

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
23. März 2017 (23.03.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/045907 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
E04H 12/12 (2006.01) *F03D 13/20* (2016.01)
E04H 12/16 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/070353
- (22) Internationales Anmeldedatum:
30. August 2016 (30.08.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
DE 10 2015 115 520.6
15. September 2015 (15.09.2015) DE
DE 10 2016 115 042.8
12. August 2016 (12.08.2016) DE
- (71) Anmelder: MAX BÖGL WIND AG [DE/DE]; Max-
Bögl-Strasse 1, 92369 Sengenthal (DE).
- (72) Erfinder: KNITL, Josef; Appianistrasse 44, 92342
Freystadt (DE). BÖGL, Stefan; Sportheimstrasse 20,
92369 Sengenthal (DE).
- (74) Anwalt: BERGMEIER, Werner; Friedrich-Ebert-Strasse
84, 85055 Ingolstadt (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: WIND TURBINE TOWER MADE OF PREFABRICATED CONCRETE PARTS IN THE SHAPE OF ANNULAR SEGMENTS

(54) Bezeichnung : TURM FÜR EINE WINDKRAFTANLAGE AUS RINGSEGMENTFÖRMIGEN BETONFERTIGTEILEN

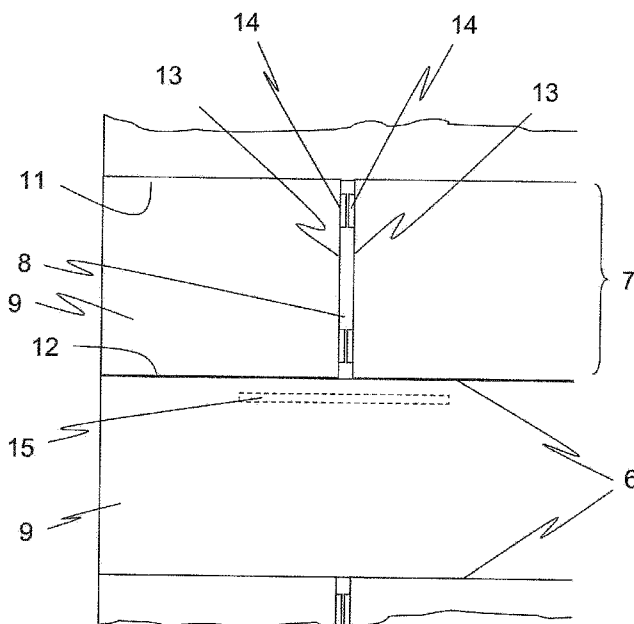


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a tower (1) for a wind turbine, having at least one tower portion (3) which is made of concrete and assembled from multiple superposed annular concrete segments (7) such that horizontal joints (6) are formed, wherein every concrete segment (7) is assembled from at least two juxtaposed prefabricated concrete parts (9) in the shape of annular segments such that vertical joints (8) are formed, the prefabricated concreted parts each having an outer side (10), an inner side (16) and one upper, one lower and two lateral contact faces (11, 12, 13). In the vertical direction of the tower (1) the concrete segments (7) of the at least one tower portion (3) are interconnected only by vertical clamping means. The vertical joints (8) of two superposed concrete segments (7) are always arranged offset relative to each in the circumferential direction of the concrete segments (7), with one prefabricated concrete part (9) of an upper concrete segments (7) of the two superposed concrete segments (7) overlapping a vertical joint (8) of a concrete segment (7) situated beneath the upper of the two superposed concrete segments (7). The superposed concrete segments (7) are clamped together by the vertical clamping means, in particular vertical clamping members (18), in such a way that a load-distributing frictional connection is produced.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/045907 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Ein Turm (1) für eine Windkraftanlage weist wenigstens einen Turmabschnitt (3) aus Beton auf, welcher unter Ausbildung von Horizontalfugen (6) aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten (7) zusammengesetzt ist, wobei jedes Betonsegment (7) unter Ausbildung von Vertikalfugen (8) aus wenigstens zwei, nebeneinander angeordneten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen (9) zusammengesetzt ist, welche jeweils eine Außenseite (10), eine Innenseite (16) sowie eine obere, eine untere und zwei seitliche Kontaktflächen (11, 12, 13) aufweisen. Die Betonsegmente (7) des wenigstens einen Turmabschnitts (3) sind in vertikaler Richtung des Turms (1) nur durch Vertikalspannmittel miteinander verbunden. Die Vertikalfugen (8) jeweils zweier übereinander angeordneter Betonsegmente (7) sind in Umfangsrichtung der Betonsegmente (7) versetzt zueinander angeordnet, wobei jeweils ein Betonfertigteil (9) eines oberen Betonsegments (7) der zwei übereinander angeordneten Betonsegmente (7) eine Vertikalfuge (8) eines darunterliegenden Betonsegments (7) der zwei übereinander angeordneten Betonsegmente (7) übergreift. Die übereinander angeordneten Betonsegmente (7) sind durch die Vertikalspannmittel, insbesondere Vertikalspannglieder (18), derart miteinander verspannt, dass eine lastabtragende, reibschlüssige Verbindung entsteht.

Turm für eine Windkraftanlage aus ringsegmentförmigen Betonfertigteilen

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Turm für eine Windkraftanlage mit wenigstens einem Turmabschnitt aus Beton, welcher unter Ausbildung von Horizontalfugen aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten zusammengesetzt ist. Dabei ist jedes Betonsegment unter Ausbildung von Vertikalfugen aus wenigstens zwei, nebeneinander angeordneten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen zusammengesetzt. Die ringsegmentförmigen Betonfertigteile weisen dabei jeweils eine Außenseite, eine Innenseite sowie eine obere, eine untere und zwei seitliche Kontaktflächen auf. Die Betonsegmente des wenigstens einen Turmabschnitts sind in vertikaler Richtung des Turms durch Vertikalspannmittel miteinander verbunden.

Türme für Windkraftanlagen sind im Stand der Technik in unterschiedlichsten Ausführungen bekannt geworden. Neben Türmen, die mittels Gleitschalungen in Ortbeton errichtet werden, sind dabei auch Stahltürme sowie vorgespannte Türme aus Betonfertigteilen bekannt geworden. Die Türme sind dabei im Betrieb der Windkraftanlage erheblichen Belastungen, unter anderem durch Windkräfte und Anregungen des drehenden Rotors, ausgesetzt. Die Konstruktion der Türme muss daher auch in Extremlastfällen eine ausreichende Steifigkeit aufweisen.

Die EP 1 474 579 B1 zeigt einen Turm, der aus ringförmigen Turmabschnitten zusammengesetzt ist, die jeweils aus mehreren vorgefertigten Betonfertigteilen bestehen. Die ringförmigen Turmabschnitte sind in vertikaler Richtung des Turms durch Spannglieder miteinander verspannt. Zur Montage des Turms werden die einzelnen Betonfertigteile auf der Baustelle zu einem ringförmigen Abschnitt zusammengesetzt, wobei die vertikalen Fugen zwischen zwei aneinandergrenzenden Betonfertigteilen mit Mörtel verfüllt werden. Ebenso werden die horizontalen Fugen zwischen zwei solchen Abschnitten

mit Mörtel verfüllt. Hierdurch wird eine Steifigkeit des Turms in horizontaler wie in vertikaler Richtung erreicht. Die Montage des Turms vor Ort ist jedoch vergleichsweise aufwendig. Zudem sind die einzelnen Betonfertigteile des Turms vergleichsweise groß, was sowohl den Transport zur Baustelle als auch das Handling der Bauteile auf der Baustelle erschwert.

Die EP 2 631 393 A1 zeigt ebenfalls einen Windkraftturm, der aus großen, vorgefertigten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen zusammengesetzt ist, die in vertikaler Richtung durch Spannmittel miteinander verspannt sind. Nach einer der dort beschriebenen Ausführungen können die einzelnen ringsegmentförmigen Betonfertigteile in horizontaler Richtung auch ohne Mörtel verbunden werden bzw. die vertikalen Fugen trocken ausgeführt werden. Um die im Betrieb erforderliche Steifigkeit des Turms zu erreichen, sind die ringsegmentförmigen Betonfertigteile dabei in horizontaler Richtung durch Schrauben oder Bolzen miteinander verspannt. Die Einbauteile der Betonfertigteile müssen hierzu mit entsprechenden Bohrungen für die Bolzen bzw. Schrauben versehen werden und auf der Baustelle miteinander verschraubt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Turm aus Betonfertigteilen vorzuschlagen, welcher eine ausreichende Steifigkeit aufweist und eine einfache Montage des Turms auf der Baustelle ermöglicht.

Die Aufgabe wird gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Ein Turm für eine Windkraftanlage weist wenigstens einen Turmabschnitt aus Beton auf, der unter Ausbildung von Horizontalfugen aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten zusammengesetzt ist. Jedes Betonsegment ist dabei unter Ausbildung von Vertikalfugen aus wenigstens zwei, nebeneinander angeordneten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen zusammengesetzt. Die Betonfertigteile weisen jeweils eine Außen- seite, eine Innenseite, eine obere, eine untere und zwei seitliche Kontaktflä-

chen auf. Die Betonsegmente des wenigstens einen Turmabschnitts sind dabei in vertikaler Richtung des Turms nur durch Vertikalspannmittel miteinander verbunden.

Es ist nun vorgesehen, dass die Vertikalfugen jeweils zweier übereinander angeordneter Betonsegmente in Umfangsrichtung der Betonsegmente versetzt zueinander angeordnet sind, wobei jeweils ein Betonfertigteile eines oberen Betonsegments der zwei übereinander angeordneten Betonsegmente eine Vertikalfuge eines darunterliegenden Betonsegments der zwei übereinander angeordneten Betonsegmente übergreift. Die übereinander angeordneten Betonsegmente sind dabei durch die Vertikalspannmittel, insbesondere Vertikalspannglieder, derart miteinander verspannt, dass in horizontaler Richtung des Turms durch das die Vertikalfuge übergreifende Betonfertigteile eine lastabtragende, reibschlüssige Verbindung entsteht. Durch die reibschlüssige Verbindung wird somit die Vertikalfuge des darunterliegenden Betonsegments ohne den Einsatz von Mörtel oder Schrauben so überbrückt, dass eine gute Steifigkeit auch in horizontaler Richtung bzw. eine verbesserte Belastbarkeit bei Biegebeanspruchung erzielt wird. Die Vorspannkräfte der Vertikalspannmittel müssen hierfür so hoch sein, dass die in den Horizontalfugen entstehenden Reibungskräfte auch im Extremfall die einzelnen Betonfertigteile eines Segments sicher fixieren und ein Öffnen der Vertikalfugen verhindern. Da auf der Baustelle der Schritt des Vergießens der Vertikalfugen entfallen kann und ein Abbinden des Mörtels zwischen den Fugen nicht abgewartet werden muss, kann der Turm in sehr schneller und kostengünstiger Weise aufgebaut werden.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die Betonfertigteile jeweils eines Betonsegments nur durch die reibschlüssige Verbindung mittels des die Vertikalfuge übergreifenden Betonfertigteils lastabtragend miteinander verbunden sind. Es sind somit neben dem Aufbringen der Vertikalvorspannung keine weiteren Schritte zur Verbindung der Betonfertigteile bzw. der Betonsegmente erforderlich, was weiterhin zu einer einfachen und kostengünstigen Mon-

tage beiträgt. Zudem ist der Turm rückbaufreundlich ausgeführt. Denkbar ist es jedoch auch, zusätzlich zu der reibschlüssigen Verbindung eine oder mehrere Verschraubungen vorzusehen, die jedoch vorzugsweise lediglich als Zugverbindungsmittel ausgeführt ist/sind. Die Verschraubung ist dabei ohne Vorspannung eingebracht und dient lediglich der Aufnahme von ggf. auftretenden Zugbelastungen.

