfasst einen Ring aus Pontons (40), welche:

- in der Schwimmebene über Sternverbindungselemente mit dem Turmbasislager (20) und/oder einem sich darunter befindlichen Mittelrohr (22) verbunden sind,
- mit der Turmsäule (30) und/oder mit dem Turmbasislager (20) über Zugelemente (52) verbunden sind, wobei die Zugelemente mit der Mittelachse der Turmsäule einen Winkel kleiner 45° einschließen und
- mit den Fundamentknotenelementen (10) und/oder den Fundamenten (15) über Ankerketten (56) verbunden sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Turmbauwerk, insbesondere für eine Windenergieanlage.

Stand der Technik

[0002] Windenergieanlagen werden zunehmend im Meer vor der Küste errichtet, da wegen der dortigen besseren Windverhältnisse eine größere Energieausbeute möglich ist, und auch, weil die Aufstellung an Land wegen Geräusentwicklung, Schattenwirkung etc. zunehmend weniger akzeptiert wird.

[0003] Bei solchen Offshore-Windenergieanlagen ergeben sich Probleme insbesondere bei der Schaffung eines festen Fundaments für das Turmbauwerk auf See, sowie der Transport der Turmsäule mit der darauf befindlichen Gondel, in der der Rotor mit den Flügeln gelagert ist und in der der Generator zur Erzeugung elektrischer Energie untergebracht ist.

[0004] Gleichartige Probleme ergeben sich auch bei anderen auf dem Meeresgrund zu errichtenden Bauwerken, beispielsweise Brückenpfeilern.

Aufgabenstellung

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein standsicheres, einfach zu transportierendes und aufzubauendes Turmbauwerk zu schaffen.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Turmbauwerk gelöst, insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, mit wenigstens:

- drei Fundamenten, die auf eine Aufstandsebene aufzusetzen sind und die an Fundamentknotenelemente jeweils paarweise über Peripherverbindungsstäbe miteinander verbunden sind,
- Stützstäben, die sich jeweils von einem Fundamentknotenelement bis zu einem oberhalb der Aufstandsebene angeordneten Turmbasislager erstrecken; und
- einer Turmsäule, die auf das Turmbasislager aufgesetzt ist.

[0007] Ein solches Turmbauwerk bietet durch seine punktuellen Gründungen durch einzelne Fundamente einen sicheren Stand auch bei unebenem Untergrund, ohne dass eine äußerst schwierige vorbereitende Glättung des Meeresbodens am vorgesehenen Standort erforderlich ist. Die Fundamente besitzen jeweils nur ein kleines Volumen, spannen gemeinsam eine große Stützfläche, die eine hohe Stabilität des Turmbauwerks garantiert. Wegen des geringen Volumens ist das Gewicht der Fundamente so gering, dass ein Transport mit schwimmenden Plattformen möglich ist.

[0008] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Transport-

system für das erfindungsgemäße Turmbauwerk.

[0009] Bekannt ist es, auf See zu positionierende Bauten hohl auszuführen, so dass sie schwimmfähig sind und mittels Schleppern an ihren Standort gebracht werden können, wo sie auf den Meeresboden abgesenkt werden.

[0010] Da erfindungsgemäß die Fundamente und Fundamentknotenelemente und die sie verbindenden Stäbe nur ein kleines Volumen aufweisen, ist selbst eine hohle Ausführung dieser Elemente nicht ausreichend, um einen schwimmenden Transport des gesamten Turmbauwerks zu ermöglichen.

[0011] Es stellt sich daher die Aufgabe, ein Transportsystem anzugeben, mit dem das erfindungsgemäße Turmbauwerk nach Fertigstellung an Land und Flutung des Bauplatzes gehoben und an den vorgesehenen Standort verbracht werden kann.

[0012] Diese Aufgabe wird durch ein Transportsystem für das erfindungsgemäße Turmbauwerk gelöst, mit einem Ring aus Pontons, welche:

- in der Schwimmebene der Pontons über Sternverbindungsselemente mit dem Turmbasislager und/oder einem sich darunter befindlichen Koppelement verbunden sind,
- mit der Turmsäule und/oder mit dem Turmbasislager über Zugelemente verbunden sind, wobei die Zugelemente mit der Mittelachse der Turmsäule einen Winkel kleiner 45° einschließen und
- mit den Fundamentknotenelementen und/oder den Fundamenten über Zugelemente verbunden sind.

[0013] Der Vorteil einer Kette von Pontons besteht darin, dass diese in geöffneter Linie um das Turmbauwerk gelegt und dann der Ring geschlossen werden kann. Die ringförmige Gestalt des Pontonrings in Transportstellung, die vorzugsweise mit der Konfiguration der Fundamentebene übereinstimmt, als insbesondere ebenfalls hexagonal ist, verleiht dem Turmbauwerk Stabilität, gleich aus welcher Richtung eine Belastung durch Wellengang, Wind etc. erfolgt. Nickbewegungen auf dem Transport führen dann dazu, dass ein Teil des Rings stärker getaucht wird und folglich die Auftriebskräfte größer werden, wohingegen der gegenüberliegende Teil des Rings weiter aus dem Wasser gehoben wird, wodurch dort die Gewichtskräfte zunehmen. Beides führt dazu, dass das Turmbauwerk in seine lotrechte Ausgangslage zurückgeführt wird.

[0014] Die Pontons können einzeln oder als Kette bewegt werden. Für die Rückführung des Transportsystems vom Absetzpunkt können damit möglicherweise auch Kanäle und andere enge Wasserstraßen genutzt werden.

Ausführungsbeispiel

[0015] Vorteilhafte Fortbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen und werden nachfolgend anhand der Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die Zeichnung näher erläutert. Die Figuren zeigen im Einzelnen:

[0016] Fig. 1 den Fundamentbereich eines erfindungsgemäßen Turmbauwerks in perspektivischer Darstellung;

[0017] Fig. 2 das erfindungsgemäße Transportsystem mit dem Fundamentbereich des Turmbauwerks, ebenfalls in perspektivischer Darstellung;

[0018] Fig. 3 eine Draufsicht auf das Turmbauwerk mit dem Transportsystem gemäß Fig. 2;

[0019] Fig. 4 das erfindungsgemäße Transportsystem mit dem Turmbauwerk in Transportstellung in seitlicher Ansicht;

[0020] Fig. 5 die Ansicht aus Fig. 4 im gekrängten Zustand;

[0021] Fig. 6 das aufgestellte Turmbauwerk in seitlicher, teilweise geschnittener Ansicht und

[0022] Fig. 7 ein Fundament mit Fundamentknotenelement im Schnitt.

[0023] Fig. 1 zeigt in schematischer Ansicht und nicht maßstabsgerecht, insbesondere nicht winkeltreu, den Gründungsbereich eines erfindungsgemäßen Turmbauwerks.

[0024] Dieses setzt sich in der dargestellten Ausführungsform aus sechs Fundamentknotenelementen 10.1, 10.2... zusammen, die an den Eckpunkten eines Polygons positioniert sind. An den Außenkanten des Polygons sind die Fundamentknotenelemente 10.1, 10.2... über Peripherverbindungsstäbe 11.1, 11.2... miteinander verbunden.

[0025] Zum Zentrum des mit den Fundamentknotenelementen 10.1, 10.2... aufgespannten Rings hin erstrecken sich in der dargestellten Ausführungsform Sternverbindungselemente 12.1, 12.2..., bei denen es sich vorzugsweise ebenfalls um Stäbe handelt; es können aber auch Zugelemente eingesetzt werden. Diese sind an ein zentrales Mittelrohrelement 22 als Koppelement angeschlagen.

