



(10) **DE 10 2017 123 935 A1** 2019.04.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 123 935.9**

(22) Anmeldetag: **13.10.2017**

(43) Offenlegungstag: **18.04.2019**

(51) Int Cl.: **E02D 27/52 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**ROSEN Swiss AG, Stans, CH**

(74) Vertreter:

**Busse & Busse Patent- und Rechtsanwälte  
Partnerschaft mbB, 49084 Osnabrück, DE**

(72) Erfinder:

**Larink, Dirk, 48455 Bad Bentheim, DE; Krümpel,  
Hanna, 48485 Neuenkirchen, DE; Lindner,  
Alexander, 48607 Ochtrup, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

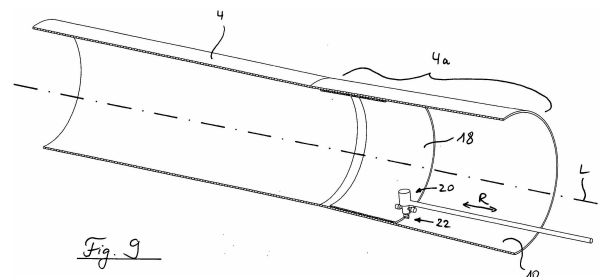
<b>EP</b>	<b>2 594 696</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>2 672 016</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Dichtungsanordnung für eine Verbindung zweier Verbindungselemente eines Offshore-Bauwerks sowie Verfahren zur Herstellung derselben**

(57) Zusammenfassung: Dichtungsanordnung (2) für eine Verbindung zweier insbesondere als Monopile und Übergangsstück ausgebildeter Verbindungselemente (4, 6) eines Offshore-Bauwerks, vorzugsweise einer Offshore-Windenergieanlage, insbesondere eines Unterbaus derselben, bei der ein oberes Verbindungselement (4) und ein unteres Verbindungselement (6) zur stabilen Verbindungsherstellung zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') klemmend ineinander gesteckt sind, umfassend eines der Verbindungselemente (4, 6) und die an dem Verbindungselement (4, 6) festgelegte zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8'), derart, dass die Dichtungseinheit (8, 8') in einer Verbindungsposition zwischen einer inneren Verbindungsfläche (10) des einen Verbindungselements (4, 6) und einer äußeren Verbindungsfläche (12) des anderen Verbindungselements (4, 6) angeordnet ist, wobei zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') wenigstens ein sich in Umfangsrichtung vollumfänglich erstreckendes, elastisches Abdichtungselement (14) aufweist, dessen Dicke (D) gegenüber der Dicke (D') eines angrenzenden Dichtungseinheitsbereichs vergrößert ist sowie Verfahren zur Herstellung einer Dichtungsanordnung (2).



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Dichtungsanordnung für eine Verbindung zweier insbesondere als Monopile und Übergangsstück ausgebildeter Verbindungselemente eines Offshore-Bauwerks, vorzugsweise einer Offshore-Windenergieanlage, insbesondere eines Unterbaus derselben. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung derselben.

**[0002]** Bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen finden eine Vielzahl von Fundamenttypen Verwendung, welche die eigentliche Windenergieanlage am Offshore-Standort tragen. Typische Fundamenttypen sind Jackets, Tripods, Tetrapods, Monopiles, Schwergewichtsgründungen, Tripiles, Bucket-Fundamente oder auch schwimmende Fundamente, deren Einsatzmöglichkeiten von Faktoren wie dem Gewicht der Windenergieanlage, der Wassertiefe sowie den Verhältnissen und der Beschaffenheit des Meeresbodens abhängig sind.

**[0003]** Bei einem Monopile-Unterbau wird ein in den Meeresboden eingetriebenes Fundamentrohr (Monopile) mit einem Übergangsstück verbunden. Auf dem Übergangsstück kann anschließend die Windenergieanlage errichtet werden. Standardmäßig wird zur Verbindungsherstellung das Übergangsstück über das Monopile gestülpt und ein zwischen beiden Verbindungselementen vorhandener Ringspalt mit einem Vergussmörtel verfüllt bzw. vergROUTet. Alternativ oder zusätzlich können die beiden Verbindungselemente, insbesondere unter Verwendung entsprechender Flansche, vernietet oder verschraubt werden.