Nach einer ersten Ausführung sind zumindest die seitlichen Kontaktflächen der Betonfertigteile eben ausgebildet, d. h. sie bilden eine glatte, ebene Fläche ohne Erhebungen, Vertiefungen, Verzahnungen oder dgl. aus. Zur Ausbildung der Vertikalfugen stoßen die Kontaktflächen dann jeweils stumpf aneinander. Die Herstellung der Betonfertigteile und deren Schalung ist hierdurch vereinfacht. Auch die oberen und unteren Kontaktflächen können aus diesem Grund eben ausgebildet sein. Es ist jedoch auch möglich, die oberen und/oder die unteren Kontaktflächen mit einer Positionierhilfe, einer Schubverzahnung oder dergleichen, auszubilden.

Nach einer anderen Ausführung können die seitlichen Kontaktflächen der Betonfertigteile jedoch auch jeweils wenigstens einen, vorzugsweise jeweils zwei, erhabene Kontaktbereiche aufweisen. Die Kontaktbereiche erleichtern es, benachbarte Betonfertigteile eines Betonsegments zueinander auf Anschlag zu bringen, wodurch wiederum die Steifigkeit des Turms in horizontaler Richtung bzw. eine verbesserte Belastbarkeit bei Biegebeanspruchung gewährleistet werden kann. Zugleich erleichtern die Kontaktbereiche auch die Positionierung der einzelnen Betonfertigteile bei der Montage.

Daneben ist es vorteilhaft, wenn die Betonfertigteile zumindest an ihrem oberen und vorzugsweise auch an ihrem unteren Ende, insbesondere in einem mittigen Bereich, bezogen auf die Breite der Betonfertigteile, eine Zusatzbewehrung bzw. einen erhöhten Bewehrungsgehalt aufweisen. Die Zusatzbewehrung bzw. der erhöhte Bewehrungsgehalt nimmt Spannungsspitzen, wel-

che unter Belastung im oberen Bereich der Betonfertigteile jeweils unterhalb der Vertikalfugen des darüber liegenden Betonsegments auftreten, auf.

Nach einer Weiterbildung der Erfindung sind zumindest die oberen und die unteren Kontaktflächen der Betonfertigteile überschleifen. Hierdurch können sehr exakt geformte Betonfertigteile hergestellt werden, die keinerlei Ausrichtungs- und Ausgleichsarbeiten auf der Baustelle mehr erfordern. Auch bei den seitlichen Kontaktflächen kann es sinnvoll sein, diese zu überschleifen, um eine exakte Ausrichtung der Betonfertigteile bei der Montage zu erleichtern und die Vertikalfugen zu minimieren. Sofern erhabene Kontaktbereiche an den seitlichen Kontaktflächen vorgesehen sind, ist es sinnvoll, diese zu überschleifen, um eine exakte Ausrichtung der Betonfertigteile zueinander zu erzielen. Die seitlichen Kontaktflächen selbst müssen in diesem Falle nicht überschleifen werden.

Um das Handling der Betonfertigteile bzw. der Betonsegmente sowie die Montage des Turms auf der Baustelle zu erleichtern, ist es vorteilhaft, wenn die Betonfertigteile jeweils eines Betonsegments durch Horizontalspannmittel miteinander verbunden sind. Die Horizontalspannmittel können dabei als Ringspannglieder oder auch als Verschraubungen ausgeführt sein. Vorteilhaft ist es jedoch auch, wenn die Betonfertigteile jeweils eines Betonsegments ohne Aufbringen einer Vorspannung durch Zugverbindungsmittel, insbesondere Verschraubungen, miteinander verbunden sind. Die Verschraubungen sind dabei vorzugsweise derart ausgelegt, dass sie als Montagehilfsmittel bei der Herstellung des Turms dienen und stellen somit im Normalbetrieb - abgesehen von Extremlasten - keine lastabtragende Verbindung dar. Die Verschraubungen können somit vergleichsweise klein und kostengünstig dimensioniert werden. Ebenso können die Verschraubungen derart ausgelegt sein, dass die lediglich der Aufnahme von ggf. auftretenden Zugbelastungen dienen.

Eine besonders vorteilhafte Ausführung des Turms sieht vor, dass die Betonsegmente aus wenigstens drei, vorzugsweise aus vier, ringsegmentförmigen, als Gleichteile ausgebildeten Betonfertigteilen zusammengesetzt sind. Die Herstellung des Turmes bzw. seiner Betonfertigteile ist dabei dadurch erleichtert, dass die als Gleichteile ausgeführten Betonfertigteile zumindest eines Segments mittels derselben Schalung hergestellt werden können.

Vorteilhaft ist es dabei, wenn zumindest die seitlichen Kontaktflächen, ggf. auch die seitlichen Kontaktbereiche der seitlichen Kontaktflächen, vorzugsweise alle Kontaktflächen, der Betonfertigteile schalungsglatt, d. h. unbearbeitet, und vorzugsweise unbehandelt sind. Eine Überarbeitung der Betonfertigteile im Fertigteilwerk oder auch vor Ort ist somit nicht erforderlich, was die Herstellung des Turms weiter vereinfacht. Insbesondere ist weder ein Materialabtrag oder -aufbau erforderlich, um eine glatte Oberfläche zu erreichen und Toleranzen der Betonfertigteile auszugleichen. Die Betonfertigteile sind hierzu als Genauteile hergestellt, bei welchen die oberen und unteren Kontaktflächen exakt planparallel zueinander sind. Ebenso sind die seitlichen Kontaktflächen, zumindest jedoch die Kontaktbereiche, sofern vorhanden, zu den oberen und unteren Kontaktflächen exakt positioniert. Unter „exakt planparallel“ und „exakt positioniert“ wird dabei eine Ausführung mit derart geringen Toleranzen hinsichtlich der Ebenheit und Lage der Kontaktflächen verstanden, dass planmäßig keinerlei Toleranzausgleichsmaßnahmen, wie z.B. Verkleben der Kontaktflächen mit Mörtel oder dgl. mehr erforderlich sind. Alternativ oder zusätzlich können die Kontaktflächen und/oder die seitlichen Kontaktbereiche aber auch eben geschliffen werden.

Besonders vorteilhaft ist es weiterhin, wenn die Höhe der ringsegmentförmigen Betonfertigteile geringer ist als die Breite der ringförmigen Betonfertigteile, wobei vorzugsweise die Höhe der ringsegmentförmigen Betonfertigteile weniger als ein Drittel, vorzugsweise weniger als ein Viertel, der Breite der ringsegmentförmigen Betonfertigteile beträgt. Da der Durchmesser von Windkraftanlagen zumindest im Fußbereich häufig bis zu 10 m erreicht, ist es

selbst bei als Halbschalen ausgeführten Betonfertigteilen mit einem hohen Aufwand verbunden, diese aus dem Fertigteilwerk zur Baustelle zu transportieren. Sind nun die Betonfertigteile weniger hoch als breit, vorzugsweise weniger als 3 m hoch, so haben diese auch aufgrund der Unterteilung der Betonsegmente in drei oder mehr Betonfertigteile eine Größe, welche problemlos einen Straßentransport auf einer Breite von weniger als 3 m erlaubt. Zudem ermöglicht die vergleichsweise geringe Größe der Betonfertigteile es auch, diese erst vor Ort auf der Baustelle herzustellen, sodass keine aufwendigen Transporte am Montageort mehr erforderlich sind. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die Höhe der ringsegmentförmigen Betonfertigteile weniger als 2,5 m beträgt.

Vorteilhaft ist es weiterhin, wenn die Vertikalspannglieder verbundlos und außerhalb eines Betonquerschnitts der Betonfertigteile geführt sind. Aufgrund der verbundlosen Führung der Spannglieder kann der Aufbau des Turms sehr schnell erfolgen. Zudem ist dadurch sowohl das Nachspannen und Ersetzen der Vertikalspannglieder zu Wartungszwecken als auch der Rückbau des Turms wesentlich erleichtert.

Für einen Turm, welcher zwischen einem Kopflager und einem Fußlager mittels solcher außerhalb des Betonquerschnitts geführter Vertikalspannglieder vorgespannt ist, ist es zudem vorteilhaft, wenn der Turmabschnitt an seiner Innenwandung zwischen dem Kopflager und dem Fußlager wenigstens einen einteilig an dem Turmabschnitt angeformten Vorsprung aufweist, an welchem zumindest eines der Vertikalspannglieder anliegt. Das wenigstens eine Spannglied kann dadurch in einfacher Weise durch Reibung an dem Vorsprung an der Innenwandung fixiert werden, so dass unerwünschte Querbewegungen der Spannglieder vermieden werden können.

Vorteilhaft ist es dabei, wenn der Vorsprung einen rechteckigen Querschnitt aufweist. Die Herstellung des Turms bzw. des Turmabschnitts ist hierdurch vereinfacht, da ein Vorsprung mit einem rechteckigen Querschnitt in einfa-

cher Weise in die Schalung integriert werden kann und der Turmabschnitt einfach entformt werden kann. Zudem können im Anlagebereich schädliche Einwirkungen des Vorsprungs auf die Spannglieder minimiert werden. Denkbar ist es jedoch auch, die zum Turminneren hin weisenden Ecken bzw. Kanten des rechteckigen Querschnitts abzurunden. Daneben sind auch andere Querschnittsformen wie trapezförmig, halbrund, dreieckig usw. denkbar, wobei vorteilhafterweise die Ecken wiederum abgerundet sind.

Nach einer besonders vorteilhaften Weiterbildung ist der Vorsprung über den Innenumfang des Turmabschnitts umlaufend ausgebildet. Es besteht somit die Möglichkeit, Vertikalspannglieder an jeder beliebigen Stelle des Innenumfangs des Turmabschnitts anzuordnen. Insbesondere bei einer Fertigteil-Ausführung des Turmabschnitts kann ein solches Fertigteil auch für verschiedene Türme mit einer unterschiedlichen Anzahl von Spanngliedern eingesetzt werden.

Ebenso ist es jedoch möglich, dass lediglich einzelne, konsolenartige Vorsprünge über den Innenumfang des Turmabschnitts verteilt auf derselben Höhe angeordnet sind. Insbesondere bei Turmabschnitten, die nur mit wenigen, über den Umfang verteilten Spanngliedern vorgespannt werden, kann dies vorteilhaft sein. Ebenso ist es bei einer Fertigteil-Ausführung des Turmabschnitts denkbar, dass die einzelnen Fertigteile jeweils mit einem solchen einzelnen, konsolenartigen Vorsprung versehen sind. Dabei ist es wiederum vorteilhaft, wenn die Vorsprünge eine konkave, zum Innenraum des Turms weisende Ausnehmung aufweisen. Die Spannglieder sind hierdurch besonders gut in ihrer Querrichtung fixiert und zugleich vor schädigenden Einflüssen geschützt.

Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass das wenigstens eine Spannglied unter einem Umlenkwinkel an dem wenigstens einen Vorsprung anliegt. Hierdurch entsteht eine besonders hohe Reibungskraft zwischen dem Spannglied und dem Vorsprung, so dass das Spannglied

in besonders günstiger Weise gehalten wird. Daneben kann mit einer solchen Ausführung erreicht werden, dass die Spannglieder auch dann noch an dem Vorsprung anliegen, wenn der Turmabschnitt eine Biegebelastung bspw. durch Windkräfte erfährt.

Nach einer anderen Weiterbildung ist es vorteilhaft, wenn der Turmabschnitt mehrere, höhenversetzt an seiner Innenwandung angeformte Vorsprünge aufweist. Die Vertikalspannglieder können dadurch auch zwei- oder mehrfach über ihre Länge an der Innenwandung des Turmabschnitts fixiert werden, was insbesondere bei sehr hohen Turmabschnitten mit Höhen von über 80 m vorteilhaft ist.