[0026] Von einem Turmbasislager 20, das sich oberhalb der durch die Fundamentknotenelemente 10 gebildeten Fundamentebene befindet und an das sich das Mittelrohrelement 22 anschließt, erstrecken sich Stützstäbe 14.1, 14.2... zu den Fundamentknotenelementen 10.1, 10.2....

[0027] Auf diese Weise bilden jeweils zwei benachbarte Sternverbindungselemente 12.1, 12.2 und je ein Peripherverbindungsstab 11.1. Ein weiteres Dreieck bildet sich durch benachbarte Stützstäbe 14.1, 14.2 und einen Peripherverbindungsstab 11.1. Dieses Dreieck ist gegenüber der Fundamentebene um einen Winkel vorzugsweise größer 45 Grad ange stellt.

[0028] Die Hauptlast des erfindungsgemäßen Turmbauwerks wird über das Turmbasislager 20 und über die Stützstäbe 14.1, 14.2 ... 14.6 auf die Fundamentknotenelemente 10.1, 10.2, ...10.6 abgeleitet.

[0029] Die Fundamentknotenelemente 10.1, 10.2 ... 10.6 sind vorzugsweise aus Beton ausgebildet. Darin sind die Stützstäbe 14.1, 14.2 ... 14.6 und/oder die Peripherverbindungsstäbe 11 sowie ggf. die Sternverbindungselemente 12 eingegossen. Um am Außenrand des Fundamentknotenelements 10, der zugleich das Ende der festen Einspannung der eingegossenen Elemente bildet, Druckspannungsspitzen zu beseitigen, sind die Stützstäbe 14, Peripherverbindungsstäbe 11 und/oder Sternverbindungselemente 12 dort jeweils mit eingegossenen Ringen 17 aus einem Elastomer versehen, wie Fig. 7 zeigt.

[0030] Die eigentlichen Fundamente 15, die sich unten an die Fundamentknotenelemente 10 anschließen, können in verschiedener Weise ausgebildet sein, wie nachfolgend noch dargestellt werden wird.

[0031] Neben der dargestellten direkten Verbindung zwischen den Fundamentknotenelementen 10 und den Fundamenten 15 kann jeweils auch ein zusätzliches, sich in vertikaler Richtung erstreckendes Stützrohr zwischen Fundamentknotenelement 10 und Fundament 15 vorgesehen sein.

[0032] Das erfindungsgemäße Turmbauwerk ist in besonderer Weise für den schwimmenden Transport von einem in Landnähe befindlichen Bauplatz auf einen vor der Küste liegenden Standort geeignet. Hierzu ist erfindungsgemäß ein spezielles Transportsystem vorgesehen, das im wesentlichen aus einem Ring aus Pontons 40 besteht und mit dem das erfindungsgemäße Turmbauwerk 100 angehoben, eingeschommen und am vorgesehenen Standort positioniert werden.

[0033] In Fig. 2 ist ein Ring aus mehreren Pontons 40 um das Turmbauwerk herum, insbesondere um die schräg ansteigenden Stützstäbe 14, dargestellt. In der Figur sind im vorderen Bereich zwei Pontons des Pontonrings nicht dargestellt, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen.

[0034] Die Anzahl der Pontons 40 kann der Anzahl von Kanten am Polygon bzw. von Peripherverbindungsstäben 11 zwischen den Fundamentknotenele-

menten **10** entsprechenden. Möglich ist aber auch, eine größere oder kleinere Anzahl von Pontons **40** vorzusehen. Diese richtet sich im wesentlichen nach der zum Heben des Turmbauwerks erforderlichen Auftriebskraft sowie nach der von den Pontons **40** umspannten Fläche, die ausreichend sein muss, um ein Anschlag der Pontons **40** an die schräg aufstrebenden Stützstäbe **14** zu verhindern.

[0035] Mehrere Pontons **40.1 ... 40.6** sind, wie insbesondere **Fig. 3** zeigt, über innere Koppelpunkte **41** und äußere Stäbe oder Trossen **42** zu einem Pontonring verbunden. Anschlagpunkte für die Verbindungen zum Turmbauwerk sowie entsprechende Hebevorrrichtungen können direkt auf den Pontons **40** oder auf den in **Fig. 2** dargestellten Verbindungsplatten **50** zwischen zwei Pontons **40** angeordnet sein.

[0036] An das zuvor mit Bezug auf die **Fig. 1** und **2** dargestellte Turmbauwerk **100** ist der Pontonring über Ankerketten **56** angeschlossen, die als gestrichelte Linien in

[0037] **Fig. 4** dargestellt sind. Andere Zugmittel wie Seile, Stangen sind ebenfalls einsetzbar. Über entsprechende Winden können die Fundamentknotenelemente **10** mit denen damit verbundenen Fundamenten **15** gehoben bzw. gesenkt werden.

[0038] **Fig. 3** zeigt in einer Draufsicht den polygonalen Ring aus Pontons **40.1 ... 40.6**, die untereinander an Kopplungspunkten **41** und über Trossen **42** verbunden sind, und die oberhalb des durch

- die Fundamentknotenelemente **10.1...10.6**,
- die Peripherverbindungsstäbe **11.1...11.6**,
- die Sternverbindungselemente **12.1...12.6** und
- die Stützstäbe **14.1...14.6**

gebildeten räumlichen Fachwerks positioniert sind. Neben dem bevorzugten Hexagon sind auch andere polygonale Anordnungen möglich, wobei wenigstens drei Fundamentpunkte notwendig sind und die maximale Anzahl **10** Eckpunkte nicht übersteigen sollte, da dann ein hoher konstruktiver durch eine Vielzahl von Verbindungselementen und Knotenpunkten das Turmbauwerk stark verteuert. Die Ausführungsform mit sechs Fundamenten bietet auch im Fall eines Bruchs einzelner Stützstäbe **14** infolge einer Kollision eines Schiffes genügend Sicherheit für die Standfestigkeit des Turmbauwerks.

[0039] Um die notwendigen Hebekräfte zu begrenzen bzw. die durch die Pontons **40** bereit zu stellenden Auftriebskräfte zu reduzieren, sind die während des Transports tauchenden Teile, also die Fundamente **15**, die Peripherverbindungs- und Stützstäbe **14**, **11**, das Mittelrohr **22** und/oder das Turmbasiselement **20** vorzugsweise mit Hohlräumen versehen, die mit Luft gefüllt werden können. Auch die Sternverbindungselemente **12** sind vorzugsweise, wenn sie als Druck-

stab ausgebildet sind, rohrförmig und umfassen einen luftgefüllten Hohlraum. Für die Stäbe **11**, **12**, **14** sind sowohl Stahlrohre wie auch Rohre aus Schleuderbeton geeignet.

[0040] Die Pontons **40** sind zusätzlich über radial angeordnete Zugelemente **52** mit der Turmsäule **30** verbunden. Die Zugelemente **52** sind dort so hoch angeschlagen, dass sie mit der Mittelachse der Turmsäule **30** einen Winkel von kleiner als 45° einschließen. Die Wirkungsweise und die Vorteile der zusätzlichen Zugelemente **52** werden im Folgenden mit Bezug auf die **Fig. 4** und **5** erläutert.

