



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 57 392 B4** 2005.11.03

(12)

# Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 57 392.5**  
(22) Anmeldetag: **09.12.2003**  
(43) Offenlegungstag: **21.04.2005**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **03.11.2005**

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

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:  
**103 41 731.1 08.09.2003**

(73) Patentinhaber:  
**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**

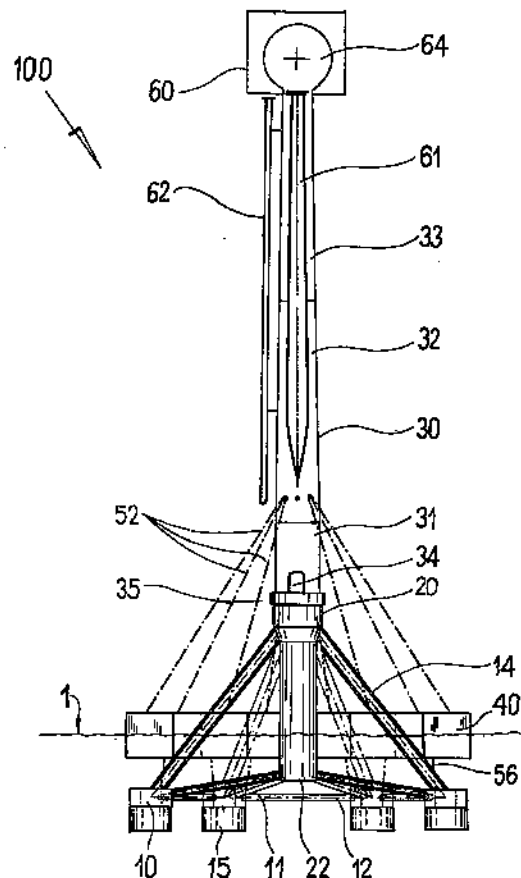
(54) Bezeichnung: **Transportsystem für ein Turmbauwerk**

(57) Hauptanspruch: Transportsystem für ein Turmbauwerk (100), insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, welches Turmbauwerk (100) wenigstens aufweist:

- drei Fundamente (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,
- Stützstäbe (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
- eine Turmsäule (30), die auf das Turmbasislager (20) aufgesetzt ist,

wobei das Transportsystem einen Ring aus Pontons (40) umfasst, welche:

- in der Schwimmebene der Pontons (40) über Sternverbindungselemente (54) oder gleichwertige Verstrebungen 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...



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Transportsystem für ein Turmbauwerk, insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, welches Turmbauwerk wenigstens aufweist:

- drei Fundamente, die auf eine Aufstandsebene aufzusetzen sind und die an Fundamentknotenlementen jeweils paarweise über Peripherverbindungsstäbe miteinander verbunden sind,
- Stützstäbe, die sich jeweils von einem Fundamentknotenlement bis zu einem oberhalb der Aufstandsebene angeordneten Turmbasislager erstrecken, und
- eine Turmsäule, die auf das Turmbasislager aufgesetzt ist.

### 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 Geräuschentwicklung, Schattenschattung 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 beim 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]** Ein Turmbauwerk der eingangs genannten Art ist aus der DE 100 61 916 A1 bekannt. 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 und spannen gemeinsam eine große Stützfläche auf, die eine hohe Stabilität des Turmbauwerks garantiert.

**[0005]** Allerdings sind Bauarbeiten unter Wasser und auf hoher See außerordentlich aufwändig, da sie unter anderem einen ständigen Tauchereinsatz erfordern. Zugleich steht aber an den für Windenergieanlagen interessanten Standorten beispielsweise in der Deutschen Bucht nur ein Zeitfenster von etwa einem Viertel des Jahres zur Verfügung, in dem der Wellengang die Ausführung des Fundamentbaus zulässt.

**[0006]** Bekannt ist es aus der DE 101 01 405 A1 weiterhin, ein hohles Turmbauwerk aus Stahl an Land fertig zu stellen und dann mit niedergelegter Turmsäule mit einem Schiff an den Aufstellort zu transportieren, wo es wieder aufgerichtet und mit sei-

nen Fundament auf den Meeresboden abgelassen wird. Diese Transportweise mit niedergelegter Turmsäule bedingt ein kompliziertes System flutbarer Kammern und findet ihre Grenzen in den Dimensionen moderner Windenergieanlagen der 5MW-Klasse mit Nabenhöhen von 100m und mehr oberhalb einer Aufstandsebene, die einen Umfang von 40m und mehr aufweist, und in dem Gewicht von aus Beton gebildeten Turmbauwerken solcher Größe.

### Aufgabenstellung

**[0007]** Es stellt sich daher die Aufgabe, ein Transportsystem anzugeben, mit dem ein Turmbauwerk der eingangs genannten Art nach Fertigstellung an Land und Flutung des Bauplatzes gehoben und an den vorgesehenen Standort auf See verbracht werden kann.