Besonders vorteilhaft ist es weiterhin, wenn der Turmabschnitt wenigstens ein ringförmiges Betonsegment aufweist, an welchem der wenigstens eine Vorsprung angeformt ist. Der Turmabschnitt ist dabei unter Ausbildung von Horizontalfugen aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten zusammengesetzt und kann hierdurch in Fertigteilbauweise errichtet werden. Auch das wenigstens eine Betonsegment mit dem Vorsprung kann dabei als Fertigteil vorgefertigt sein.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn das wenigstens eine Betonsegment mit dem Vorsprung aus wenigstens zwei, nebeneinander angeordneten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen zusammengesetzt ist. Dabei ist an wenigstens einem der Betonfertigteile der wenigstens eine Vorsprung angeformt. Hierdurch können auch Turmabschnitte mit großen Durchmessern von bspw. 4m und darüber in Fertigteilbauweise hergestellt und auf der Straße transportiert werden. Besonders vorteilhaft ist es dabei wiederum, wenn jedes der ringsegmentförmigen Betonfertigteile eines Betonsegments einen Vorsprung aufweist, so dass der Turmabschnitt insgesamt einen umlaufenden Vorsprung aufweist.

Weitere Vorteile der Erfindung werden anhand der nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispiele beschrieben. Es zeigen:

- Figur 1** einen Turm einer Windkraftanlage mit einem Turmabschnitt aus Beton in einer Übersichtsdarstellung,
- Figur 2** eine schematische Darstellung eines Turmabschnitts mit Horizontalfugen und Vertikalfugen,
- Figur 3** ein ringsegmentförmiges Betonfertigteile in einer Ansicht von der Innenseite her,
- Figur 4** einen mit Vertikalspanngliedern vorgespannten Turm aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten in einer abgebrochenen, schematischen Schnittdarstellung,
- Figur 5** einen Turmabschnitt mit einem Betonsegment, welches aus vier ringsegmentförmigen Betonfertigteilen zusammengesetzt ist, in einer Draufsicht,
- Figur 6** eine weitere Ausführung eines ringsegmentförmigen Betonfertigteils in einer Vorderansicht von der Innenseite her, sowie
- Figur 7** das ringsegmentförmige Betonfertigteile der Figur 6 in einer Draufsicht
- Figur 8** einen mit Vertikalspanngliedern vorgespannten Turm aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten nach einer zweiten Ausführung in einer Schnittdarstellung,
- Figur 9** ein ringförmiges Betonsegment mit einem Vorsprung in einer schematischen Schnittdarstellung,

- Figur 10** ein ringsegmentförmiges Betonfertigteile mit einem Vorsprung in einer Draufsicht,
- Figur 11** eine weitere Ausführung eines ringsegmentförmigen Betonfertigteile mit einem Vorsprung in einer Draufsicht,
- Figur 12** eine weitere Ausführung eines ringsegmentförmigen Betonfertigteile mit mehreren Vorsprüngen in einer Draufsicht sowie
- Figur 13** eine weitere Ausführung eines ringsegmentförmigen Betonfertigteile mit mehreren Vorsprüngen in einer Draufsicht.

Figur 1 zeigt einen Turm 1 für eine Windkraftanlage mit wenigstens einem Turmabschnitt 3 aus Beton. Der Turm 1 ist in üblicher Weise auf einem Fundament 2 errichtet und ist vorliegend als Hybridturm ausgebildet, das heißt, auf dem Turmabschnitt 3 aus Beton ist ein weiterer Turmabschnitt 4 aus Stahl angeordnet, wobei die beiden Abschnitte 3 und 4 mittels eines Übergangsstücks 5 miteinander verbunden sind. Abweichend von der gezeigten Darstellung ist es jedoch auch möglich, dass der Turm lediglich einen oder mehrere Turmabschnitte 3 aus Beton beinhaltet, wobei die Turmabschnitte 3 aus Beton auch in unterschiedlicher Weise ausgeführt sein können. Vorliegend der Turmabschnitt 3 aus Beton konisch ausgebildet; ebenso ist es jedoch auch möglich, einen oder auch mehrere Turmabschnitte 3 aus Beton zylindrisch auszugestalten, wie in Fig. 4 gezeigt, oder einen konischen Turmabschnitt 3 aus Beton mit einem zylindrischen Turmabschnitt 3 aus Beton zu kombinieren.

Der vorliegend gezeigte Turmabschnitt 3 aus Beton besteht aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten 7, die jeweils unter Ausbildung von Horizontalfugen 6 übereinander angeordnet sind. Jedes der Betonsegmente 7 des Turmabschnitts 3 besteht wiederum aus we-

nigstens 3 ringsegmentförmigen Betonfertigteilen 9, welche unter Ausbildung von Vertikalfugen 8 in Umfangsrichtung der einzelnen Betonsegmente 7 nebeneinander angeordnet sind.

Die Betonsegmente 7 des wenigstens einen Turmabschnitts 3 aus Beton sind durch Vertikalspannmittel, insbesondere Vertikalspannglieder 18, miteinander verbunden, wie insbesondere anhand der Figur 4 dargelegt. Am oberen Ende des Turms 1 können schließlich noch in üblicher Weise eine Gondel sowie ein Rotor der Windkraftanlage angeordnet sein (vorliegend nicht dargestellt). Zusätzlich zu dem gezeigten Turmabschnitt 3, bei dem die einzelnen Betonsegmente 7 aus mehreren Betonfertigteilen 9 zusammengesetzt sind, können weitere Turmabschnitte 3 vorhanden sein, bei denen die Betonsegmente 7 als Ganzringe ausgeführt sind. Dies ist insbesondere bei konischen Türmen 1 vorteilhaft, bei denen die oberen Betonsegmente 7 einen geringeren Durchmesser aufweisen.

Figur 2 zeigt einen Turmabschnitt 3 mit Horizontalfugen 6 und Vertikalfugen 8 in einer schematischen, abgebrochenen Detaildarstellung. Dabei ist erkennbar, dass jedes Betonsegment 7 des Turmabschnitts 3 aus wenigstens zwei Betonfertigteilen 9 besteht, die unter Ausbildung einer Vertikalfuge 8 zusammengesetzt sind. Weiterhin ist erkennbar, dass jedes Betonfertigteil 9 jeweils eine obere Kontaktfläche 11, eine untere Kontaktfläche 12 sowie zwei seitliche Kontaktflächen 13 aufweist. Die seitlichen Kontaktflächen 13 sind vorliegend mit erhabenen Kontaktbereichen 14 versehen, die in horizontaler Richtung des Turms 1 bzw. des Betonsegments 7 aneinander stoßen. In Figur 3 ist ein einzelnes, derartiges ringsegmentförmiges Betonfertigteil 9 in einer Ansicht von der Innenseite 16 her dargestellt.

Aus Gründen der besseren Sichtbarkeit sind in Figur 2 die Kontaktbereiche 14 vorliegend leicht beabstandet und zudem besonders stark hervorstehernd dargestellt. Tatsächlich sind bei dem fertig montierten Turm 1 die Kontaktbereiche 14 jedoch auf Anschlag montiert und stehen nur geringfügig aus den

seitlichen Kontaktflächen 13 hervor. Weiterhin sind die Horizontalfugen 6 erkennbar, die vorliegend völlig geschlossen dargestellt sind, was auch dem Zustand nach Aufbringen der Vertikalvorspannung entspricht.

Wie nun dem schematischen Längsschnitt der Figur 4 entnehmbar, ist der Turmabschnitt 3 aus Beton in vertikaler Richtung durch Vertikalspannglieder 18 vorgespannt, welche die einzelnen, übereinander angeordneten Betonsegmente 7 miteinander verbinden. Die Vertikalspannglieder 18 sind vorliegend verbundlos und außerhalb des Betonquerschnitts der Betonfertigteile 9 in dem Innenraum 24 des Turms geführt und daher in einfacher Weise einbaubar. Die Betonsegmente 7 sind vorliegend in vertikaler Richtung des Turms 1 nur durch die Vertikalspannglieder 18 miteinander verbunden. Dabei sind die Vertikalspannglieder 18 an einem Fußlager, vorzugsweise dem Fundament 2, des Turmes 1 festgelegt und erstrecken sich zumindest bis zum Ende des betreffenden Turmabschnitts 3 aus Beton, wo sie vorzugsweise an einem Kopflager, beispielsweise an dem Übergangsstück 5 (s. Fig. 8) festgelegt sind. Vorliegend sind die Vertikalspannglieder 18 durch Hüllrohre 17 in dem Fundament 2 geführt.

Um die Horizontalfugen 6 möglichst schmal ausführen zu können bzw. diese vollständig schließen zu können, können die oberen und die unteren Kontaktflächen 11, 12 der Betonfertigteile überschliffen sein. Die Kontaktflächen 11, 12 weisen daher derart geringe Toleranzen sowohl bezüglich ihrer Ebenheit als auch bezüglich ihrer Parallelität zueinander auf, dass zumindest nach dem Aufbringen der Vorspannung durch die Vertikalspannglieder 18 die Horizontalfugen 6 nahezu vollständig geschlossen sind. Auch die seitlichen Kontaktflächen 13 bzw. deren Kontaktbereiche 14 (s. Fig. 2 und 3) können daher überschliffen sein, um auch die Vertikalfugen möglichst schmal ausführen zu können. Durch das Überschleifen der Kontaktflächen wird weiterhin die Montage des Turmabschnitts erleichtert, da aufgrund der hohen Genauigkeit bzgl. der Lage der Kontaktflächen 11, 12, 13 keine Ausrichtarbeiten mehr durchgeführt werden müssen. Alternativ zu einem Überschleifen der

Kontaktflächen 11, 12, 13 ist es jedoch ebenso möglich, die Betonfertigteile bereits als Genauteile herzustellen, wie es anhand der Figuren 5 – 7 erläutert wird.

Wie nun wieder anhand der Figur 2 dargelegt wird, sind die Betonfertigteile 9 jeweils eines Betonsegments 7 in horizontaler Richtung durch eine reib-schlüssige, lastabtragende Verbindung durch die Vorspannkraft der Vertikalspannglieder 18 und die die Vertikalfugen 8 übergreifenden Betonfertigteile 9 des darüber liegenden Betonsegments 7 verbunden. Zur Montage des Turmabschnitts 3 werden die Betonfertigteile 9 daher lediglich lose auf die des darunter liegenden Betonsegments 7 aufgelegt und bezüglich ihrer seitlichen Kontaktflächen 13 auf Anschlag gesetzt, so dass die Vertikalfugen 8 weitgehend geschlossen sind. Die Betonfertigteile 9 des darüber liegenden Betonsegments 7 werden im Anschluss daran so aufgelegt, dass die Vertikalfugen 8 gegenüber dem darunter liegenden Betonsegment 7 versetzt sind und die Betonfertigteile 9 des jeweils oberen Betonsegments 7 die Vertikalfugen 8 des jeweils darunter liegenden Betonsegments 7 übergreifen. Sind die Betonsegmente 7 aus zwei Betonfertigteilen 9 zusammengesetzt, so werden die Betonfertigteile 9 übereinander liegender Betonsegmente 7 vorzugsweise um jeweils 90° zueinander versetzt. Es sind jedoch auch andere Versatzwinkel, beispielsweise von nur 45° möglich. Anschließend werden die Vertikalspannglieder 18 eingesetzt und verspannt. Die Vertikalspannglieder 18 werden dabei mit einer derart hohen Vorspannkraft vorgespannt, dass die dadurch in den Horizontalfugen 6 entstehende Reibungskraft ein Auseinanderbewegen der Betonfertigteile 9 in horizontaler Richtung und damit ein Öffnen der Vertikalfugen 8 verhindern.

Der Turm 1 erhält dabei durch das Aneinanderstoßen der seitlichen Kontaktflächen 13 bzw. deren Kontaktbereiche 14 eine gute Steifigkeit in horizontaler Richtung und eine verbesserte Belastbarkeit bei Biegebeanspruchung. Sind die Kontaktflächen 13 mit den erhabenen Kontaktbereichen 14 versehen, so wird weiterhin auch die Positionierung der einzelnen Betonfertigteile 9 bei der

Montage erleichtert. Vorzugsweise weisen die Betonfertigteile 9 auf jeder seitlichen Kontaktfläche 13 wenigstens einen Kontaktbereich 14 auf, mittels welchem sie im montierten Zustand einen seitlichen Kontaktbereich 14 eines angrenzenden Betonfertigteils 9 kontaktieren. Sofern an einer seitlichen Kontaktfläche 13 eines Betonfertigteils 9 zwei Kontaktbereiche 14 vorgesehen sind, ist es ebenfalls ausreichend, wenn in der Vertikalfuge lediglich einer der Kontaktbereiche 14 einen Kontaktbereich 14 eines angrenzenden Betonfertigteils 9 kontaktiert.