[0041] Außerdem sind die Pontons **40** über sich radial in deren Schwimmebene erstreckende Sternverbindungselemente **54** (vgl. **Fig. 3**) mit der Turmsäule **30** bzw. dem Turmbasislager **20** verbunden. Hierdurch wird die Lage des Turmbauwerks im Zentrum des Pontonrings fixiert.

[0042] Die Torsionssteifigkeit des Verbundes aus Pontonring und Turmbauwerk kann durch Verstrebungen, die zusätzlich zu oder an Stelle von den Sternverbindungselementen **54** im Bereich der Schwimmebene der Pontons **40** nach Art von Fahrradspeichen angeordnet sind, noch erhöht werden.

[0043] **Fig. 4** zeigt das erfindungsgemäße Turmbauwerk **100** in einer seitlichen Ansicht, in der ebenfalls der Pontonring nicht vollständig dargestellt ist.

[0044] Das Turmbauwerk **100** umfasst neben dem zuvor bereits detailliert dargestellten Fundamentbereich:

- das Mittelrohr **22**,
- das Turmbasislager **20**,
- die Turmsäule **30**

sowie gegebenenfalls bei einer Verwendung des Turmbauwerks für eine Windenergieanlage:

- die Gondel **60** mit Nabe **64**.

[0045] Das Mittelrohr **22** erstreckt sich von den Turmbasislager **20** ausgehend bis nahe zur Ebene der Fundamentknotenelement **10**, endet jedoch vorzugsweise darüber, damit bei einer entsprechenden Unebenheit des Meeresgrundes am Aufstellort gewährleistet ist, dass nur die Fundamente **15** am Meeresgrund **2** aufliegen, nicht jedoch der untere Bereich des Mittelrohrs **22**.

[0046] Wie bereits erwähnt, ist das Mittelrohr **22** vorzugsweise hohl ausgebildet. So werden einerseits Auftriebskräfte erzeugt; andererseits wird die Montage dadurch erleichtert, dass die Spannlitzen der vorzugsweise als Schleuderbetonrohre ausgebildeten Stäbe **12**, **14** im Inneren des Mittelrohrs **22** verspannt werden können.

[0047] Das Turmbasislager **22** läuft nach unten vorzugsweise konisch aus. Die Höhen am Turmbauwerk **100** sind so bemessen, dass der Meeresspiegel **1**, welcher in der in **Fig. 4** gezeigten Transportstellung auf Höhe der Pontons **40** liegt, nach dem Aufstellen etwa im Bereich des Konus des Turmbasislagers **20** liegt. Die Abschrägung nach unten wirkt dann eisbrechend.

[0048] Auf dem Turmbasislager **20** kann eine Zugangsplattform **35** im Bereich einer Zugangstür **34** angeordnet sein.

[0049] Die Turmsäule **30**, die sich vom Turmbasislager **22** über etwa 70 Meter bis zur Gondel **60** erstreckt, ist aus mehreren Segmenten **31**, **32**, **33** zusammengesetzt.

[0050] Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das unterste Segment **31** der sich nach oben konisch verjüngenden Turmsäule **30** aus Beton gebildet, wohingegen die Segmente **32** und **33** aus Stahl gebildet sind.

[0051] Zu Transportzwecken kann seitlich an der Turmsäule **30** wenigstens ein an der Nabe **64** des Rotors zu befestigender Flügel **62** in entsprechenden Aufnahmen gehalten sein. Das Turmbauwerk kann dann mit der montierten Turmgondel transportiert werden. Ein oder mehrere Rotorblätter sind während des Transports in aufrechter Lage an der Turmwand befestigt und können dann nach Absenken der Fundamente auf den Meeresgrund an der Rotornabe **64** der Gondel **60** befestigt werden.

[0052] **Fig. 5** ist die Situation des Turmbauwerks im Falle einer Krängung dargestellt. Der im Gewichtsschwerpunkt **G** angreifende Gewichtskraftvektor und der im Formschwerpunkt **B** angreifende Auftriebskraftvektor liegen nun nicht mehr auf einer Vertikalen wie bei der Situation des statischen Gleichgewichts in **Fig. 4**. Durch die Krängung ändern sich die getauchten und aufgetauchten Volumenanteile der Fundamentkonstruktion, so dass der Formschwerpunkt **B** auswandert. Das so definierte Metazentrum **M** liegt oberhalb des Gewichtsschwerpunkts, das heißt, das Turmbauwerk ist bei dem dargestellten Krängungswinkel von etwa 15° stabil, denn es wird ein aufrichtendes Moment erzeugt, das das gekrängte Turmbauwerk zurück in die Ausgangslage bewegt.

[0053] **Fig. 6** zeigt das fertig aufgestellte Turmbauwerk **100**. Exemplarisch sind dort verschiedene Varianten von Fundamenten **15.1** ... **15.4** abgebildet. Vorzugsweise ist aber die Art der Fundamente nach den geologischen Beschaffenheiten des Meeresbodens **2** ausgewählt, und die Fundamente sind an allen Eckpunkten des aufgespannten Polygons gleichartig ausgebildet.

[0054] Das Fundament **15.2** ist als Flachfundament ausgebildet. Es liegt direkt auf dem Meeresboden **2** auf. Rundherum ist als Auskolkungsschutz ein Ring **16** aus Schotter gelegt.

[0055] Bei dem Fundament **15.3** ist die Fundamentplatte durch mehrere kleine Pfähle im Meeresboden **2** verankert.

[0056] Bei dem Fundament **15.4** handelt es sich ebenfalls um ein Pfahlfundament, das jedoch mit einem einzigen großen, entsprechend tiefer reichenden Pfahl verankert ist.

[0057] Das Fundament **15.1** ist als Saugkammerfundament ausgebildet und entspricht der bevorzugten Ausführungsform. Es handelt sich im Prinzip um einen nach unten offenen Becher, dessen Wandstärke dünn genug ist, um sich in den Meeresboden **2** einzuschneiden. Die Saugkammer kann aus Stahl gebildet sein oder aus Beton, wobei in diesem Fall eine Ringschneide aus Stahl aufgesetzt sein sollte. Vorteilhaft ist hierbei, dass die in der Saugkammer eingeschlossene Luft während des Seetransports Auftrieb erzeugt.

[0058] Beim Aufstellen wird dann Luft abgelassen, so dass Sand oder Schlack in die Kammer eindringt und das Fundament durch den Druck der darauf lastenden Wassersäule zunehmend in den Meeresboden **2** einsinkt. Bei den auf den Meeresboden **2** aufgesetzten Saugkammerfundamenten **15.1** kann außerdem durch gezielte Beeinflussung des Innendrucks in den Kammern bei allen Fundamenten zugleich die Lage des Turmbauwerks exakt ausgerichtet werden. Durch Füllen der Kammer mit Beton kann dann die einmal eingestellte Lage fixiert werden. Sollte eines der Saugkammerfundamente **15.1** wegen Bodenunebenheiten mit seiner Unterkante nicht auf dem Meeresboden **2** aufliegen, so kann dennoch leicht ein tragfähiger Fundamentpunkt dadurch geschaffen werden, dass durch die Saugkammer hindurch solange Beton eingefüllt wird, bis sich unterhalb des Fundaments **15.1** ein Betonkegel auf dem Meeresboden gebildet hat.

[0059] Das Einfüllen von Luft oder Beton kann durch die vorzugsweise hohl ausgebildeten Stäbe **14** von dem ebenfalls hohlen Mittelrohr **22** aus erfolgen.