**[0004]** Während des Betriebs ist die Anlage mitunter starken Belastungen, beispielsweise durch Wind und Wellen, ausgesetzt. Dies führt dazu, dass das Monopile und das die Windenergieanlage tragende Übergangsstück sich relativ zueinander bewegen. Herkömmlicher Vergussmörtel neigt bei derartigen Belastungen mit der Zeit zu Brüchen, was die Verbindung zwischen Monopile und Übergangsstück schwächt und zu einer dauerhaften Verlagerung des die Windenergieanlage tragenden Übergangsstücks aus der optimalen Position, insbesondere zu einer Absenkung oder Schiefstellung der Anlage, führt. Dabei können durch ein Verkippen des Übergangsstücks relativ zum Monopile zwischen beiden Verbindungselementen Lücken entstehen, so dass die Kapselung dieser Baugruppe nicht mehr gewährleistet ist. Folglich kann Meerwasser in die Baugruppe eindringen und Schaden anrichten.

**[0005]** Aus der EP 2 672 016 A1 ist eine Dichtlippe für eine standardmäßige Grout-Verbindung eines in den Meeresboden eingetriebenen Pfahls und einer Muffe gezeigt, wodurch Wassereintritt in die Bau-

gruppe und damit einhergehender Abtrag von Mörtel verhindert werden soll. Jedoch kann damit Brüchen, die aufgrund der im Betrieb auftretenden Belastungen entstehen, nicht entgegengewirkt werden, so dass eine Absenkung oder Schiefstellung der Windenergieanlage nicht verhindert wird.

**[0006]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Verbindung zweier insbesondere als Monopile und Übergangsstück ausgebildeter Verbindungselemente eines Offshore-Bauwerks, vorzugsweise einer Offshore-Windenergieanlage, insbesondere eines Unterbaus derselben, zu verbessern. Ferner ist die Aufgabe der Erfindung, ein kostengünstiges und prozesssicheres Verfahren zur Herstellung der zur Verbesserung der Verbindung notwendigen Bauteile bereitzustellen. Weiterhin besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein kostengünstiges und prozesssicheres Verfahren zur Errichtung zumindest eines Teils einer Offshore-Windenergieanlage bereitzustellen.

**[0007]** Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Dichtungsanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie einem Verfahren zur Herstellung einer Dichtungsanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Ferner wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Errichtung eines Unterbaus einer Offshore-Windenergieanlage mit den Merkmalen des Anspruchs 25 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den hierauf rückbezogenen Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung zu entnehmen.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird an zumindest einem der Verbindungselemente zumindest eine Dichtungseinheit derart festgelegt, dass die Dichtungseinheit in einer Verbindungsposition, zwischen einer inneren Verbindungsfläche des einen Verbindungselements und einer äußeren Verbindungsfläche des anderen Verbindungselements angeordnet ist. In der Verbindungsposition sind ein oberes, insbesondere als Übergangsstück ausgebildetes, Verbindungselement und ein unteres, insbesondere als Monopile ausgebildetes, Verbindungselement zur stabilen Verbindungsherstellung die zumindest eine Dichtungseinheit klemmend ineinandergesteckt.

**[0009]** Dabei weisen die üblicherweise zumindest teilweise zylindrisch ausgebildeten Verbindungselemente jeweils zumindest einen konisch verlaufenden Abschnitt, insbesondere in Form eines hohlen Kegelstumpfs, auf, in dem sich zumindest teilweise die jeweilige Verbindungsfläche befindet. Die Geometrie des hohlen Kegelstumpfs ist dabei durch den Öffnungswinkel des Kegels definiert, der vorzugsweise 2° bis 6°, bevorzugt 3° bis 5°, besonders bevorzugt 4°, beträgt.

**[0010]** In der Verbindungsposition sind die Verbindungselemente vorzugsweise koaxial zueinander angeordnet, wobei sie sich zumindest in den jeweiligen konisch verlaufenden Abschnitten überlappen. Die Konizität ermöglicht es, (Gewichts-)Kräfte in axialer Richtung zu übertragen. Dabei umgibt das eine „äußere“ Verbindungselement das andere „innere“ Verbindungselement, wobei eine innere Verbindungsfläche des äußeren Verbindungselements und eine äußere Verbindungsfläche des inneren Verbindungselements einander zugewandt sind.

**[0011]** Die zumindest eine Dichtungseinheit ist an zumindest einem der Verbindungselemente, beispielsweise durch Kleben oder Haften, festgelegt. Bei der Verwendung mehrerer Dichtungseinheiten kann eine Dichtungseinheit an dem einen Verbindungselement festgelegt sein, während eine andere Dichtungseinheit an dem anderen Verbindungselement festgelegt ist.