Die Kontaktflächen 13 können jedoch ebenso als glatte, ebene Flächen ohne Kontaktbereiche 14 ausgeführt sein, wie in Fig. 5 dargestellt. Da der Zusammenhalt der einzelnen Betonfertigteile 9 eines Betonsegments 7 maßgeblich oder sogar ausschließlich durch die Reibungskräfte in den Horizontalfugen 6 bewirkt wird, sind die Kontaktbereiche 14 nicht unbedingt erforderlich. Es ist für die Steifigkeit des Turms 1 aus demselben Grund auch unschädlich, wenn die Vertikalfugen 8 sich unter Belastung etwas öffnen oder aufgrund von Montagetoleranzen ggf. eine Vertikalfuge 8 auch vollständig offen bleibt. In jedem Falle ist aufgrund der lastabtragenden Verbindung durch die Vorspannkraft der Vertikalspannglieder 18 weder ein Vergießen, noch ein Verschrauben der Vertikalfugen 8 erforderlich.

Aufgrund der fehlenden Verbindung der einzelnen Betonfertigteile 9 eines Betonsegments 7 kann es jedoch im Lastfall zu erheblichen Spannungsspitzen in dem jeweils unter einer Vertikalfuge 8 liegenden Bereich der Betonfertigteile 9 des darunterliegenden Betonsegments 7 kommen. Nach der Darstellung der Figur 2 sind die Betonfertigteile 9 daher an ihrem oberen Ende in dem unter der Vertikalfuge 8 liegenden Bereich, der je nach Versatzwinkel meist mittig der Betonfertigteile 9 liegt, mit einer Zusatzbewehrung 15 bzw. erhöhtem Bewehrungsgehalt versehen.

Um einen Turmabschnitt 3 einer Windkraftanlage in besonders einfacher Weise herstellen und auf der Baustelle montieren zu können, ist gemäß der

Ausführung nach Figur 5 vorgesehen, dass die ringsegmentförmigen Betonfertigteile 9 als exakte Gleichteile ausgeführt sind. Hierdurch wird eine einfache Herstellung der Betonfertigteile 9 mit möglichst wenigen Schalungen ermöglicht. Vorteilhaft ist es dabei, wenn die einzelnen Betonsegmente 7 nicht aus zwei, sondern aus drei oder mehr Betonfertigteilen 9 zusammengesetzt sind. Die einzelnen Betonfertigteile 9 sind hierdurch kleiner und können somit leichter zur Baustelle transportiert werden oder vor Ort mittels transportabler Schalungen auf der Baustelle hergestellt werden.

Um das Handling der Betonfertigteile 9 auf der Baustelle und deren Positionierung auf dem jeweils darunter liegenden Betonsegment 7 zu erleichtern, sind nach vorliegender Darstellung die einzelnen Betonfertigteile 9 mittels horizontaler Verschraubungen 19 zu einem Betonsegment 7 zusammengesetzt. Hierzu sind nach vorliegender Darstellung jeweils zwei Schrauben 20 je Vertikalfuge 8 höhenversetzt und von innen in einem Winkel in die Verbindungsstelle eingebracht. Die Verschraubungsstellen sind dabei über Aussparungen 22 von der Innenseite 16 her gut zugänglich, so dass die Verschraubungen 19 leicht angebracht bzw. bei Bedarf auch wieder leicht entfernt werden können. Die Verschraubung 19 beinhaltet dabei jeweils einen Dübel 21, welcher im Bereich einer seitlichen Kontaktfläche 13 eines Betonfertigteils 9 eingegossen ist, sowie eine Schraube 20, welche durch die Aussparung 22 eines benachbarten Betonfertigteiles 9 hindurch in den Dübel 21 eingebracht ist.

Die Verschraubungen 19 sind dabei als Montagehilfsmittel vorgesehen, ohne der Kraftübertragung im Normalbetrieb zu dienen. Nur im Extremfall, zum Beispiel bei starken Windlasten, dienen sie zur Kraftübertragung. Mittels der Verschraubungen 19 ist es möglich, mehrere Betonfertigteile 9 eines Betonsegments 7 miteinander zu fixieren und als ein Bauteil zu handhaben. Das Betonsegment 7 kann somit mittels der Verschraubungen 19 in schneller und einfacher Weise am Montageort zusammengesetzt und auf den bereits bestehenden Turmabschnitt 3 aufgesetzt werden. Die Verschraubungen 19

sind dabei so ausgelegt, dass sie das Eigengewicht des so gebildeten Bauteils tragen. Die Betonfertigteile 9 sind damit bereits vor dem Spannen der Vertikalspannglieder 18 miteinander verbunden und hierdurch bereits während der Montage des Turmabschnitts 3 gesichert. Die Verschraubungen 19 können nach Fertigstellung des Turmes in dem Betonfertigteile belassen werden, um den Arbeitsschritt des Entfernens einzusparen oder um die Eigenstabilität des Turmes im Wartungsfall, beispielsweise beim Austausch von Vertikalspanngliedern 18, oder während eines Rückbaus, zu gewährleisten.

Figur 6 zeigt ein für einen solchen Turmabschnitt 3 geeignetes Betonfertigteile 9 in einer Vorderansicht von der Innenseite 16 her und Figur 7 in einer Draufsicht. Das Betonfertigteile 9 weist dabei eine Außenseite 10, eine Innenseite 16, eine obere Kontaktfläche 11, eine untere Kontaktfläche 12 sowie zwei seitliche Kontaktflächen 13 auf. Ebenso wie das Betonfertigteile der Fig. 3 können auch diese Betonfertigteile 9 Kontaktbereiche 14 aufweisen. Die Kontaktflächen 13 können jedoch auch als vollständig ebene Flächen ausgebildet sein. Die Höhe H der ringsegmentförmigen Betonfertigteile 9 ist dabei wesentlich geringer als deren Breite B. Vorzugsweise ist die Höhe H der Betonfertigteile geringer als 3 m. Die Betonfertigteile 9 können daher in liegender Position transportiert werden, ohne die höchstzulässige Straßentransportbreite zu überschreiten. Besonders vorteilhaft ist es daher, wenn die Betonfertigteile 9 eine Höhe von weniger als 2,50 m aufweisen, da diese dann mit herkömmlichen Transportfahrzeugen transportiert werden können. Die Höhe der Betonfertigteile 9 ist dabei in Querrichtung des Transportfahrzeugs orientiert. Dabei ist es besonders vorteilhaft, dass aufgrund ihrer schalenförmigen Ausbildung die Betonfertigteile 9 stapelbar sind und somit auch mehrere Betonfertigteile 9 übereinander liegend transportiert werden können.

Die Betonfertigteile 9 sind dabei mittels einer Schalung (nicht dargestellt) als Genauteile hergestellt. Dies bedeutet, dass die Betonfertigteile 9 bereits durch das Gießen ihre einbaufertige Endkontur erreichen, ohne dass ein weiterer Bearbeitungsschritt erforderlich wäre. Die Betonfertigteile 9 sind dabei

mit einer so hohen Genauigkeit gegossen, dass die obere Kontaktfläche 11 und die untere Kontaktfläche 12 ohne Nachbearbeitung exakt planparallel zueinander ausgerichtet sind. Ebenso sind die beiden seitlichen Kontaktflächen 13 exakt rechtwinklig zu den oberen und unteren Kontaktflächen 11, 12 und mit einem exakten Winkel zueinander ausgerichtet. Der Winkel zwischen den beiden seitlichen Kontaktflächen 13 jeweils eines Betonfertigteiles 9 beträgt bei drei Betonfertigteilen 9 je Betonsegment 7 120° und bei vier Betonfertigteilen 9 je Betonsegment 7 90° .

Die Schalung (nicht dargestellt) zur Herstellung der Betonfertigteile enthält hierzu jeweils zwei Stirnschalungen und zwei Seitenschalungen, die jeweils unabhängig voneinander in Bezug auf die Grundschalung einstellbar sind. Spätere Arbeiten, um eine Planparallelität jeweils zweier einander gegenüberliegender Kontaktflächen 11, 12 herzustellen, sind somit nicht erforderlich. Ebenso ist die Orientierung der seitlichen Kontaktflächen 13 zu den oberen und unteren Kontaktflächen 11, 12 jeweils derart exakt ausgebildet, dass beim Zusammensetzen mehrerer Betonfertigteile 9 zu einem ringförmigen Betonsegment 7 keine Ausgleichsmasse in die Vertikalfugen eingebracht werden muss.

Aufgrund der geringen Abmessungen der Betonfertigteile 9 und somit auch der zugehörigen Schalungen können die Betonfertigteile 9 direkt am Montageort oder zumindest nahe des Montageorts hergestellt werden, sodass keine aufwendigen Transporte, welche oftmals den Bau neuer Zufahrtswege sowie das Schlagen von Schneisen erfordern, erforderlich sind. Nachdem der Turm 1 bzw. die geplanten Türme 1 am Montageort vollständig errichtet sind, können die Schalungen einfach zum nächsten Montageort weiter transportiert werden und dort wiederum der Fertigung von Betonfertigteilen 9 vor Ort dienen. Es ist somit trotz der Vor-Ort-Fertigung eine wirtschaftliche Herstellung der Betonfertigteile 9 bzw. der Türme 1 möglich.

Figur 8 zeigt eine andere Ausführung eines Turms 1 in einer schematischen Querschnittsdarstellung. Ebenso wie der in Figur 4 gezeigte Turmabschnitt 3 ist der vorliegend dargestellte Turmabschnitt 3 aus mehreren ringförmigen Betonsegmenten 7 aufgebaut, welche übereinander angeordnet sind. Die übereinander angeordneten Betonsegmente 7 sind wiederum mittels Vertikalspanngliedern 18, welche sich zwischen einem Kopflager, hier wieder einem Übergangsstück 5, sowie einem Fußlager, hier wieder dem Fundament 2, erstrecken. Die Vertikalspannglieder 18 sind dabei zumindest an einem ihrer beiden Enden, vorzugsweise jedoch an ihren beiden Enden, mittels eines Spannankers befestigt und somit nachspannbar. Die Vertikalspannglieder 18 verlaufen ebenfalls außerhalb des Betonquerschnitts der Betonsegmente 7 in dem Innenraum 24, welcher von der Innenwandung 23 des Turmabschnitts 3 umschlossen wird. Die Innenwandung 23 setzt sich dabei wiederum aus den einzelnen Innenseiten 16 der einzelnen Betonsegmente 7 bzw. der einzelnen Betonfertigteile 9 der Betonsegmente 7 (siehe Figuren 10-12) zusammen. Die einzelnen Betonsegmente 7 können dabei einstückig ringförmig ausgebildet sein oder wie zuvor bereits anhand der Figuren 2-7 beschrieben, aus mehreren ringsegmentförmigen Betonfertigteilen 9 zusammengesetzt sein.

Vorliegend ist lediglich der Turmabschnitt 3 des Turms 1 dargestellt. Selbstverständlich kann auch auf diesem Turmabschnitt 3 ein weiterer Turmabschnitt 3, 4 aus Beton oder aus Stahl angeordnet sein, welcher dann zusammen mit dem hier gezeigten Turmabschnitt 3 den Turm 1 für die Windkraftanlage bildet. Vorliegend sind weiterhin die Vertikalfugen 6 zwischen den einzelnen Betonsegmenten 7 erkennbar. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in vorliegender Darstellung die lediglich die Außenseite 10 sowie die Innenseite 16 der einzelnen Betonsegmente 7 benannt. Selbstverständlich weisen jedoch auch diese jeweils eine obere Kontaktfläche 11, eine untere Kontaktfläche 12, sowie, sofern die Betonsegmente 7 aus Betonfertigteilen 9 aufgebaut sind, seitliche Kontaktflächen 13 auf, wie sie in den vorherigen Figuren beschrieben wurden. Selbiges gilt für die folgenden Figuren 9-12, an

welchen aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils nur die beschriebenen Bauteile bzw. Merkmale beschriftet wurden.