[0060] Das Saugkammerfundament **15.1** ist an seinem Außenumfang wenigstens in einem oberen Bereich seiner Höhe mit Leitblechen **18.1**, **18.2** versehen, wobei in **Fig. 7** exemplarisch ein geradliniges, schräg gestelltes Leitblech **18.2** und ein gewelltes Leitblech **18.1** nebeneinander dargestellt sind. Diese dienen als Auskolkungsschutz, das heißt, sie sollen verhindern, dass die Strömungen entlang des Saugkammerfundaments **15.1** den Meeresboden in der Umgebung abtragen, so dass die Gefahr besteht,

dass das Fundament frei gespült wird. Die Leitbleche **18.1**, **18.2** sind Strömungshindernisse, um aus laminaren Strömungen turbulente zu erzeugen. Die Leitbleche sollten wenigstens in dem aus dem Boden heraus stehenden Bereich des Saugkammerfundaments angebracht sein.

[0061] Eine Schrägstellung der Leitbleche bewirkt eine vertikale Umleitung der Strömung. Um aber nicht die Strömung auf den Boden zu leiten und dadurch die Auskolkungsgefahr eher zu erhöhen, sollte die Schrägstellung der Leitbleche **18.1**, **18.2** gegenüber der vertikalen Mittelachse des Fundaments kleiner als 45° sein und vorzugsweise zwischen 10 und 30° betragen.

[0062] Die Errichtung einer Windenergieanlage mit dem erfindungsgemäßen Turmbauwerk **100** und dem zugehörigen Transportsystem wird nachfolgend erläutert:

An einem Bauplatz in Ufernähe oder in einem Trockendock, einem trocken gelegten Ringwall etc. werden die Fundamente **15** errichtet und über die Stäbe **11**, **12** und **14** untereinander sowie mit dem Mittelrohr **22** als Koppelement und dem Turmbasislager **20** zu einem Fachwerk verbunden. Die Turmsäule **30** kann erfindungsgemäß ebenfalls schon errichtet und die Gondel **60** aufgesetzt werden.

[0063] Damit ist nicht nur das Turmbauwerk, sondern auch die gesamte Windenergieanlage nahezu vollständig im Trockenen oder in Landnähe fertig gestellt. Hier liegt ein wesentlicher Vorteil der Erfindung, da durch die erfindungsgemäß mögliche Verwendung landgestützter Kräne bei der Montage der Seetransport der auf die Gründungskonstruktion aufzusetzenden Teile entfällt und die Montage der Turmsäule **30** und der Gondel **60** wesentlich einfacher möglich ist.

[0064] Lediglich zwei Rotorblätter können erst, um die Windangriffsfläche während des Seetransports gering zu halten, am vorgesehen Standort montiert werden. Ein Rotorblatt **61** ist bereits an der Nabe **64** montiert und so ausgerichtet, dass es vollflächig vor der Turmsäule **30** liegt. Ein weiteres Rotorblatt **62** ist für den Transport seitlich an der Turmsäule **30** gehalten, wie in den **Fig. 4** und **5** dargestellt; ein Rotorblatt **63** liegt in diesen Figuren verdeckt hinter der Turmsäule **30**.

[0065] Nach der somit fast vollständigen Fertigstellung der Windenergieanlage wird ein Gliederzug aus Pontons **40** um das Turmbauwerk herum positioniert. Es werden Verbindungen von den Pontons **40** bzw. von den dazwischen liegenden Verbindungsplatten **50** jeweils hergestellt:

- zu den Fundamentknotenelementen **10** oder direkt zu den Fundamenten **15** über die Ankerketten **56**, Seile etc.

- zu dem Mittelrohr **22** über die Sternverbindungselemente **54** und
- zu dem Turmbasislager **20** und/oder zur Turmsäule **30** über die Zugelemente **52**.

[0066] Damit ist das Turmbauwerk **100** in dem Pontonring **40** zentriert und fixiert. Die Fundamente **15** werden so weit angehoben, dass eine Ausfahrt des gesamten Verbandes aus den Gewässern am Bauplatz möglich ist. Der Verband wird von Schleppern gezogen.

[0067] Bei Erreichen größerer Wassertiefen werden die Fundamente so weit wie möglich abgesenkt, um die Stabilität des schwimmenden Turmbauwerks zu erhöhen.

[0068] Kommt es z. B. durch hohen Seegang zu einer Krängung, so treten bei dem erfindungsgemäßen Transportsystem folgende Wirkungen ein:

Durch die umlaufende Aufhängung der Pontons **40** zwischen den Fundamentknotenelementen **10** und der Turmsäule **30** taucht der Pontonring mit der Krängung des Turmbauwerks **100** auf der einen Seite stärker ein, wodurch sich die Auftriebskraft an dieser Seite erhöht. Zugleich wird er gegenüberliegend zunehmend aus dem Wasser gehoben, so dass die Auftriebskraft dort abnimmt. Der Pontonring hält also seine zur Mittelachse der Turmsäule **30** senkrechte Ausrichtung in jedem Fall bei. Außerdem erhöht sich an den aufwärts gehobenen Teilen des Fundamentrings und des Pontonrings die potenzielle Energie der Massen. Die hieraus resultierende Gewichtskraft wirkt über die Zugelemente **53** an einem Punkt an der Turmsäule weit oberhalb des Gewichtsschwerpunkts **G** und ruft auch hier mit einem entsprechend großen Hebelarm ein rückstellendes Moment hervor.

[0069] Durch die Sternverbindungselemente **54** kann der Pontonring nicht gegenüber dem Turmbauwerk auswandern, so dass sichergestellt ist, dass mit zunehmender Krängung auch ein zunehmendes aufrichtendes Moment erzeugt wird. Damit sind die Sternverbindungselemente **54** oder gleichwertige Verstrebungen erfindungswesentlich für das erfindungsgemäße Transportsystem.

[0070] Vor Erreichen des vorgesehenen Standorts werden die Fundamente **15** wieder geringfügig angehoben. Nach der Positionierung des Turmbauwerks **100** werden die Fundamente **15** dann endgültig auf den Meeresboden **2** abgesenkt. Bei Verwendung von Saugkammerfundamenten **15.1** kann eine Nivellierung der gesamten Fundamentebene erfolgen, um die Turmsäule **30** exakt lotrecht auszurichten.

[0071] Die Hohlräume in den Fundamenten **15**, Stäben **11**, **12**, **14** und dem Mittelrohr **22** können ganz oder teilweise geflutet oder mit Beton verfüllt werden, um die Gewichtskraft im Gründungsbereich und da-

mit die Standfestigkeit zu erhöhen.

[0072] Die Verbindungen des Pontonrings werden wieder gelöst und die Pontons **40** werden weggeschleppt.

[0073] Da es erfindungsgemäß möglich ist, das Turmbauwerk in einem nahezu betriebsbereiten Zustand an seinen vorgesehenen Offshore-Standort zu bringen, ist für die restlichen Montagearbeiten kein Schwimmkran oder dergleichen mehr erforderlich.

[0074] Es sind lediglich noch die beiden Außenbords an der Turmsäule für den Seetransport gehaltenen Rotorblätter **62, 62** zu montieren.

[0075] Wie **Fig. 6** zeigt, kann hierfür ein an der Gondel montierte Davit benutzt werden. Die betriebsfähig vormontierte Gondel **60** wird so gedreht, dass die Nabe **64** oberhalb des gehaltenen Rotorblatts **62** positioniert ist. Es wird dann mit dem Davit eine Klemmvorrichtung **67** hinab gelassen, die mit dem zu montierenden Rotorblatt **62** verbunden wird. Das Rotorblatt **62** wird bis an die Nabe **64** hochgezogen und dort angeschraubt. Der gleiche Vorgang wird wiederholt, nachdem die Nabe **64** so gedreht ist, dass der noch freie Anschlussflansch unten liegt. Damit ist die Windenergieanlage betriebsbereit.