**[0012]** Die zumindest eine Dichtungseinheit ist zwischen den Verbindungselementen angeordnet und wird dort insbesondere aufgrund der Gewichtskraft des oberen Verbindungselements geklemmt, wobei sie Kräfte, beispielsweise die Gewichtskraft des oberen Verbindungselements auf das untere Verbindungselement, überträgt. Ferner ist die zumindest eine Dichtungseinheit lasttragend ausgebildet, so dass sie die Verbindungselemente voneinander beabstandet und das obere Verbindungselement trägt. Zwischen der Dichtungseinheit und der Verbindungsfläche des Verbindungselements, an dem die Dichtungseinheit nicht festgelegt ist, liegt ein Kraftschluss vor, wodurch eine stabile Verbindung zwischen den Verbindungselementen hergestellt wird.

**[0013]** Die Verbindung zweier Verbindungselemente wird somit unter Verzicht auf die Verwendung von Vergussmörtel und/oder Nieten bzw. Schrauben verbessert. Eine derartige Dichtungsanordnung nimmt die Belastungen auf, die durch eine Relativbewegung zwischen den beiden Verbindungselementen auftreten, ohne Ermüdungsbrüchen zu unterliegen, wirkt vielmehr dämpfend und ermöglicht somit eine stabile und dauerhaft beständige Verbindung, die einfach in der Herstellung und Montage ist.

**[0014]** Durch die Verbindung der Verbindungselemente auf Basis der Dichtungsanordnung werden Schweißnähte, Versätze zwischen aneinander geschweißten Teilen der Verbindungselemente oder Abweichungen der Verbindungselemente von der gewünschten Form, beispielsweise Ovalitäten, ausgleichbar. Weiterhin ist durch die schnelle und einfache Montage ein Verzicht auf manuelle Tätigkeiten im Bereich der Verbindung möglich. Die Verbindung durch Ineinanderstecken der Verbindungselemente kann somit zur Montage des Bauwerks ohne

den regelmäßig aufwendigen Einsatz von Tauchpersonal auch unter Wasser erfolgen.

**[0015]** Zumindest eine Dichtungseinheit weist wenigstens ein sich in Umfangsrichtung vollumfänglich erstreckendes, elastisches Abdichtungselement auf. Das Abdichtungselement ist dabei über den vollen Umfang des zwischen den Verbindungselementen vorhandenen Ringspalts verlaufend ausgebildet. Die Dicke des Abdichtungselements ist gegenüber der Dicke eines angrenzenden Dichtungseinheitsbereichs vergrößert, so dass das Abdichtungselement gegenüber der weiteren Dichtungseinheit hervorsteht. Dabei ist die Dicke als äußere Abmessungen senkrecht zur angrenzenden Verbindungsfläche definiert. Mit anderen Worten steht das Abdichtungselement gegenüber der weiteren Dichtungseinheit hervor.

**[0016]** Ferner ist das Abdichtungselement elastisch ausgebildet, so dass es im Falle einer Relativbewegung der Verbindungselemente zueinander eine ausreichende Druckkraft auf eine gegenüberliegende Verbindungsfläche ausübt und die Baugruppe gekapselt bleibt. Schädliches Meerwasser oder Feuchtigkeit kann somit nicht eintreten, wodurch eine derartige Verbindung noch beständiger ist.

**[0017]** Das Abdichtungselement ist vorzugsweise in der näheren Umgebung einer Stirnseite des äußeren Verbindungselements angeordnet. Beispielsweise ist das Abdichtungselement für eine Dichtungsanordnung für einen Monopile-Unterbau am untersten Ende der Dichtungsanordnung angeordnet, so dass nahezu die gesamte Dichtungsanordnung gekapselt ist.

**[0018]** Das Abdichtungselement ist insbesondere in Form einer sich vollumfänglich erstreckenden Dichtlippe ausgebildet. Jedoch sind auch andere Dichtungsvarianten denkbar. Beispielsweise kann das Abdichtungselement auch in Form einer Labyrinthdichtung ausgebildet sein, deren einzelne Formelemente selbst nicht vollumfänglich verlaufen, bei der eine vollumfängliche Abdichtung der Verbindung trotzdem gewährleistet ist.