Wie nun der Figur 8 entnehmbar, weist nach vorliegender Darstellung eines der Betonsegmente 7 auf seiner Innenseite 16 einen Vorsprung 25 auf, an welchem die Vertikalspannglieder 18 anliegen. Die Vertikalspannglieder 18 können somit mittels Reibungskräften an der Innenwandung 23 bzw. an dem Vorsprung 25 fixiert werden, so dass die freie Schwingungslänge der Vertikalspannglieder 18 reduziert wird und unerwünschte Querbewegungen verhindert werden können. Es ist somit möglich, auch sehr hohe Türme 1 ohne eine zusätzliche, aktive Zwischenbefestigung der Spannglieder 18 auszuführen. Dabei ist sowohl das betreffende Betonsegment 7 bzw. Betonfertigteile 9 mit dem Vorsprung 25 besonders einfache Weise herstellbar, da der Vorsprung 25 gut in die Schalung integriert werden kann. Zudem ist auch die Montage auf der Baustelle erleichtert, da für diese Zwischenbefestigung der Vertikalspannglieder 18 keinerlei zusätzliche Montageschritte erforderlich sind. Vielmehr ist es ausreichend, die Vertikalspannglieder 18 beispielsweise an ihrem Kopflager festzulegen, nach unten hin abzuwickeln und an ihrem Fußlager zu verankern. Die Vertikalspannglieder 18 werden dabei automatisch über den Vorsprung 25 geführt und sind nach dem Verspannen, bei welchem eine Anpresskraft auf die Vertikalspannglieder 18 entsteht, durch Reibung an diesem fixiert. Besonders vorteilhaft ist es dabei, dass eine solche Fixierung der Vertikalspannglieder 18 an einem Vorsprung 25 mit verschiedenen Bauarten von Turmabschnitten 3 bzw. Türmen 1 anwendbar ist. So kann der angeformte Vorsprung 25 nicht nur in Verbindung mit einteilig ringförmigen Betonsegmenten 7, sondern ebenso mit aus mehreren Betonfertigteilen 9 zusammengesetzten Betonsegmenten 7 eingesetzt werden. Daneben ist es auch möglich, einen solchen Vorsprung 25 an einem Ortbeton-Turm vorzusehen.

Vorliegend sind lediglich zwei Vertikalspannglieder 18 exemplarisch dargestellt. Es versteht sich, dass in einem realen Turmabschnitt 3 wenigstens

drei, in der Regel jedoch eine Vielzahl von Vertikalspanngliedern 18 über den Innenumfang des Turmabschnitts 3 verteilt angeordnet werden. Die Vertikalspannglieder 18 können dabei äquidistant über den Innenumfang verteilt werden, oder es können einzelne Gruppen von Vertikalspanngliedern 18 gebildet werden, die ebenfalls äquidistant über den Innenumfang verteilt werden, wobei dann zwischen einzelnen solcher Gruppen Lücken vorhanden sind. Es sind aber auch Ausführungen möglich, bei welchen sich ein Vertikalspannglied 18 neben dem nächsten erstreckt, so dass der gesamte Innenumfang des Turmabschnitts 3 mit Vertikalspanngliedern 18 überdeckt ist.

Der Vorsprung 25 ist nach der vorliegend gezeigten Darstellung umlaufend über den gesamten Innenumfang des Turmabschnitts 3 bzw. des Betonsegments 7 ausgebildet. Er kann somit in beliebigen Türmen 1 mit einer beliebigen Anzahl und Anordnung von Vertikalspanngliedern 18 eingesetzt werden. Weiterhin ist vorliegend ein Turmabschnitt 3 gezeigt, bei dem lediglich ein Vorsprung 25 an der Innenwandung 23 vorgesehen ist. Selbstverständlich ist es jedoch auch möglich, einen weiteren Vorsprung 25 höhenversetzt zu dem ersten Vorsprung 25 der Innenwandung 23 anzuordnen, um hierdurch bei sehr hohen Türmen 1 eine bessere Fixierung der Vertikalspannglieder 18 zu erreichen. Weiterhin versteht es sich, dass vorliegende Darstellung mit nur fünf Betonsegmenten 7 lediglich beispielhaft zu verstehen ist und dass reale Turmabschnitte 3 aus wesentlich mehr Betonsegmenten 7 bzw. Betonfertigteilen 9 aufgebaut werden.

Figur 9 zeigt einen Querschnitt eines einteiligen, ringförmigen Betonsegments 7, welches ebenfalls über einen Vorsprung 25 auf seiner Innenseite 16 verfügt. Im Unterschied zur Darstellung der Figur 8 sind dabei die Vertikalspannglieder 18 unter einem Umlenkwinkel α über den wenigstens einen Vorsprung 25 geführt. Durch das Anliegen unter einem Umlenkwinkel α können besonders hohe Anpresskräfte auf die Spannglieder 18 erzeugt werden, so dass diese durch hohe Reibungskräfte besonders gut fixiert sind. Selbstverständlich ist eine solche Führung der Vertikalspannglieder 18 unter einem

Umlenkwinkel α auch in Kombination mit segmentförmigen Betonfertigteilen 9 oder einem Ortbeton-Turm möglich.

Figur 10 zeigt ein ringsegmentförmiges Betonfertigteile 9, welches zusammen mit weiteren ringsegmentförmigen Betonfertigteilen 9 zu einem ringförmigen Betonsegment 7 zusammengesetzt werden kann. Das ringsegmentförmige Betonfertigteile 9 verfügt ebenso wie das in Figur 7 gezeigte über eine Außenseite 10, eine Innenseite 16, zwei seitliche Kontaktflächen 13 sowie eine obere Kontaktfläche 11. Eine untere Kontaktfläche 12 (siehe Figuren 2-4) ist in der vorliegenden Darstellung nicht sichtbar. Das ringsegmentförmige Betonfertigteile 9 verfügt wiederum auf seiner Innenseite 16 über einen Vorsprung 25, der vorzugsweise ebenso wie der in den Figuren 8 und 9 gezeigte Vorsprung 25 konsolenartig bzw. flanschartig ausgebildet ist und vorzugsweise einen rechteckigen Querschnitt aufweist. Vorzugsweise sind dabei die zum Innenraum 24 hinweisenden Kanten des rechteckigen Querschnitts abgerundet, um schädigende Einwirkungen des Vorsprungs 25 auf die Vertikalspannglieder 18 zu vermeiden.

Vorzugsweise werden mehrere solcher ringsegmentförmiger Betonfertigteile 9, gemäß der vorliegenden Darstellung vier solcher Betonfertigteile 9, zu einem Betonsegment 7 zusammengesetzt, so dass sich wiederum ein umlaufender, flanschartiger Vorsprung 25 ergibt. Denkbar ist es jedoch auch, insbesondere bei mehr als vier ringsegmentförmigen Betonfertigteilen 9 je Betonsegment 7, dass lediglich ein Teil der ringsegmentförmigen Betonfertigteile 9 einen solchen Vorsprung aufweist. Diese Betonfertigteile 9 werden bei der Montage des Turmabschnitts 3 dann derart angeordnet, dass die Vorsprünge 25 dort verlaufen, wo später Vertikalspannglieder 18 eingezogen werden sollen.

Figur 11 zeigt eine andere Ausführung eines Betonfertigteils 9, bei welchem sich ein konsolenartig ausgebildeter Vorsprung 25 nicht über die gesamte Innenseite 16 erstreckt. Eine solche Ausführung kann beispielsweise zum

Entformen günstig sein und trägt dazu bei, dass die seitlichen Kontaktflächen 13 in besonders einfacher Weise eben ausgebildet werden können oder bearbeitet, beispielsweise überschliffen, werden können. Auch hier ist es wiederum denkbar, mehrere Vertikalspannglieder 18 zu Gruppen zusammenzufassen, wobei die Gruppe von Spanngliedern 18 sich dann im Bereich des Vorsprungs 25 erstreckt, während in dem Bereich der Innenseite 16 außerhalb der Vorsprünge 25 keine Vertikalspannglieder 18 angeordnet werden.

Figur 12 zeigt eine weitere Ausführung eines ringsegmentförmigen Betonfertigteils 9, bei welchem mehrere Vorsprünge 25 auf derselben Höhe, jedoch über den Innenumfang des Betonfertigteils 9 verteilt auf der Innenseite 16 angeordnet sind. Die Vorsprünge 25 werden wiederum in den Bereichen des Turmabschnitts 3 vorgesehen, in welchen die spätere Anordnung von Vertikalspanngliedern 18 geplant ist. Selbstverständlich wäre es auch denkbar, ein ringförmiges Betonsegment 7 mit solchen mehreren, über den Innenumfang verteilten Vorsprüngen 25 zu versehen.

Figur 13 zeigt eine andere Ausführung eines ringsegmentförmigen Betonfertigteils 9 mit mehreren, über den Innenumfang des Betonfertigteils 9 verteilt auf der Innenseite 16 angeordneten Vorsprüngen 25. Die Vorsprünge 25 sind auf ihrer zum Innenraum 24 des Turms weisenden Seite jedoch nicht eben ausgebildet wie die der Figur 12, sondern weisen eine konkave, zum Innenraum 24 weisende Ausnehmung auf. Die Spannglieder 18 liegen dabei am tiefsten Punkt der konkaven Ausnehmung an und sind hierdurch besonders gut in ihrer Querrichtung fixiert bzw. werden nach einer eventuellen Auslenkung automatisch wieder zurückgestellt. Insbesondere bei Drahtspanngliedern ist eine derartige Ausführung vorteilhaft.

Zusammenfassend ist bei dem vorliegenden Turm 1 mit Betonsegmenten 7 aus mehreren Betonfertigteilen 9 die Herstellung dadurch erleichtert, dass die einzelnen Betonfertigteile 9 leicht positioniert werden können und keine aufwendigen Verbindungen der Vertikalfugen 8 bzw. der Betonfertigteile 9

eines Betonsegments 7 erforderlich sind. Das vergusslose Zusammensetzen der Betonfertigteile 9 zu Betonsegmenten 7 sowie der Betonsegmente 7 zu einem Turmabschnitt 3 aus Beton kann dabei durch die hochgenaue Fertigung der Betonfertigteile 9 als Gleichteile erleichtert werden. Aufgrund der vergußlosen Ausführung der Horizontalfugen und Vertikalfugen sowie der verbundlosen Führung der Vertikalspannglieder sind dabei die Montage, die Wartung und der Rückbau des Turms erleichtert. Zur einfachen Herstellung der Betonsegmente 7 bzw. der Betonfertigteile 9 sowie zur einfachen Montage des Turmabschnitts 3 trägt dabei die Fixierung der Vertikalspannglieder 18 an dem Vorsprung 25 bei.