Bezugszeichenliste

1	Wasserspiegel
10, 10.1...10.6	Fundamentknotenelement
11, 11.1...11.6	Peripherverbindungsstab
12, 12.1...12.6	Sternverbindungselement
14, 14.1...14.6	Stützstab
15	Fundament
20	Turmbasislager
22	Mittelrohr
30	Turmsäule
31, 32, 33	Turmsäulenelemente
34	Zugangstür
35	Zugangsplattform
40	Ponton
50	Knotenplatte
52	Zugelemente
60	Gondel
61, 62, 63	Flügel
100	Turmbauwerk

Patentansprüche

1. Turmbauwerk (**100**), insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, mit wenigstens:
 – drei Fundamenten (**15, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4**), die auf eine Aufstandsebene aufzusetzen sind und die an Fundamentknotenelementen (**10,10.1...10.6**) jeweils paarweise über Peripherverbindungsstäbe (**11, 11.1...11.6**) miteinander verbunden sind,
 – Stützstäben (**14, 14.1...14.6**), die sich jeweils von

einem Fundamentknotenelement (**10,10.1...10.6**) bis zu einem oberhalb der Aufstandsebene angeordneten Turmbasislager (**20**) erstrecken; und
 – einer Turmsäule (**30**), die auf das Turmbasislager (**20**) aufgesetzt ist.

2. Turmbauwerk (**100**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der Fundamente ein Saugkammerfundament (**15.1**) ist.

3. Turmbauwerk (**100**) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Saugkammerfundament (**15.1**) an seinem Außenumfang wenigstens in einem oberen Bereich seiner Höhe mit Leitblechen (**18.1, 18.2**) versehen ist.

4. Turmbauwerk (**100**) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitbleche (**18.1, 18.2**) gebogen, gewellt und/oder schräg gestellt sind, wobei der Winkel zwischen der Mittelachse des Saugfundaments und dem schräg gestellten Leitblech bzw. einer Tangente an einem gebogenen oder gewellten Leitblech kleiner als 45° ist.

5. Turmbauwerk (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der Fundamente ein Flachfundament (**15.2**) ist.

6. Turmbauwerk (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der Fundamente (**15.3**) eine Fundamentplatte umfasst, die durch mehrere Pfähle im Meeresboden (**2**) verankerbar ist.

7. Turmbauwerk (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines der Fundamente ein Pfahlfundament (**15.4**) ist.

8. Turmbauwerk (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sechs Fundamente (**15, 15.1...15.6**) vorgesehen sind, die jeweils an den Ecken eines Hexagons angeordnet sind.

9. Turmbauwerk (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Fundamente (**15, 15.1...15.6**) jeweils über ein Sternverbindungselement (**12.1, 12.2**) mit einem im Zentrum des durch die Fundamente (**15, 15.1...15.6**) aufgespannten Polygons und unterhalb des Turmbasislagers (**20**) angeordneten Koppellement verbunden sind.

10. Turmbauwerk (**100**) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Koppellement ein Mittelrohrelement (**22**) ist.

11. Turmbauwerk (**100**) nach Anspruch 1, ge-

kennzeichnet durch wenigstens eine Halterung an der Turmsäule (30) für einen Rotorflügel (61, 62) einer Windenergieanlage.

12. Transportsystem für ein Turmbauwerk (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Ring aus Pontons (40), welche:

- in der Schwimmebene der Pontons (40) über Sternverbindungselemente (54) mit dem Turmbasislager (20) und/oder einem sich darunter befindlichen Mittelrohr (22) verbunden sind,
- mit der Turmsäule (30) und/oder mit dem Turmbasislager (20) über Zugelemente (52) verbunden sind, wobei die Zugelemente mit der Mittelachse der Turmsäule einen Winkel kleiner 45° einschließen und
- mit den Fundamentknotenelementen (10) und/oder den Fundamenten (15) über Ankerketten (56) verbunden sind.

13. Transportsystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass oberhalb der Fundamentknotenelemente (10, 10.1...16.6) die Pontons (40) miteinander verbunden sind und dort Anschlagpunkte für Zugelemente (52) zur Verbindung mit der Turmsäule (30) vorgesehen sind.

14. Verfahren zum Errichten eines Turmbauwerks (100), insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, mit wenigstens folgenden Schritten:

- Errichten von wenigstens drei Fundamenten (15) mit je eine, Fundamentknotenelements (10) auf einem Bauplatz an Land oder im Trockendock,
- Verbindung der Fundamentknotenelemente (10) mit Peripherverbindungsstäben (11) und Einbau von wenigstens einem schräg gestellten Stützelement (14) an dem Fundamentknotenelement (10),
- Bau eines die freien Ende der Stützelemente (14) verbindenden Turmbasislagers (20),
- Bau der Turmsäule (30) auf dem Turmbasislager (20),
- Fluten des Bauplatzes,
- Verbinden von Pontons (40) zu einem Ring unter Umfassung des Turmbauwerks (100), Verbinden der Fundamentknotenelemente (10) mit den Pontons über Ankerketten (56) und Verbinden der Pontons (40) mit dem Turmbasislager (20) und/oder der Turmsäule (30) über Zugelemente (52),
- Aufwinden des Turmbauwerks (100) über die Ankerketten (56),
- Schleppen des Verbands aus Pontonring und Turmbauwerk an einen Standort auf See,
- Absenken des Turmbauwerks (100) gegenüber dem Pontonring und Entfernen der Verbindungen zwischen den Pontons (40) und dem Turmbauwerk (100).

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass in die Fundamentknotenelemente (10) zusätzlich über sich radial erstreckende Sternverbindungselemente (12.1...12.6) verbunden wer-

den.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Sternverbindungselemente (12.1...12.6) durch ein zentrisch angeordnetes Koppelement verbunden werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass am Bauplatz auf die Turmsäule (30) eine Rotorgondel (60) mit einer Rotornabe (64) aufgesetzt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass am Bauplatz wenigstens ein Rotorblatt (61) in aufrechter Stellung an der Turmsäule (30) gehalten wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass am Bauplatz ein Rotorblatt (61) an der Rotornabe (64) befestigt wird und zwei weitere Rotorblätter (62) seitlich an der Turmsäule (30) gehalten werden.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