**[0008]** Diese Aufgabe wird durch ein Transportsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 3 gelöst.

**[0009]** 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, also 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.

**[0010]** 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

**[0011]** 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:

**[0012]** Fig. 1 den Fundamentbereich eines Turmbauwerks in perspektivischer Darstellung;

**[0013]** Fig. 2 das Transportsystem mit dem Fundamentbereich des Turmbauwerks, ebenfalls in pers-

pektivischer Darstellung;

[0014] **Fig. 3** eine Draufsicht auf das Turmbauwerk mit dem Transportsystem gemäß **Fig. 2**;

[0015] **Fig. 4** das erfindungsgemäße Transportsystem mit dem Turmbauwerk in Transportstellung in seitlicher Ansicht;

[0016] **Fig. 5** die Ansicht aus **Fig. 4** im gekrängten Zustand;

[0017] **Fig. 6** das aufgestellte Turmbauwerk in seitlicher, teilweise geschnittener Ansicht und

[0018] **Fig. 7** ein Fundament mit Fundamentknoten-element im Schnitt.

[0019] **Fig. 1** zeigt in schematischer Ansicht und nicht maßstabgerecht, insbesondere nicht winkeltreu, den Gründungsbereich eines Turmbauwerks.

[0020] Dieses setzt sich in der dargestellten Ausführungsform aus sechs Fundamentknoten-elementen **10.1, 10.2 ...** zusammen, die an den Eckpunkten eines Polygons positioniert sind. An den Außenkanten des Polygons sind die Fundamentknoten-elemente **10.1, 10.2 ...** über Peripherverbindungsstäbe **11.1, 11.2 ...** miteinander verbunden.

[0021] Zum Zentrum des mit den Fundamentknoten-elementen **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 Koppel-element angeschlagen.

[0022] Von einem Turmbasislager **20**, das sich oberhalb der durch die Fundamentknoten-elemente **10** gebildeten Fundamentebene befindet und an das sich das Mittelrohrelement **22** anschließt, erstrecken sich Stützstäbe **14.1, 14.2 ...** zu den Fundamentknoten-elementen **10.1, 10.2 ...**

[0023] 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.

[0024] Die Hauptlast des Turmbauwerks wird über das Turmbasislager **20** und über die Stützstäbe **14.1, 14.2 ... 14.6** auf die Fundamentknoten-elemente **10.1, 10.2, ... 10.6** abgeleitet.

[0025] Die Fundamentknoten-elemente **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 Fundamentknoten-elementes **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.

[0026] Die eigentlichen Fundamente **15**, die sich unten an die Fundamentknoten-elemente **10** anschließen, können in verschiedener Weise ausgebildet sein, wie nachfolgend noch dargestellt werden wird.

[0027] Neben der dargestellten direkten Verbindung zwischen den Fundamentknoten-elementen **10** und den Fundamenten **15** kann jeweils auch ein zusätzliches, sich in vertikaler Richtung erstreckendes Stützrohr zwischen Fundamentknoten-element **10** und Fundament **15** vorgesehen sein.

[0028] Das Turmbauwerk ist in besonderer Weise für den schwimmenden Transport von einem in Land-nähe 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 Turmbauwerk **100** angeho-ben, eingeschwommen und am vorgesehenen Standort positioniert werden.

[0029] 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.

[0030] Die Anzahl der Pontons **40** kann der Anzahl von Kanten am Polygon bzw. von Peripherverbindungsstäben **11** zwischen den Fundamentknoten-elementen **10** entsprechen. Möglich ist aber auch, eine größere oder kleinere Anzahl von Pontons **40** vorzu-sehen. 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 Anschlagen der Pontons **40** an die schräg aufstrebenden Stützstäbe **14** zu verhindern.

[0031] 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 Hebevorrichtungen können direkt auf den Pontons **40** oder

auf den in **Fig. 2** dargestellten Verbindungsplatten **50** zwischen zwei Pontons **40** angeordnet sein.

**[0032]** An das zuvor mit Bezug auf die **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellte Turmbauwerk **100** ist der Pontonring über Ankerketten **56** angeschlossen, die als gestrichelte Linien in

**[0033]** **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.

**[0034]** **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 zehn Eckpunkte nicht übersteigen sollte, da dann ein hoher konstruktiver Aufwand 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.

**[0035]** 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 Druckstab ausgebildet sind, rohrförmig und umfassen einen luftgefüllten Hohlraum. Für die Stäbe **11**, **12**, **14** sind sowohl Stahlrohre wie auch Rohre aus Schleuderbeton geeignet.

**[0036]** 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  $45^\circ$  einschließen. Die Wirkungsweise und die Vorteile der zusätzlichen Zugelemente **52** werden im Folgenden mit Bezug auf die **Fig. 4** und **Fig. 5** erläutert.