Bezugszeichenliste

- 1 Turm
 - 2 Fundament
 - 3 Turmabschnitt aus Beton
 - 4 Turmabschnitt aus Stahl
 - 5 Übergangsstück
 - 6 Horizontalfuge
 - 7 Betonsegment
 - 8 Vertikalfuge
 - 9 Betonfertigteile
 - 10 Außenseite
 - 11 obere Kontaktfläche
 - 12 untere Kontaktfläche
 - 13 seitliche Kontaktfläche
 - 14 Kontaktbereich
 - 15 Zusatzbewehrung
 - 16 Innenseite
 - 17 Hüllrohr
 - 18 Vertikalspannglied
 - 19 Verschraubung
 - 20 Schraube
 - 21 Dübel
 - 22 Aussparung für Verschraubung
 - 23 Innenwandung
 - 24 Innenraum
 - 25 Vorsprung
-
- H Höhe
B Breite
 α Umlenkwinkel

Patentansprüche

1. Turm (1) für eine Windkraftanlage mit wenigstens einem Turmabschnitt (3) aus Beton, welcher unter Ausbildung von Horizontalfugen (6) aus mehreren, übereinander angeordneten, ringförmigen Betonsegmenten (7) zusammengesetzt ist, wobei jedes Betonsegment (7) unter Ausbildung von Vertikalfugen (8) aus wenigstens zwei, nebeneinander angeordneten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen (9) zusammengesetzt ist, welche jeweils eine Außenseite (10), eine Innenseite (16) sowie eine obere, eine untere und zwei seitliche Kontaktflächen (11, 12, 13) aufweisen, und wobei die Betonsegmente (7) des wenigstens einen Turmabschnitts (3) in vertikaler Richtung des Turms (1) nur durch Vertikalspannmittel miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertikalfugen (8) jeweils zweier übereinander angeordneter Betonsegmente (7) in Umfangsrichtung der Betonsegmente (7) versetzt zueinander angeordnet sind, wobei jeweils ein Betonfertigteil (9) eines oberen Betonsegments (7) der zwei übereinander angeordneten Betonsegmente (7) eine Vertikalfuge (8) eines darunterliegenden Betonsegments (7) der zwei übereinander angeordneten Betonsegmente (7) übergreift, und dass die übereinander angeordneten Betonsegmente (7) durch die Vertikalspannmittel, insbesondere Vertikalspannglieder (18), derart miteinander verspannt sind, dass eine lastabtragende, reibschlüssige Verbindung entsteht.
2. Turm nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Betonfertigteile (9) jeweils eines Betonsegments (7) nur durch die reibschlüssige Verbindung mittels des die Vertikalfuge (8) übergreifenden Betonfertigteils (9) miteinander verbunden sind.
3. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die seitlichen Kontaktflächen (13) der Beton-

fertigteile (9) eben ausgebildet sind und zur Ausbildung der Vertikalfugen (8) jeweils stumpf aneinander stoßen.

4. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die seitlichen Kontaktflächen (13) der Betonfertigteile (9) jeweils wenigstens einen, vorzugsweise jeweils zwei, erhabene Kontaktbereiche (14) aufweisen.
5. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Betonfertigteile (9) zumindest an ihrem oberen und vorzugsweise auch an ihrem unteren Ende, insbesondere in einem mittigen Bereich, eine Zusatzbewehrung (15) aufweisen.
6. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die oberen und die unteren Kontaktflächen (11, 12) überschliffen sind.
7. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Betonfertigteile (9) jeweils eines Betonsegments (7) durch Horizontalspannmittel und/oder Zugverbindungsmittel, insbesondere Verschraubungen (19), miteinander verbunden sind, wobei die Verschraubungen (19) vorzugsweise derart ausgelegt sind, dass sie als Montagehilfsmittel bei der Herstellung des Turms (1) dienen und/oder zur Aufnahme von Extremlasten dienen.
8. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Betonsegmente (7) aus wenigstens drei, vorzugsweise aus vier, ringsegmentförmigen, als Gleichteile ausgebildeten Betonfertigteilen (9) zusammengesetzt sind.
9. Turm nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Kontaktbereiche (14) und/oder die seitlichen Kontaktflächen (13) der Betonfertigteile (9), vorzugsweise sämtliche Kon-

taktflächen (11, 12, 13) schalungsglatt und vorzugsweise unbehandelt und/oder eben geschliffen sind.

10. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (H) der ringsegmentförmigen Betonfertigteile (9) geringer ist als die Breite (B) der ringsegmentförmigen Betonfertigteile (9), wobei vorzugsweise die Höhe (H) der ringsegmentförmigen Betonfertigteile (9) weniger als ein Drittel, vorzugsweise weniger als ein Viertel, der Breite (B) der ringsegmentförmigen Betonfertigteile (9) beträgt.
11. Turm nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe (H) der ringsegmentförmigen Betonfertigteile (9) geringer ist als 3 m, besonders bevorzugt geringer als 2,5 m.
12. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertikalspannglieder (18) verbundlos und außerhalb eines Betonquerschnitts der Betonfertigteile (9) geführt sind.
13. Turm (1) für eine Windkraftanlage mit wenigstens einem Turmabschnitt (3) aus Beton mit einer Innenwandung (23), welcher zwischen einem Kopflager, insbesondere einem Übergangsstück (5) und einem Fußlager, insbesondere einem Fundament (2), mittels Vertikalspanngliedern (18) vorgespannt ist, wobei die Vertikalspannglieder (18) außerhalb eines Betonquerschnitts in einem Innenraum (24) des Turmabschnitts (3) verlaufen, insbesondere mit einem Turmabschnitt (3) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Turmabschnitt (3) an seiner Innenwandung (23) zwischen dem Kopflager und dem Fußlager wenigstens einen einteilig an dem Turmabschnitt (3) angeformten Vorsprung (25) aufweist, an welchem zumindest eines der Vertikalspannglieder (18) anliegt.
14. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-

- zeichnet, dass der Vorsprung (25) einen rechteckigen Querschnitt aufweist.
15. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorsprung (25) über einen Innenumfang des Turmabschnitts (3) umlaufend ausgebildet ist.
 16. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Vorsprünge (25) über einen Innenumfang des Turmabschnitts (3) verteilt auf gleicher Höhe angeordnet sind, wobei vorzugsweise die Vorsprünge eine konkave, zum Innenraum (24) des Turms (1) weisende Ausnehmung aufweisen.
 17. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Vertikalspannglied (18) unter einem Umlenkwinkel (α) an dem wenigstens einen Vorsprung (25) anliegt.
 18. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Turmabschnitt (3) mehrere, höhenversetzt an seiner Innenwandung (23) angeformte Vorsprünge (25) aufweist.
 19. Turm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Turmabschnitt (3) wenigstens ein ringförmiges Betonsegment (7) aufweist, an welchem der wenigstens eine Vorsprung (25) angeformt ist.
 20. Turm nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Betonsegment (7) aus wenigstens zwei, vorzugsweise wenigstens drei, nebeneinander angeordneten, ringsegmentförmigen Betonfertigteilen (9) zusammengesetzt ist, wobei an wenigstens einem der Betonfertigteile (9) der wenigstens eine Vorsprung (25) angeformt ist.