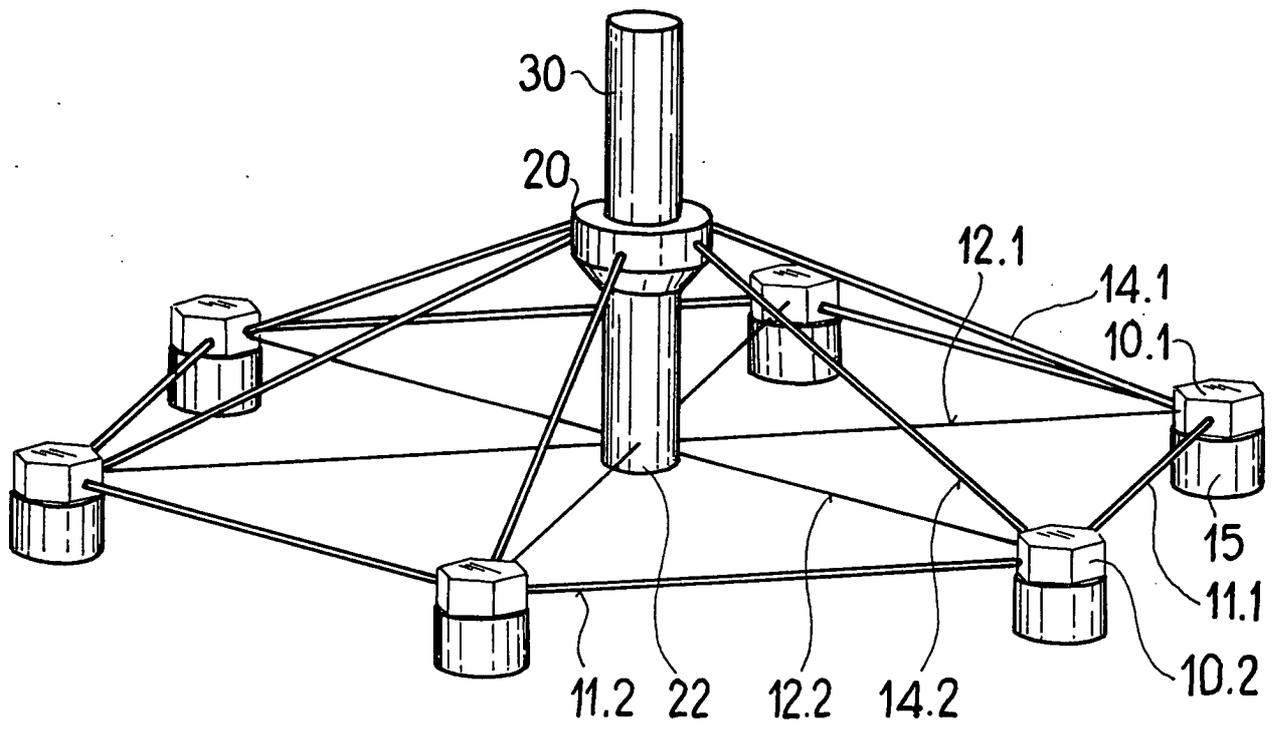


Fig. 1

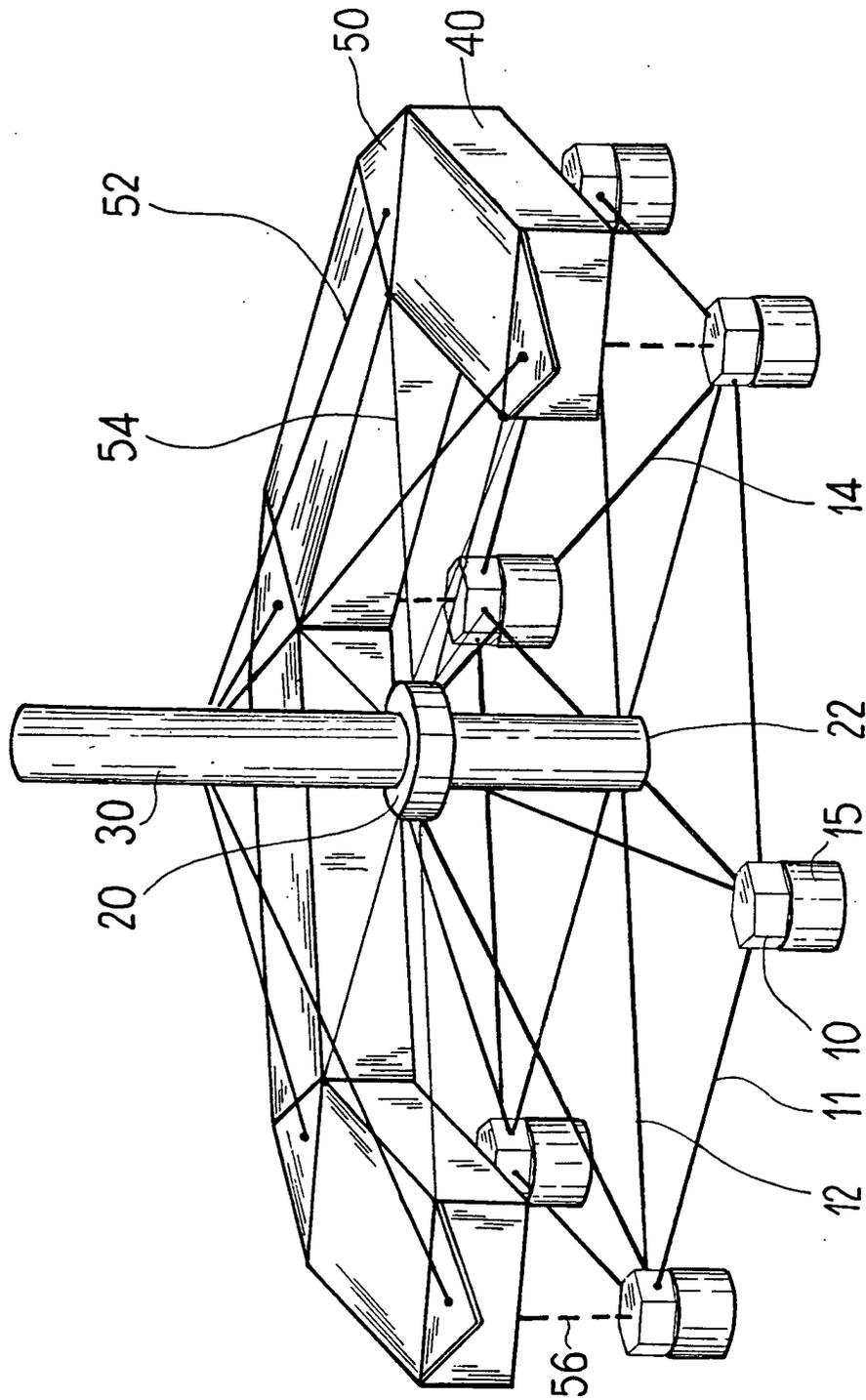


Fig. 2