**[0037]** Außerdem sind die Pontons **40** über sich ra-

dial 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.

**[0038]** 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.

**[0039]** **Fig. 4** zeigt das Turmbauwerk **100** in einer seitlichen Ansicht, in der ebenfalls der Pontonring nicht vollständig dargestellt ist.

**[0040]** 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**.

**[0041]** 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**.

**[0042]** 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.

**[0043]** 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.

**[0044]** Auf dem Turmbasislager **20** kann eine Zugangsplattform **35** im Bereich einer Zugangstür **34** angeordnet sein.

**[0045]** Die Turmsäule **30**, die sich vom Turmbasislager **22** über etwa 70 Meter bis zur Gondel **60** er-

streckt, ist aus mehreren Segmenten **31**, **32**, **33** zusammengesetzt.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] **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  $15^\circ$  stabil, denn es wird ein aufrichtendes Moment erzeugt, das das gekrängte Turmbauwerk zurück in die Ausgangslage bewegt.

[0049] **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.

[0050] 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.

[0051] Bei dem Fundament **15.3** ist die Fundamentplatte durch mehrere kleine Pfähle im Meeresboden **2** verankert.

[0052] Bei dem Fundament **15.4** handelt es sich ebenfalls um ein Pfahlfundament, das jedoch mit einem einzigen großen, entsprechend tiefer reichenden Pfahl verankert ist.

[0053] Das Fundament **15.1** ist als Saugkammer-

fundament 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.

[0054] 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.

[0055] Das Einfüllen von Luft oder Beton kann durch die vorzugsweise hohl ausgebildeten Stäbe **14** von dem ebenfalls hohlen Mittelrohr **22** aus erfolgen.

[0056] 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.

[0057] 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  $45^\circ$  sein und vorzugsweise zwischen  $10^\circ$  und  $30^\circ$  betragen.

**[0058]** Die Errichtung einer Windenergieanlage mit dem 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 Koppелеlement und dem Turmbasislager **20** zu einem Fachwerk verbunden. Die Turmsäule **30** kann ebenfalls schon errichtet und die Gondel **60** aufgesetzt werden.

**[0059]** 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 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.

**[0060]** Lediglich zwei Rotorblätter können erst, um die Windangriffsfläche während des Seetransports gering zu halten, am vorgesehenen 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 **Fig. 5** dargestellt; ein Rotorblatt **63** liegt in diesen Figuren verdeckt hinter der Turmsäule **30**.

**[0061]** 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**.

**[0062]** 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.

**[0063]** Bei Erreichen größerer Wassertiefen werden die Fundamente so weit wie möglich abgesenkt, um die Stabilität des schwimmenden Turmbauwerks zu erhöhen.

**[0064]** Kommt es z. B. durch hohen Seegang zu ei-

ner 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.

**[0065]** 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.

**[0066]** 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.

**[0067]** 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 damit die Standfestigkeit zu erhöhen.

**[0068]** Die Verbindungen des Pontonrings werden wieder gelöst und die Pontons **40** werden weggeschleppt.

**[0069]** 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.

**[0070]** Es sind lediglich noch die beiden Außenbords an der Turmsäule für den Seetransport gehaltenen Rotorblätter **62**, **62** zu montieren.

**[0071]** 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

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

#### Patentansprüche

1. Transportsystem für ein Turmbauwerk (**100**), insbesondere für eine Offshore-Windenergieanlage, welches Turmbauwerk (**100**) wenigstens aufweist:

- drei Fundamente (**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,
- Stützstäbe (**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
- eine Turmsäule (**30**), die auf das Turmbasislager (**20**) aufgesetzt ist,

wobei das Transportsystem einen Ring aus Pontons (**40**) umfasst, welche:

- in der Schwimmebene der Pontons (**40**) über Sternverbindungselemente (**54**) oder gleichwertige Verstrebungen 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  $45^\circ$  einschließen, und
- mit den Fundamentknotenelementen (**10**) und/oder

den Fundamenten (**15**) über Ankerketten (**56**) verbunden sind.

2. Transportsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass oberhalb der Fundamentknotenelemente (**10, 10.1 ... 10.6**) die Pontons (**40**) miteinander verbunden sind und dort Anschlagpunkte für die Zugelemente (**52**) zur Verbindung mit der Turmsäule (**30**) vorgesehen sind.

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

- Errichten von wenigstens drei Fundamenten (**15**) mit je einem Fundamentknotenelement (**10**) auf einem Bauplatz an Land oder in einem 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 einer 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**), Verbinden der Pontons (**40**) mit dem Turmbasislager (**20**) und/oder der Turmsäule (**30**) über Zugelemente (**52**), und Verbinden der Pontons (**40**) in ihrer Schwimmebene über Sternverbindungselemente (**54**) oder gleichwertige Verstrebungen mit dem Turmbasislager (**20**) und/oder einem sich darunter befindlichen Mittelrohr (**22**),
- 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**).