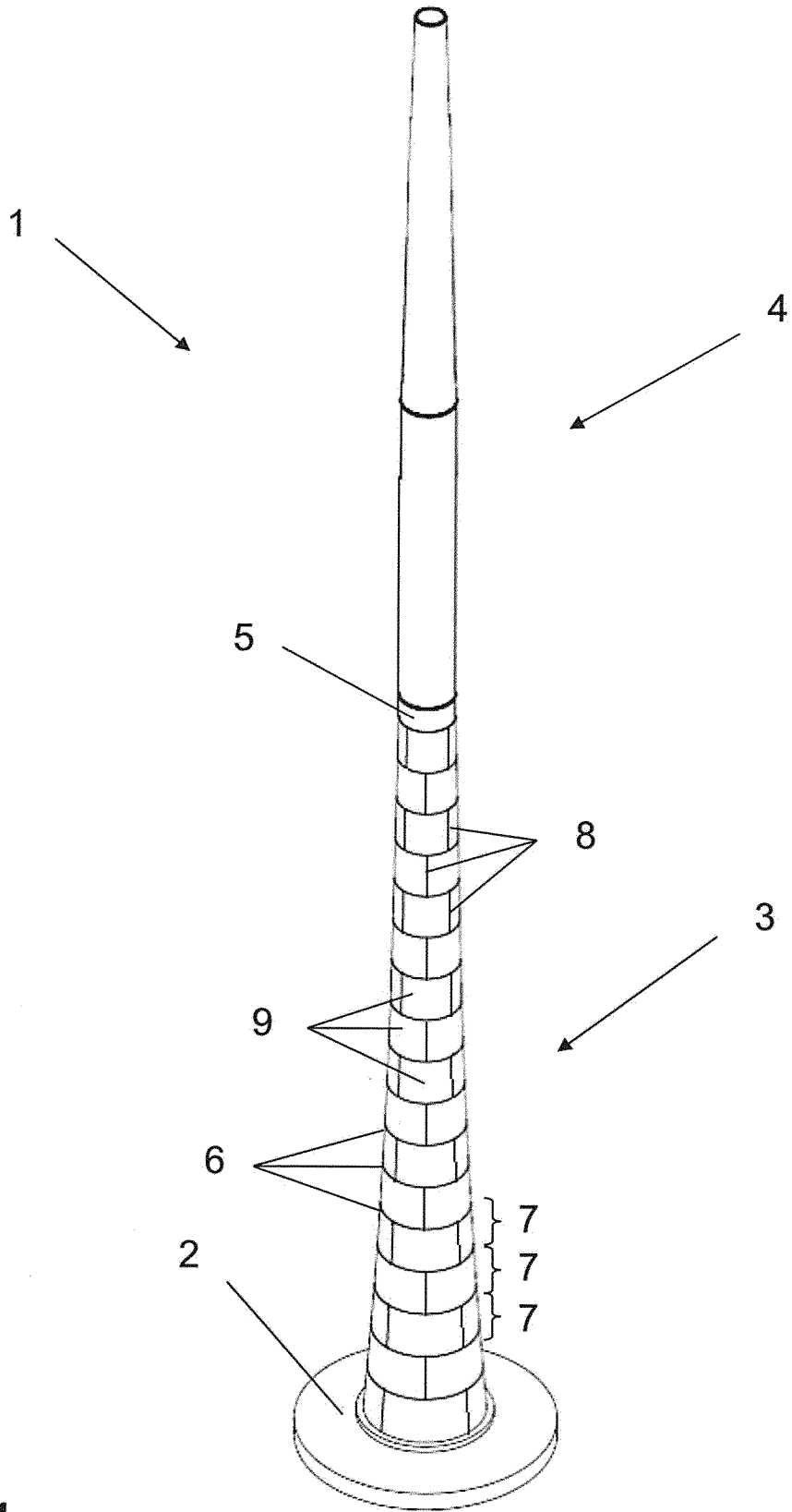


Fig. 1

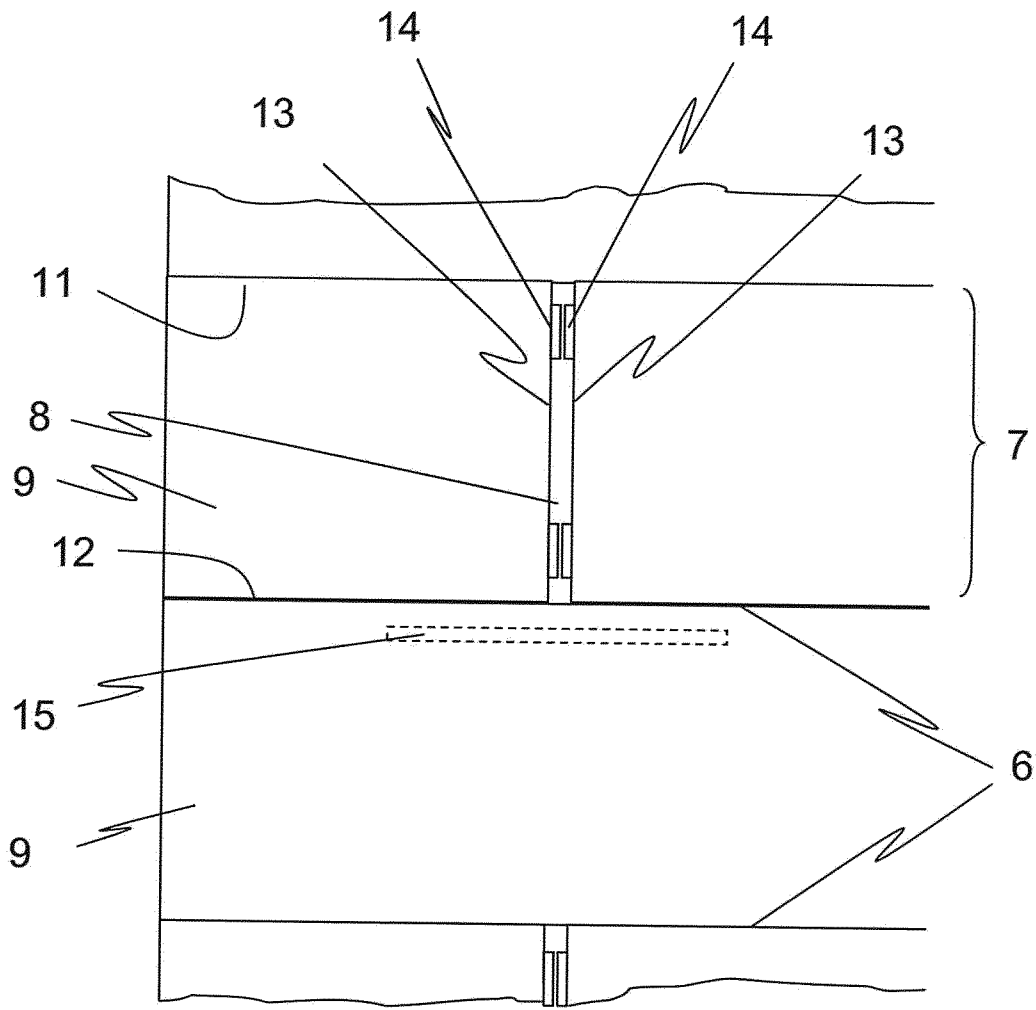


Fig. 2

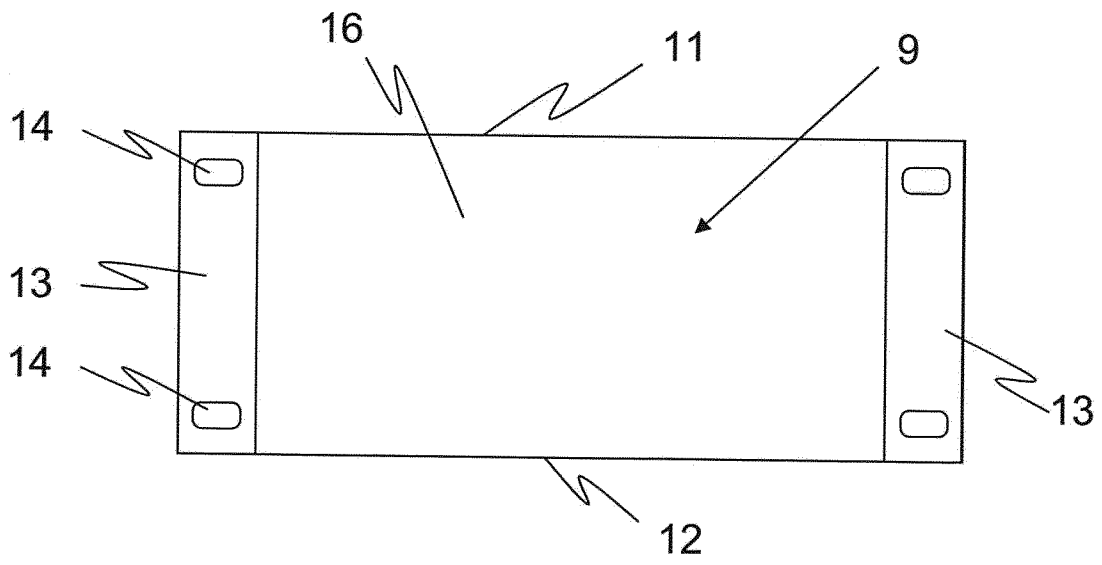


Fig. 3

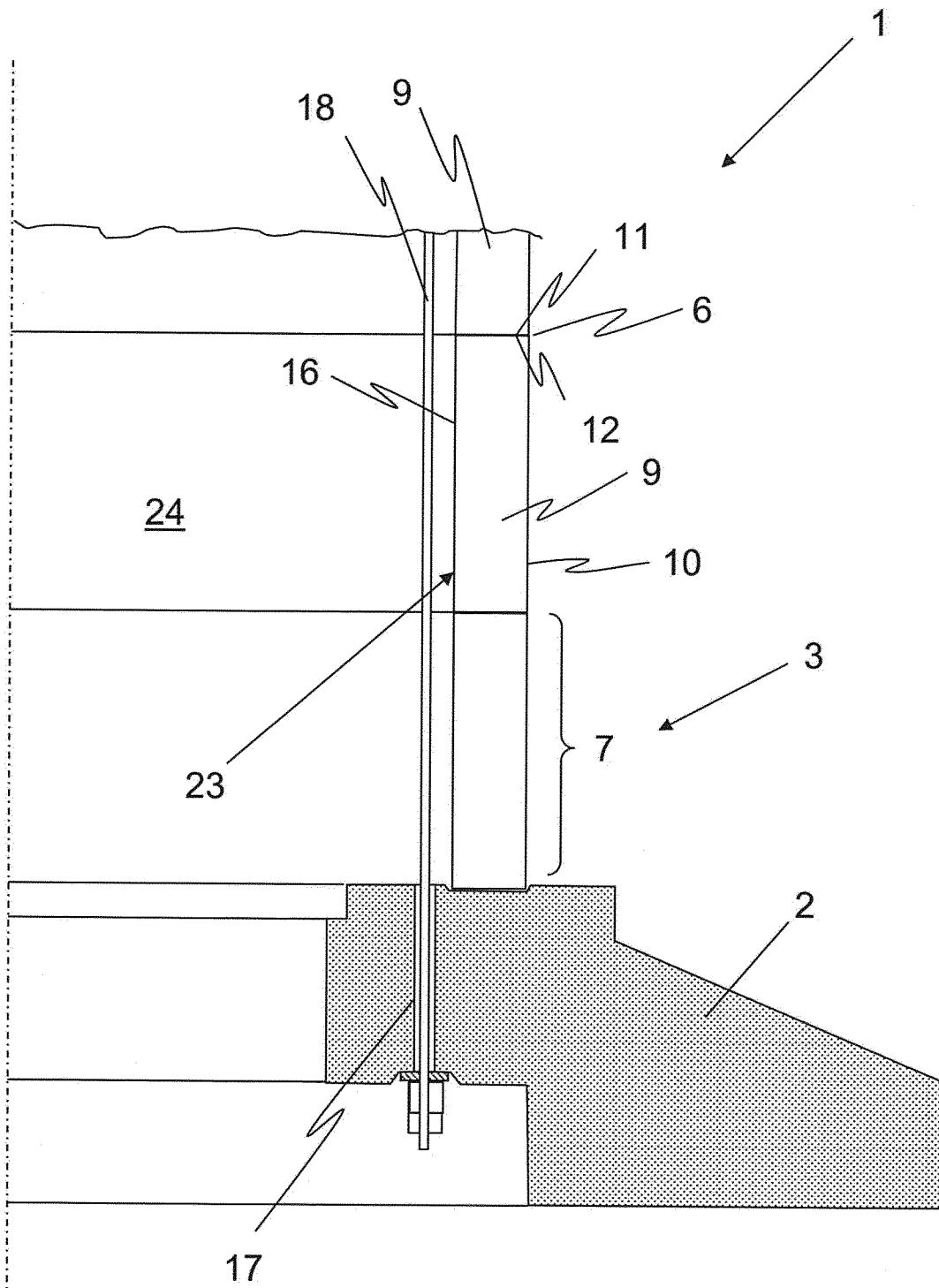


Fig. 4

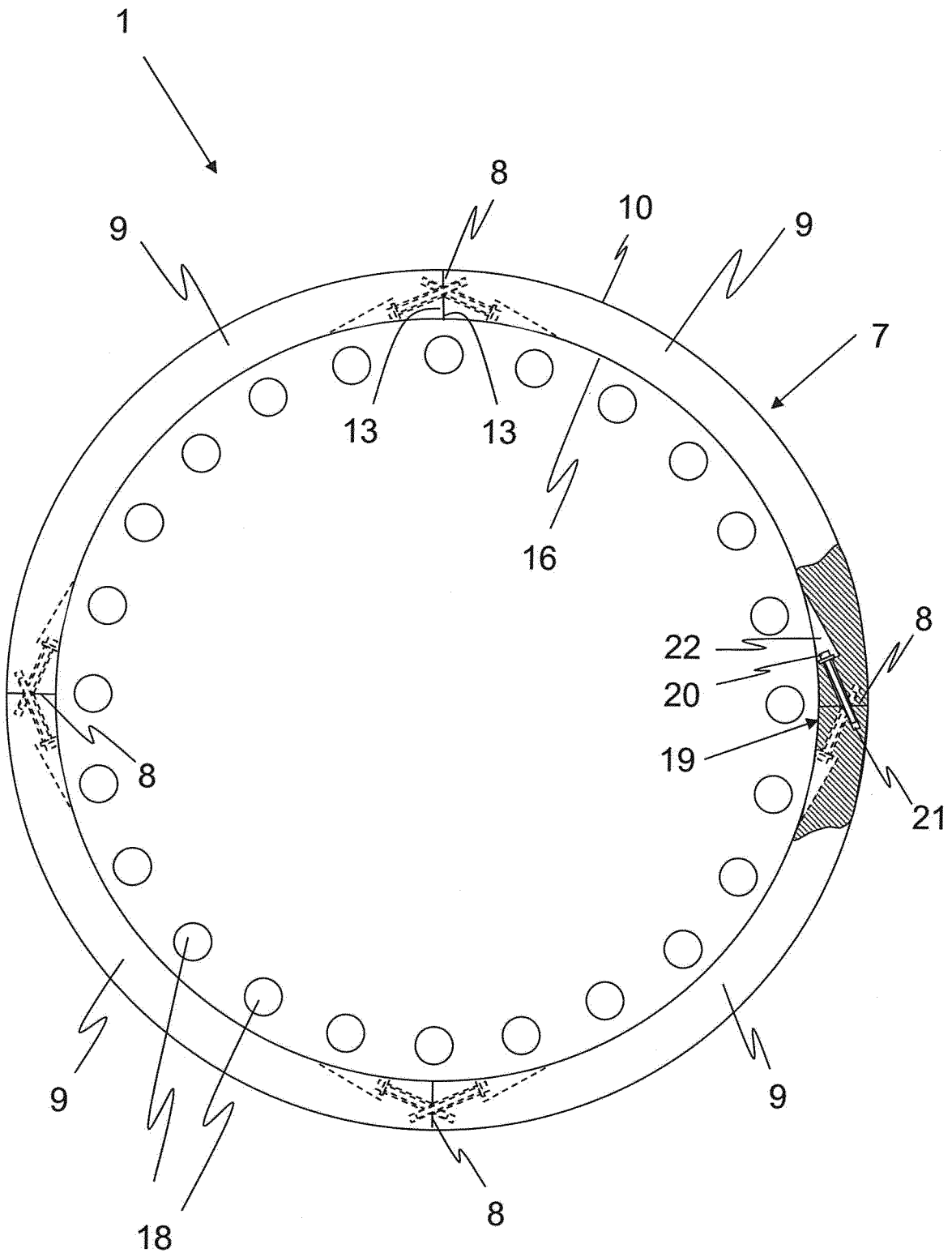


Fig. 5

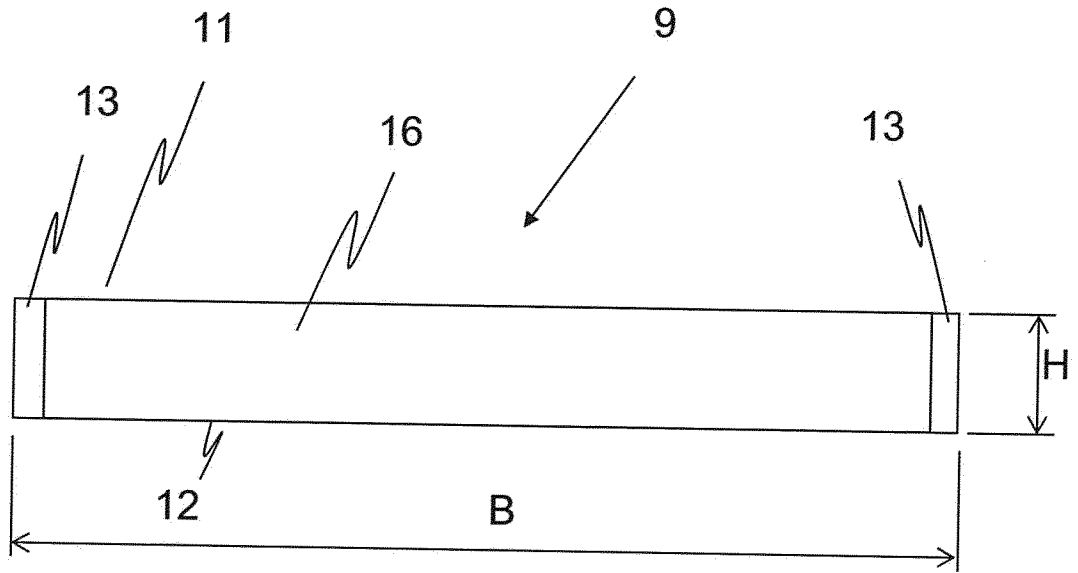


Fig. 6