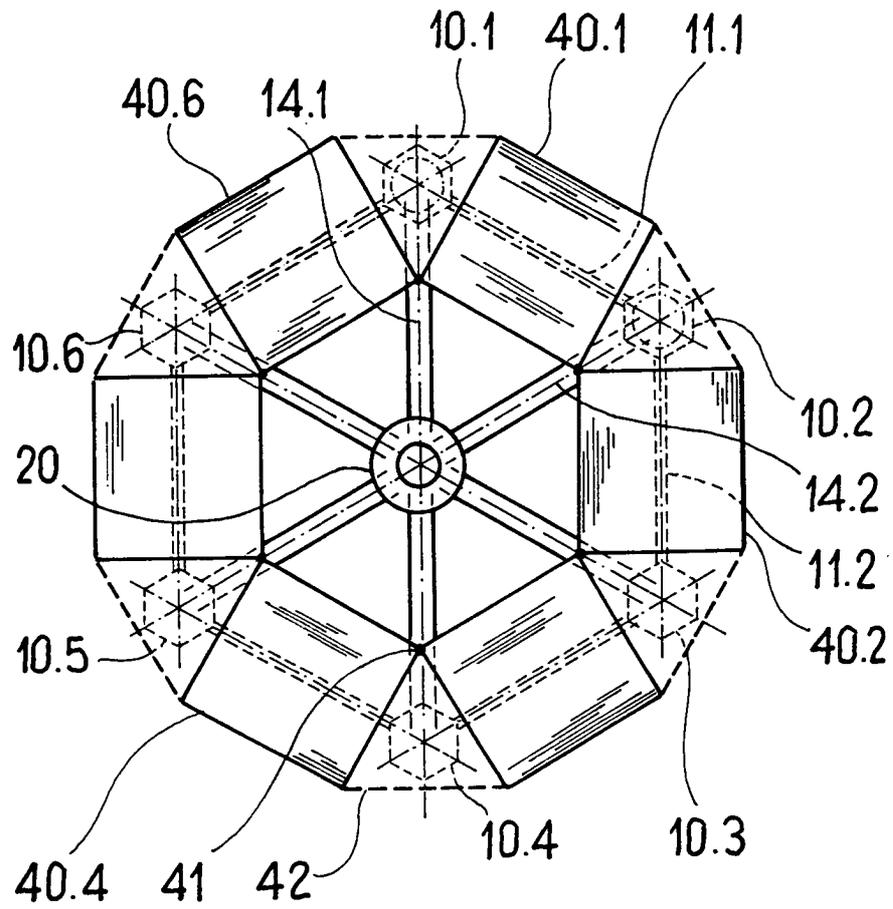


Fig. 3

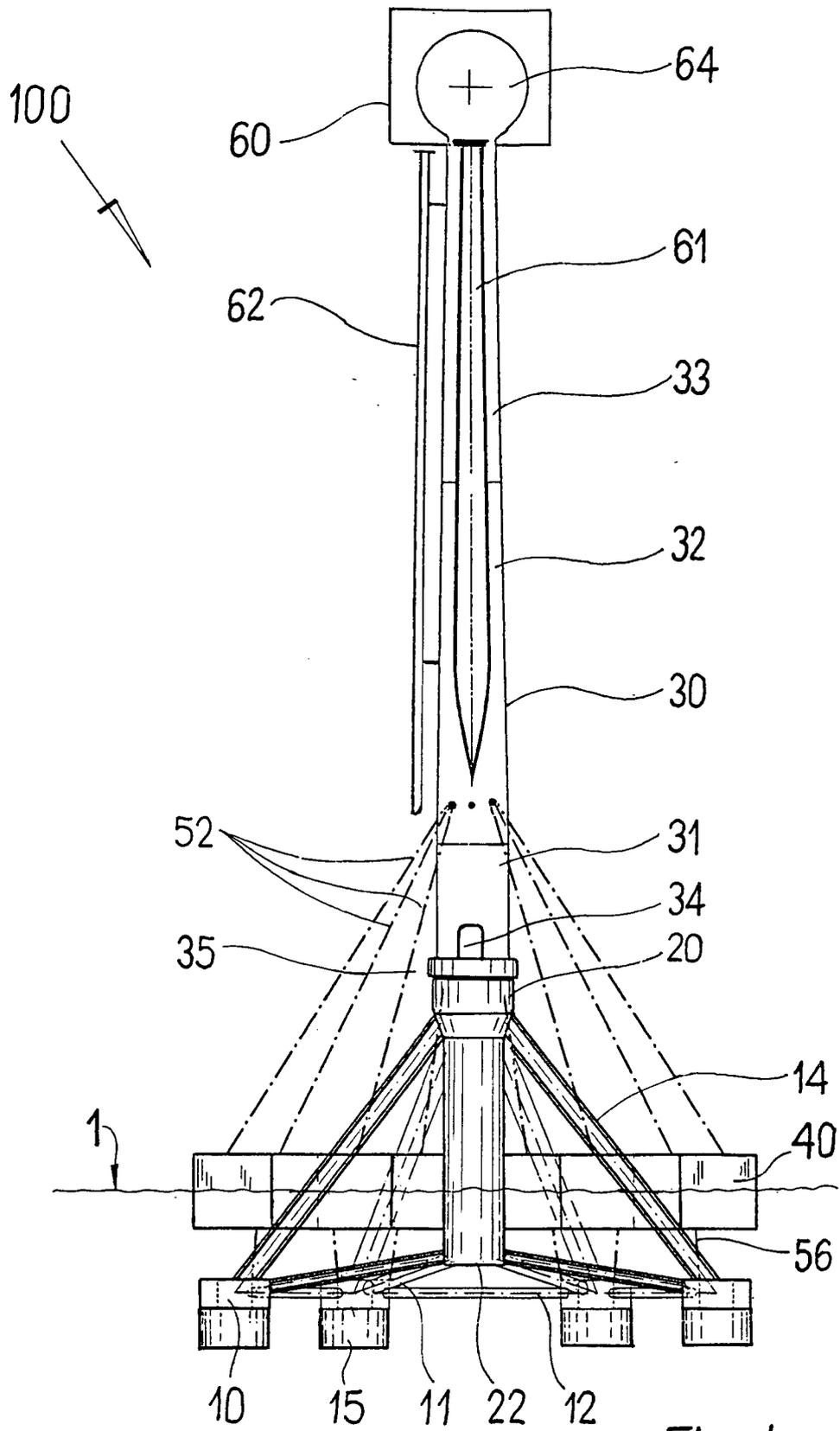


Fig. 4

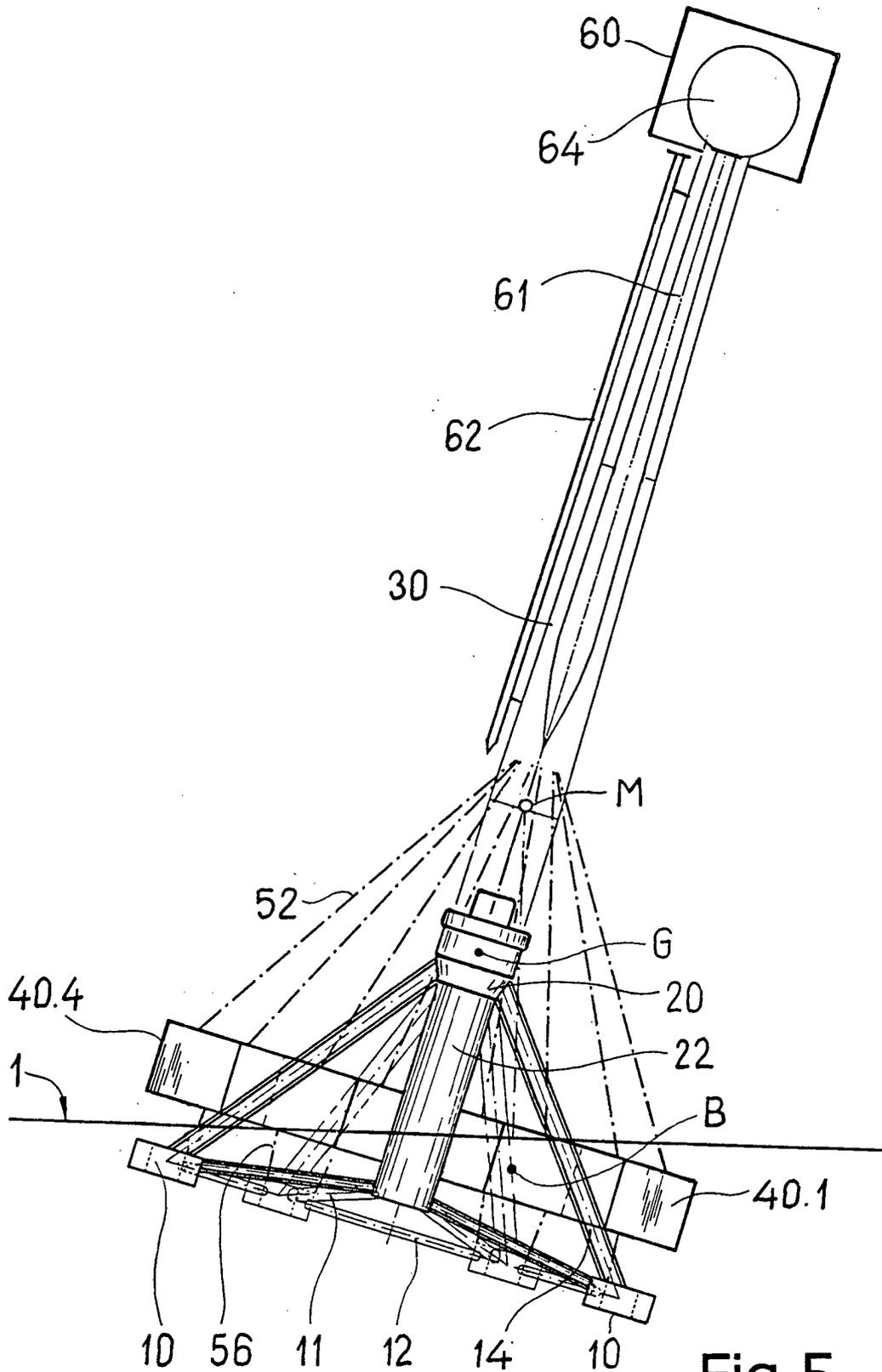