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Fundamentknotenelemente (**10**) zusätzlich über sich radial erstreckende Sternverbindungselemente (**12.1 ... 12.6**) verbunden werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sternverbindungselemente (**12.1 ... 12.6**) durch ein zentrisch angeordnetes Koppellement verbunden werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass am Bauplatz auf die Turmsäule (**30**) eine Rotorgondel (**60**) mit einer Rotorhabe (**64**) aufgesetzt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6,

dadurch gekennzeichnet, dass am Bauplatz wenigstens ein Rotorblatt (61) in aufrechter Stellung an der Turmsäule (30) gehalten wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, 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

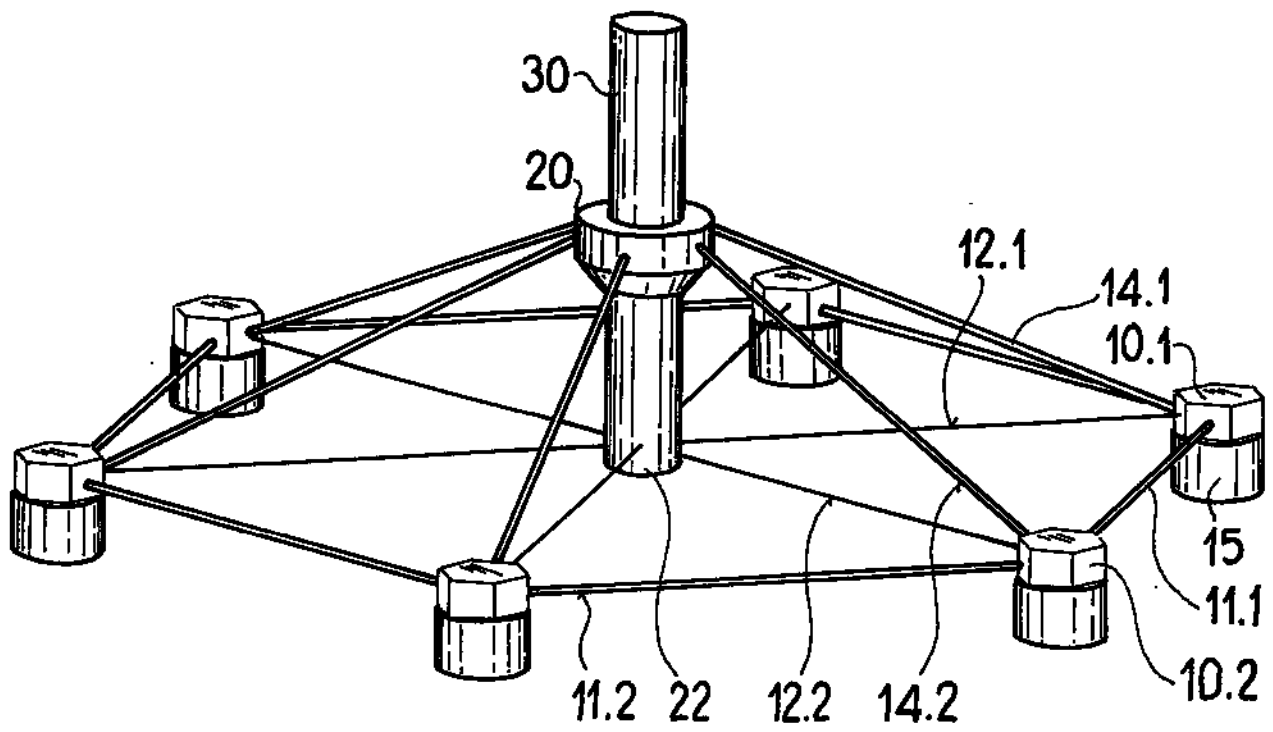


Fig. 1

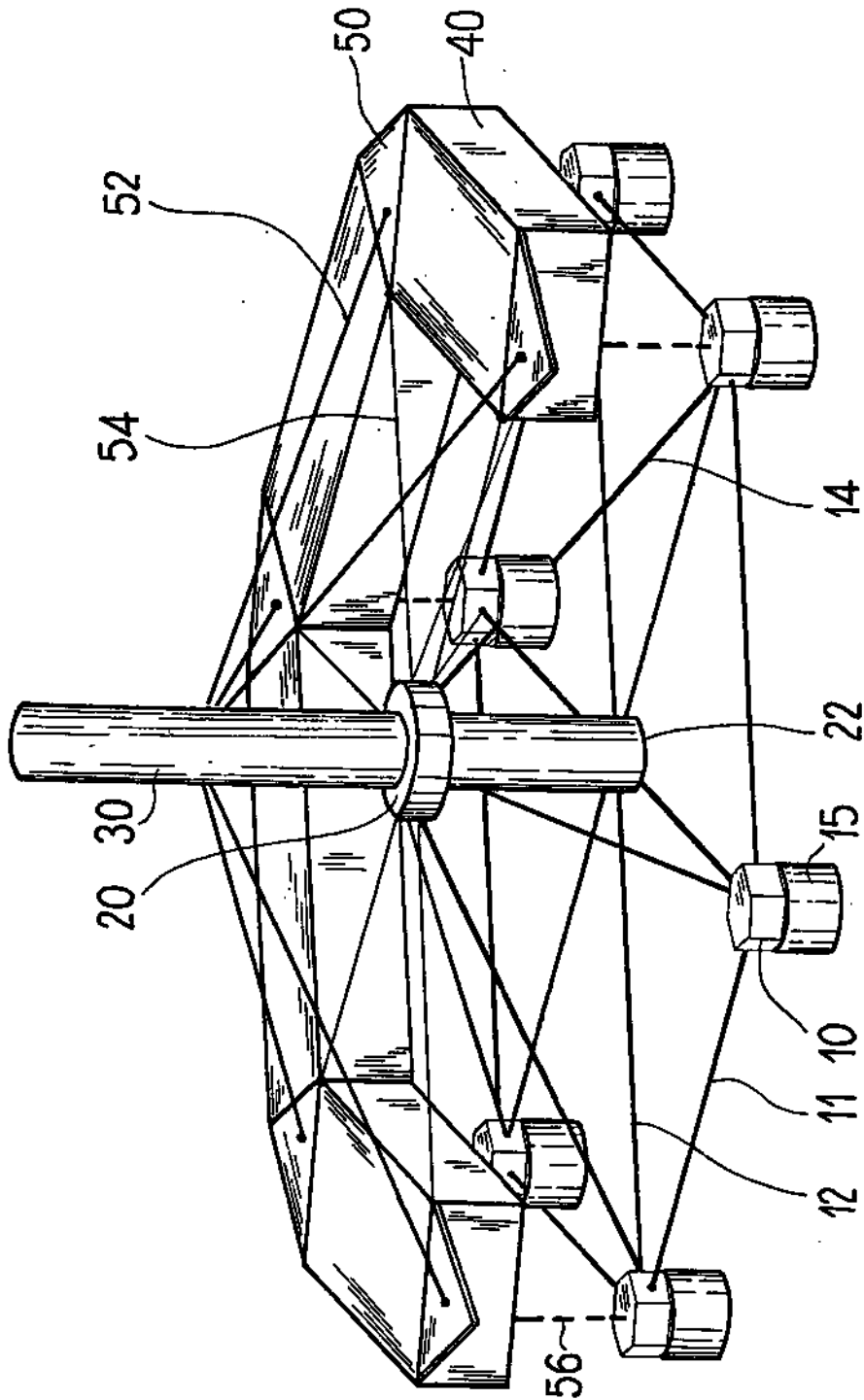


Fig. 2

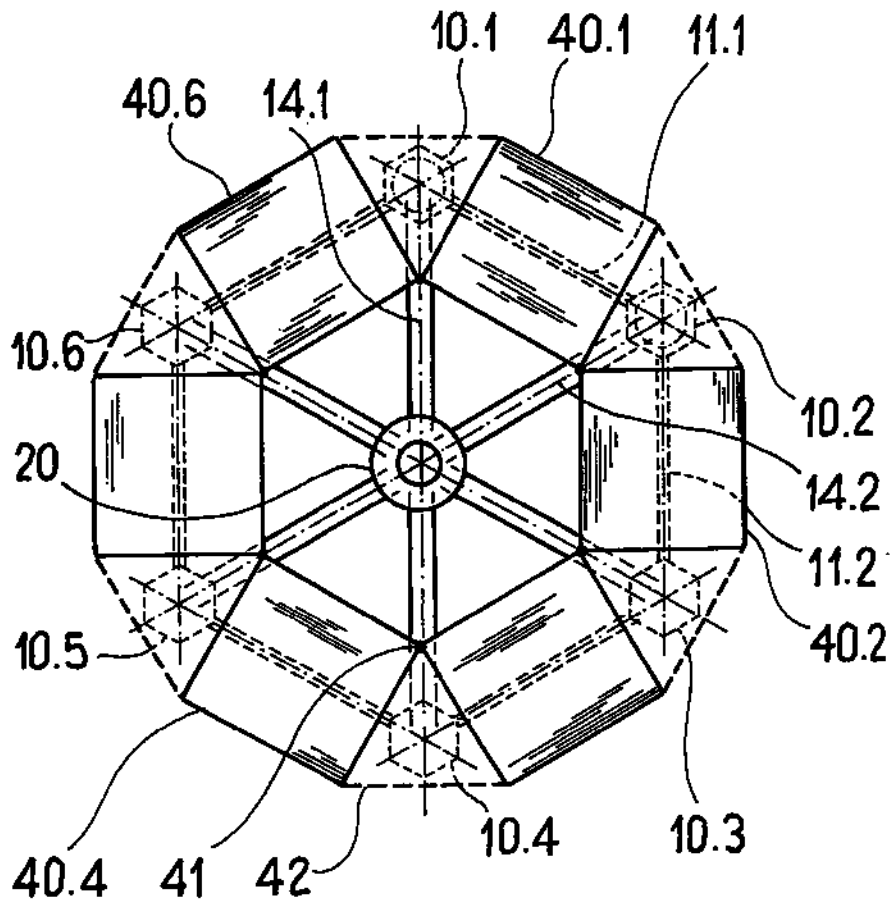