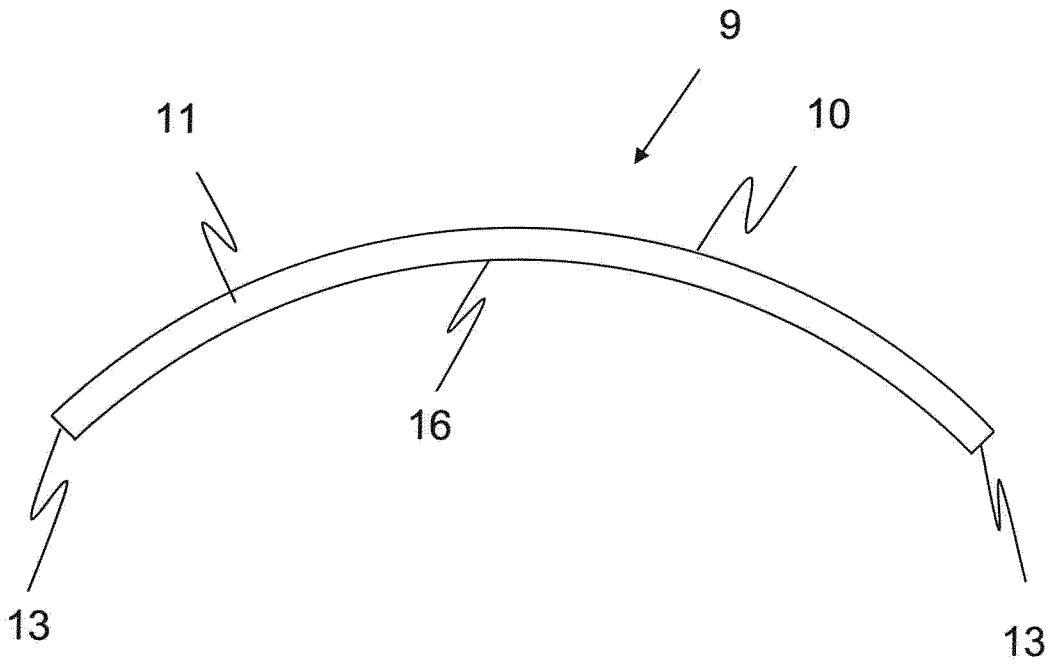


Fig. 7

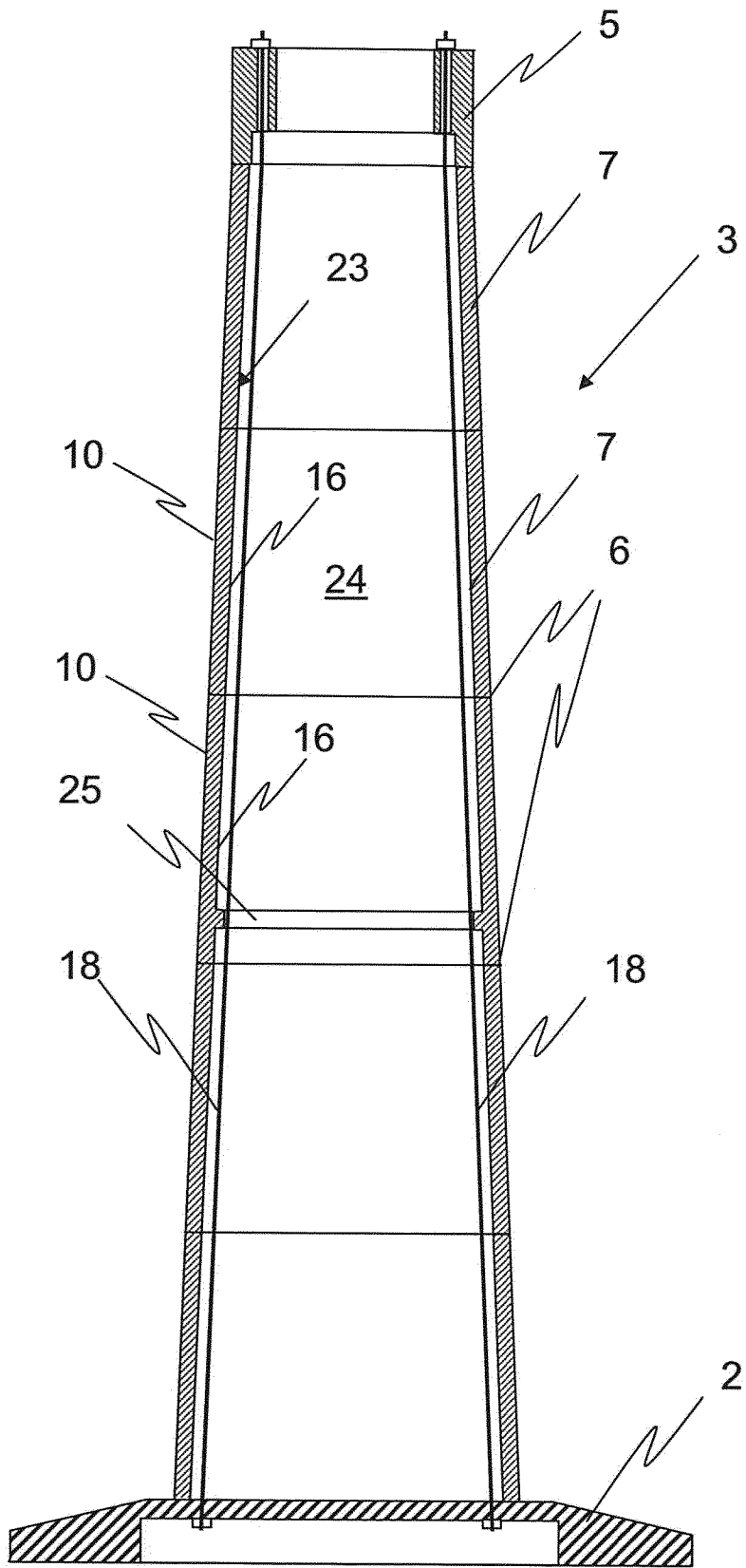


Fig. 8

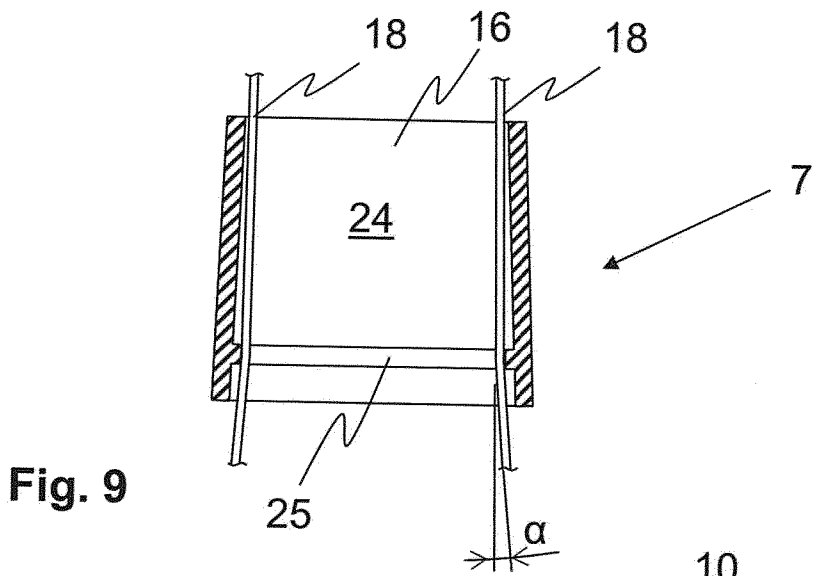


Fig. 9

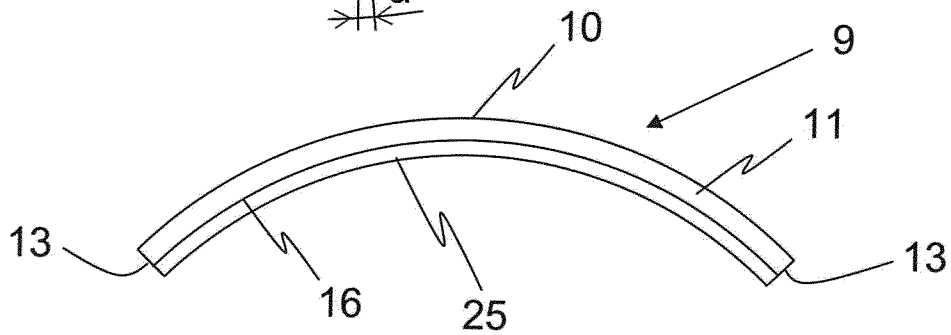


Fig. 10

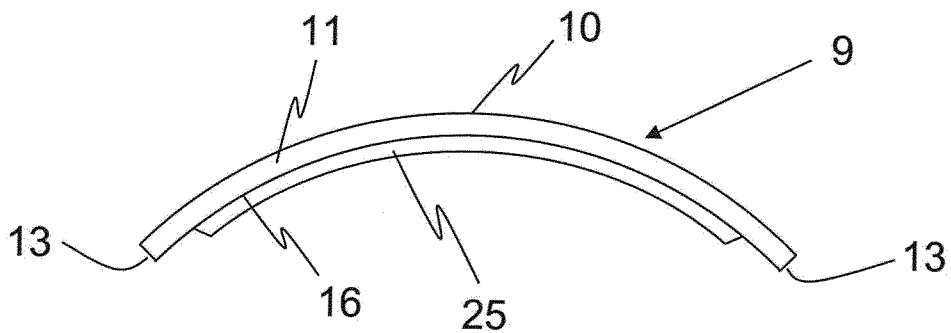


Fig. 11

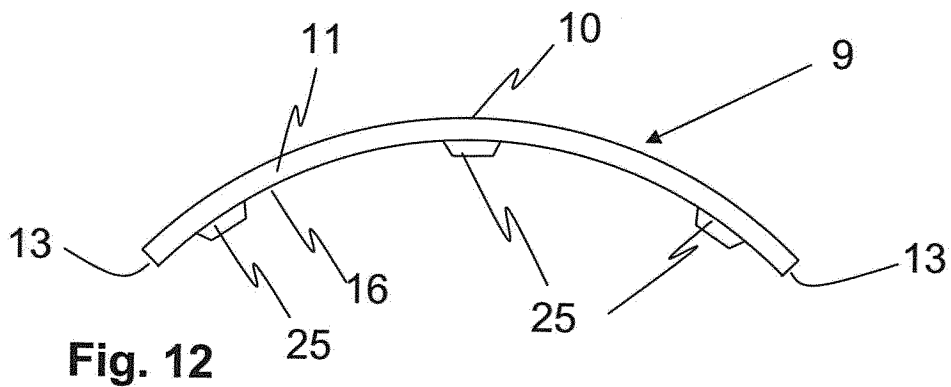


Fig. 12