**[0019]** Vorzugsweise weist die zumindest eine Dichtungseinheit eine Dicke von 5 mm bis 75 mm, bevorzugt 20 mm bis 50 mm, besonders bevorzugt 25 mm bis 30 mm, auf. Bei diesen Dicken kann die Dichtungseinheit besonders gut Lasten aufnehmen und deckt die zukünftig erwartbaren Größen der Verbindungselemente mit Durchmessern bis 8 m ab. Das Abdichtungselement weist hierbei in der Regel eine um 50 % bis 100 % größere Dicke gegenüber der Dicke des angrenzenden Dichtungseinheitsbereichs auf.

**[0020]** In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die zumindest eine Dichtungseinheit mehrschichtig ausgebildet. Insbesondere können Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften bzw. aus unterschiedlichen Materialien vorgesehen sein. Somit können beispielsweise je nach Einsatzort geeignete Schichtgeometrien mit optimalen Eigenschaften erreicht werden, welche die Lastaufnahme verbessern.

**[0021]** Besonders bevorzugt weist das eine oder die mehreren Abdichtungselemente eine höhere Elastizität auf als die übrige Dichtungseinheit. Insbesondere kann das Abdichtungselement als eine ein elastisches Material umfassende Schicht an eine weniger oder kaum elastische Schicht angeordnet sein und somit die Abdichtungseigenschaft bei verringerter Dicke der Dichtungseinheit in diesem Bereich bereitgestellt werden, was Material einspart und die Herstellungskosten verringert.

**[0022]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die zumindest eine Dichtungseinheit hydrolysestabil ausgebildet. Dies garantiert eine dauerhafte Beständigkeit der Dichtungsanordnung im Betrieb am Offshore-Standort.

**[0023]** Vorzugsweise umfasst die zumindest eine Dichtungseinheit hierbei einen oder mehrere Kunststoffe, da diese korrosionsbeständig und günstig in der Herstellung sind. In diesem Zusammenhang können Elastomere, Thermoplaste, insbesondere unter Beimengung von Weichmachern, und/oder Duroplaste verwendet werden. Besonders bevorzugt umfasst die zumindest eine Dichtungseinheit ein oder mehrere Materialien aus der Gruppe Polypropylen, Polyethylen, Polyoxymethylen, Gummi, Nylon, Polyvinylchlorid, Polyurea, Polyurethan, wobei auch Schäume aus den vorstehenden Materialien umfasst sind.

**[0024]** Besonders bevorzugt umfasst die zumindest eine Dichtungseinheit hydrolysestabiles Polyurethan, insbesondere ein Polyurethan auf Basis eines Polyether-Polyols und eines Methylendiphenylisocyanats (MDI). Polyurethan ist salzwasserbeständig, leicht herzustellen sowie äußerst abriebfest und daher für den Betrieb am Offshore-Standort besonders geeignet.

**[0025]** In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist eine erste Schicht aus einem Polyurethan, insbesondere Polyurethan-Schaum, hergestellt und diese erste, ggf. über eine Grundierung mit dem Verbindungselement verbundene, Schicht mit einer weiteren aus einem ungeschäumten Polyurethan hergestellten Schicht zumindest teilweise bedeckt. Die Abdichtungseinheit kann dann ebenfalls aus einem Polyurethan-Schaum hergestellt sein und auf oder angrenzend an zumindest einer der beiden Schichten ausgebildet werden.

**[0026]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung umfasst die zumindest eine Dichtungseinheit bis zu 50% einen oder mehrere Füllstoffe, vorzugsweise in Form von  $\text{CaCO}_3$  (bis vorzugsweise 33%), Wollastonit (als Mehl, z.B. TREMIN 283-800 AST mit einem  $D_{98}$  von 12  $\mu\text{m}$  bis vorzugsweise 25 %), Graphit und/oder Ruß (jeweils bis vorzugsweise 15 %). Durch Beimengung dieser besonders preisgünstigen Füllstoffe ist die Dichtungsanordnung kostengünstiger in der Herstellung.

**[0027]** Entsprechend einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die zumindest eine Dichtungseinheit mittels eines Haftvermittlers an der Verbindungsfläche zumindest eines der Verbindungselemente haftet. Dies führt zu einem besonders starken Stoffschluss zwischen der Dichtungseinheit und dem Verbindungselement mit hoher Haftfestigkeit, wodurch die Beständigkeit der Dichtungsanordnung erhöht wird.

**[0028]** Mit Vorteil weist die zumindest eine Dichtungseinheit ausgenommen das Abdichtungselement eine Shore-Härte A zwischen 70 und 100 oder eine Shore-Härte D von 20 bis 80 auf. Eine diese Härtegrade aufweisende Dichtungseinheit kann das obere Verbindungselement dauerhaft tragen.