Fig. 3

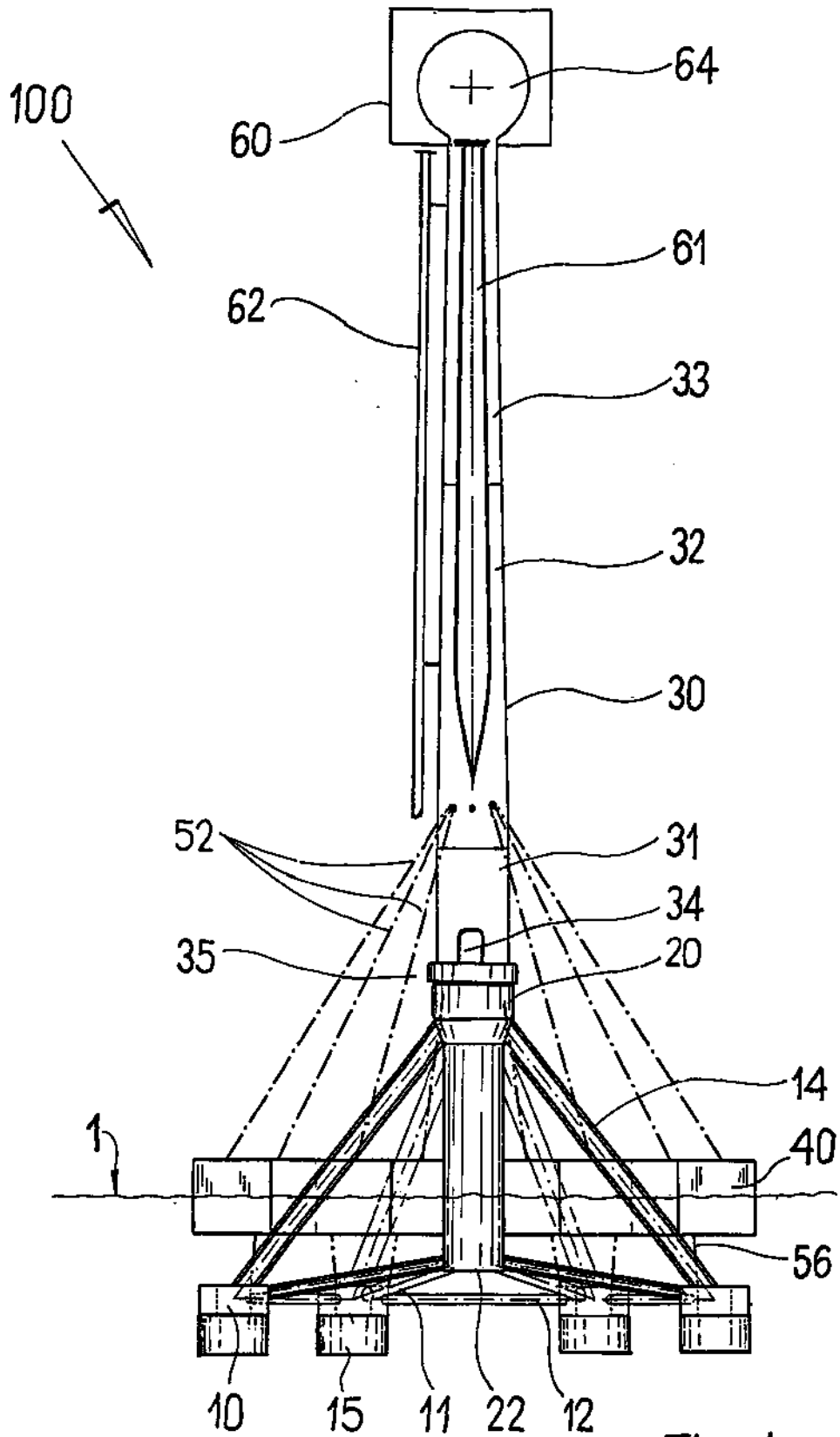


Fig. 4

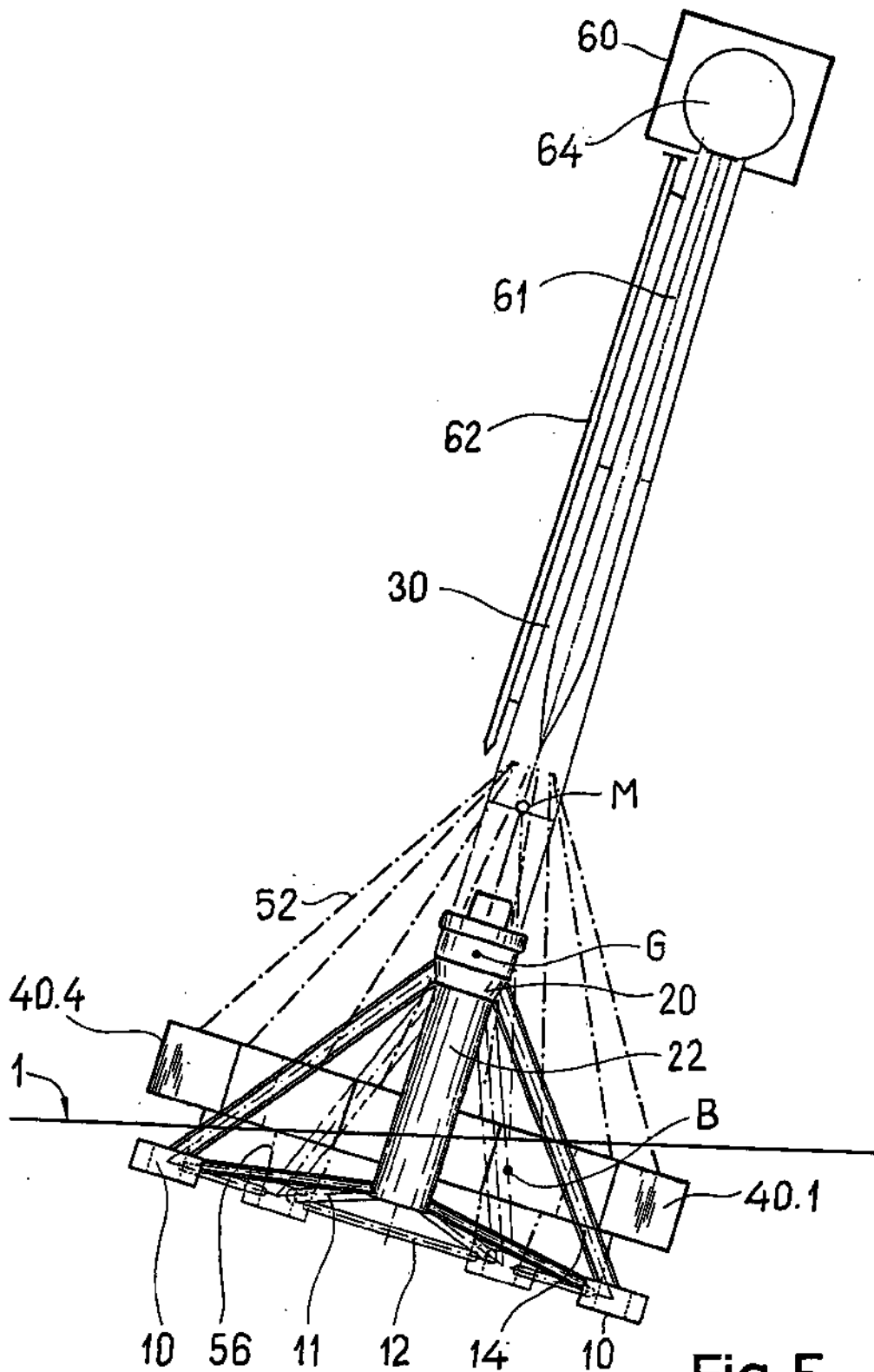


Fig. 5

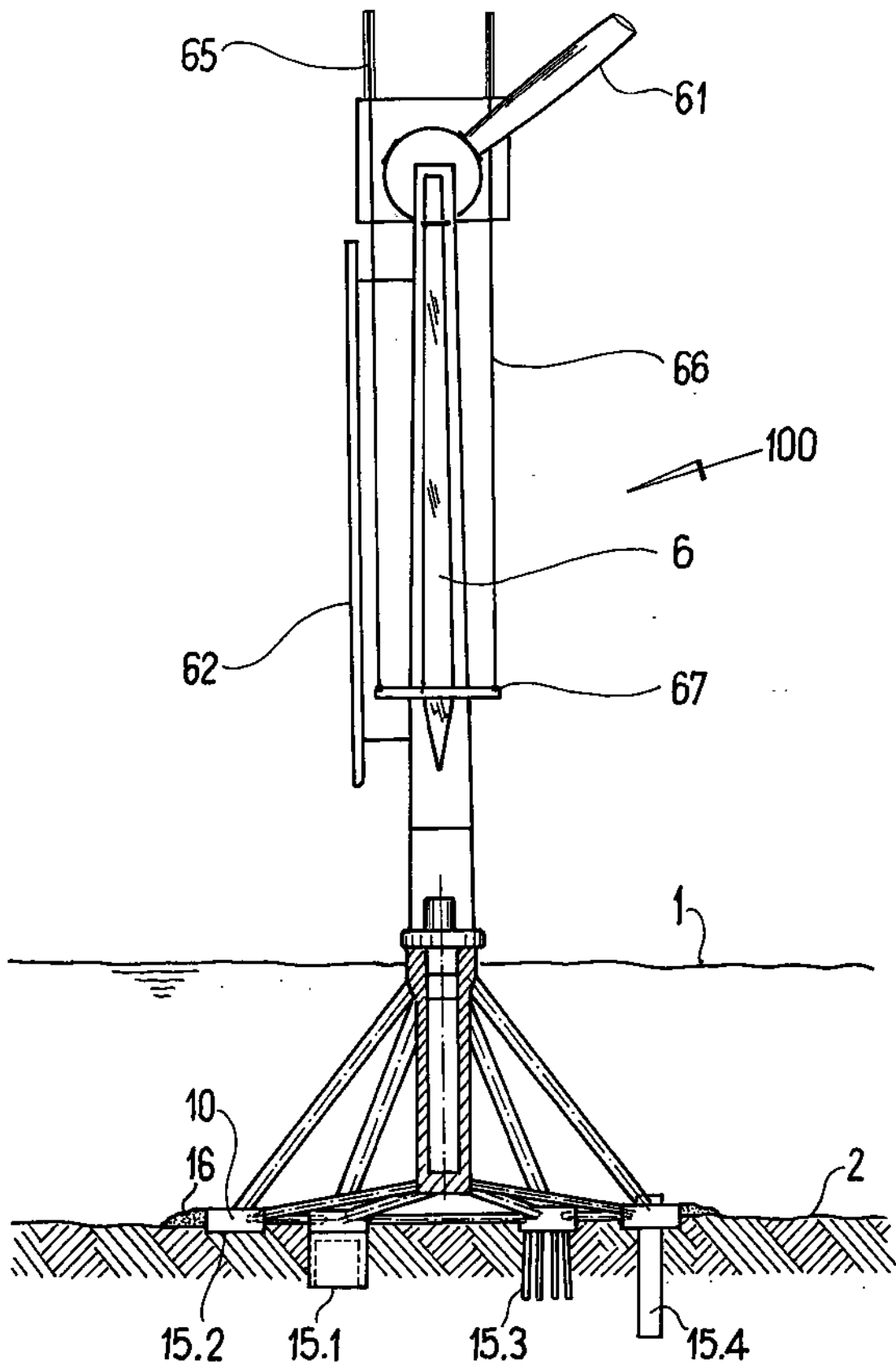


Fig. 6

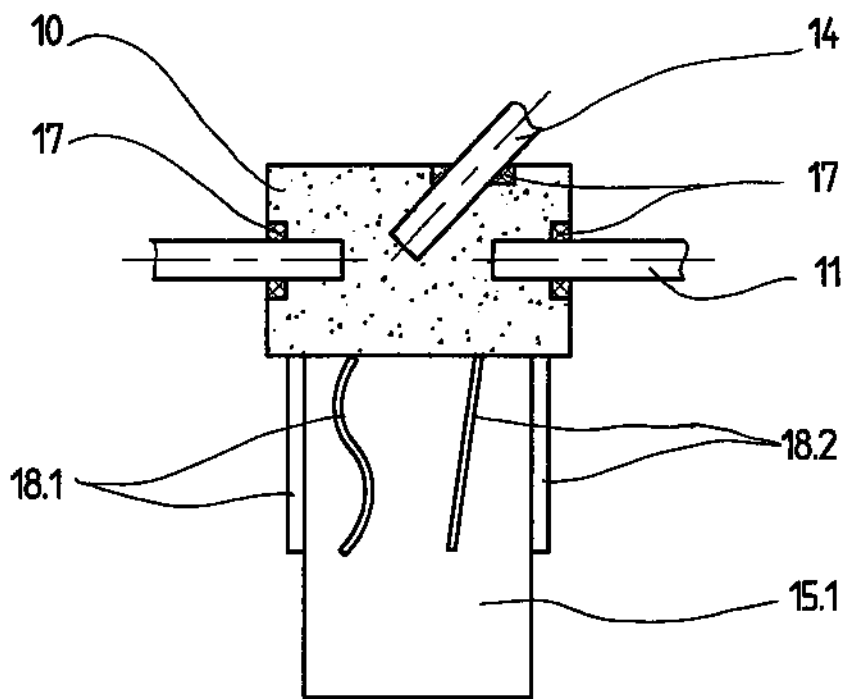


Fig. 7