Fig.5

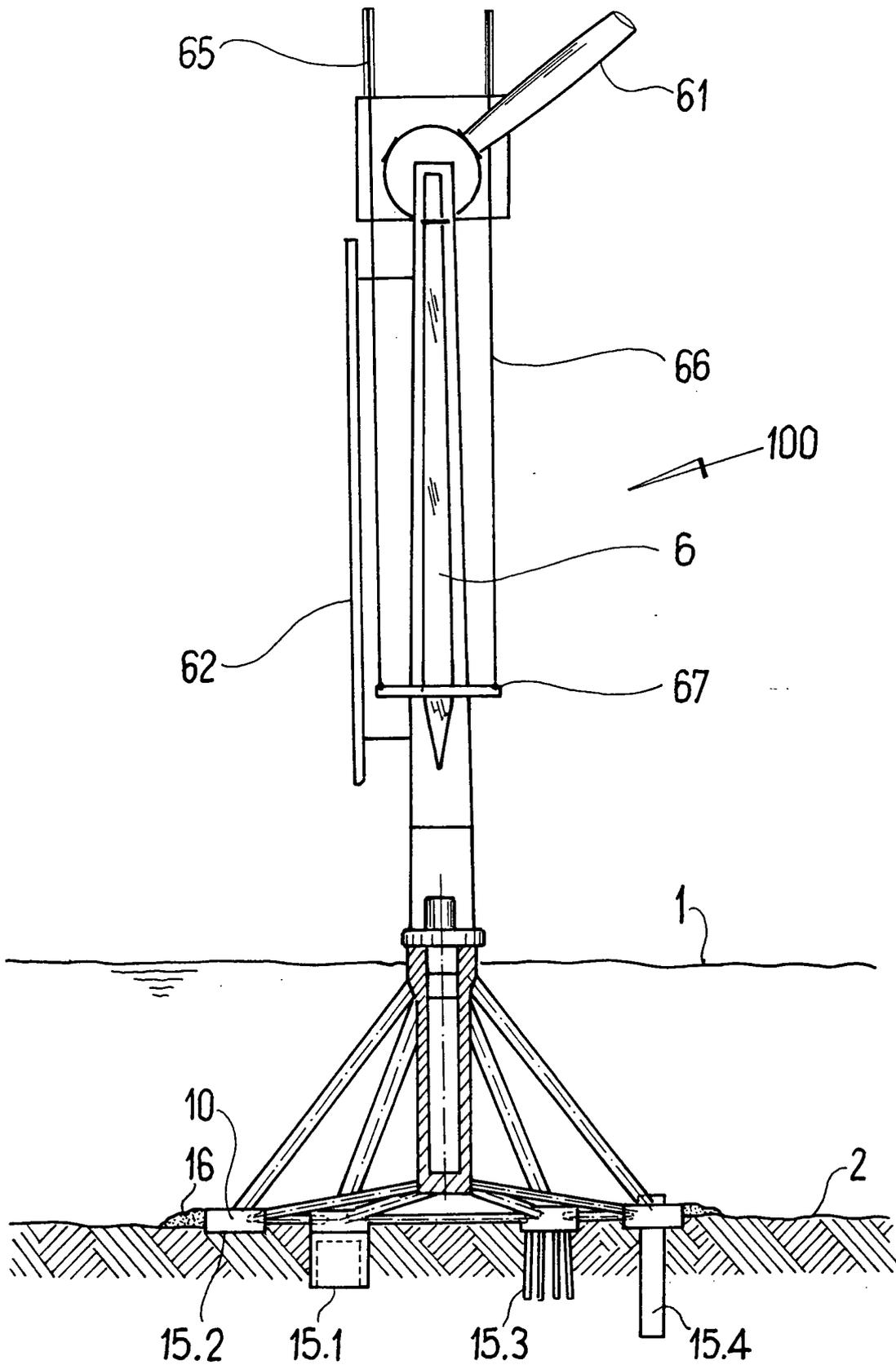


Fig. 6

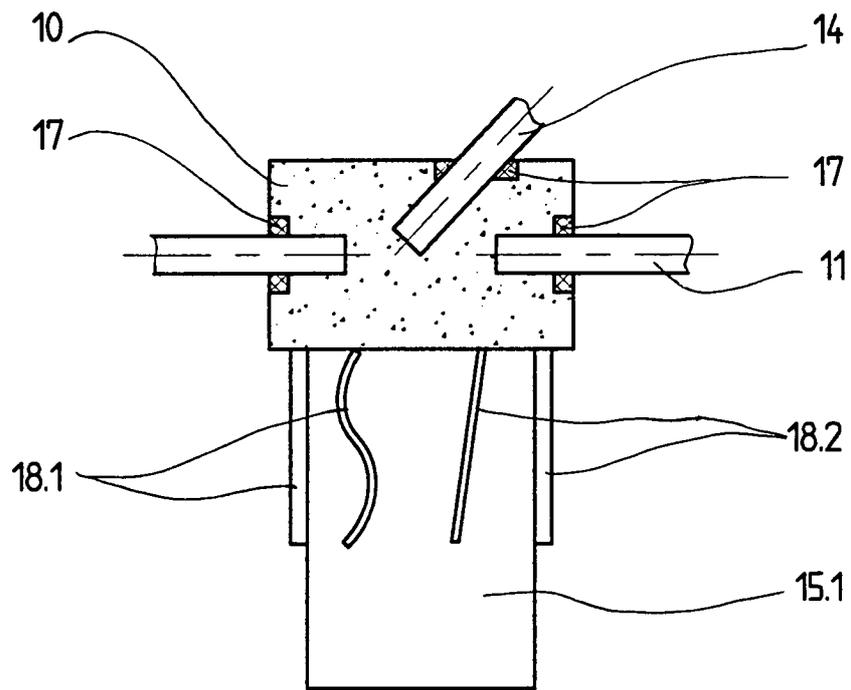


Fig. 7