**[0029]** Besonders bevorzugt weist das zumindest eine Abdichtungselement eine Shore-Härte A zwischen 40 und 100, bevorzugt zwischen 40 und 90, besonders bevorzugt zwischen 40 und kleiner 70, auf. Bei diesen Härtegraden ist das Abdichtungselement ausreichend elastisch ausgebildet, so dass eine gute Abdichtung bzw. Kapselung der Baugruppe erreicht wird.

**[0030]** Entsprechend einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die zumindest eine Dichtungseinheit einer Druckbelastung von 0,1 N/mm<sup>2</sup> bis 50 N/mm<sup>2</sup> standhaltend ausgebildet ist. Eine derartige Auslegung bewirkt, dass die Dichtungseinheit unter Belastungen während des Betriebs einer Offshore-Windenergieanlage dauerhaft einsetzbar bleibt.

**[0031]** Die zumindest eine Dichtungseinheit kann die Form eines Ringes, eines Hohlzylinders, eines hohlen Kegelstumpfs oder Kombinationen davon ausbilden. Ferner kann die zumindest eine Dichtungseinheit ein Segment eines Ringes, eines Hohlzylinders oder eines hohlen Kegelstumpfs ausbilden.

**[0032]** Ring, Hohlzylinder und hohler Kegelstumpf sind Formkörper, bei denen eine ausgezeichnete Zentralachse durch ihre Rotationssymmetrie definiert ist, wobei die Zentralachse von dem jeweiligen Formkörper umschlossen wird. Die Höhe der Dichtungseinheit ist durch die äußeren Abmessungen parallel zu seiner Zentralachse definiert. Der Innendurchmes-

ser der Dichtungseinheit wird durch die inneren Abmessungen der Dichtungseinheit in einer senkrecht zur Zentralachse verlaufenden Schnittebene definiert. Der Außendurchmesser der Dichtungseinheit wird durch die äußeren Abmessungen der Dichtungseinheit in einer senkrecht zur Zentralachse verlaufenden Schnittebene definiert. Zentralachse, Innen- und Außendurchmesser einer als Segment eines Formkörpers ausgebildeten Dichtungseinheit sind durch den Formkörper, dessen Segment sie ausbilden, definiert.

**[0033]** Insbesondere weist die zumindest eine Dichtungseinheit eine Höhe von zumindest 1 m und einen Durchmesser von zumindest 2,5 m auf. Dadurch ist die Dichtungseinheit ausreichend belastbar und insbesondere gut handhabbar. Besonders bevorzugt beträgt eine Gesamthöhe einer aus mehreren, insbesondere parallel zu ihrer Höhe voneinander beabstandeten, Dichtungseinheiten gebildeten Gruppe von Dichtungseinheiten bis zu 30 m. Eine derartige Gruppe von Dichtungseinheiten dieser Gesamthöhe kann insbesondere durch mehrere, vorzugsweise ringförmige Dichtungseinheiten ausgebildet werden, die vorzugsweise voneinander beabstandet sind und/oder mit Ausnehmungen versehen sind. Dadurch können nachträglich in den dichtungsfreien Bereichen Schweißarbeiten am Verbindungselement, beispielsweise zur Anbringung von Leitern o.Ä., durchgeführt werden.

**[0034]** Vorzugsweise ist die Dichtungseinheit derart ausgebildet, dass sie zumindest teilweise, insbesondere vollständig, an der Verbindungsfläche des Verbindungselements, an dem sie festgelegt ist, formschlüssig anliegt. Insbesondere ist die Dichtungseinheit ferner derart ausgebildet, dass sie in einer Verbindungsposition zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, formschlüssig an der Verbindungsfläche des Verbindungselements, an dem sie nicht festgelegt ist, anliegt. Die Formschlüssigkeit dient dazu, die Belastungen möglichst großflächig zu verteilen und insbesondere Punktbelastungen zu vermeiden, wodurch eine stabile Verbindung erreicht wird und die Dichtungseinheit beständiger ist. Besonders bevorzugt ist die zumindest eine Dichtungseinheit an die Geometrie zumindest eines Verbindungselements angepasst, derart, dass sie zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, in der Form eines hohlen Kegelstumpfs ausgebildet ist, dessen Kegel-Öffnungswinkel vorzugsweise 2° bis 6°, bevorzugt 3° bis 5°, besonders bevorzugt 4°, beträgt.

**[0035]** In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die zumindest eine Dichtungseinheit aus mehreren aneinander angeordneten Dichtungssegmenten zusammengesetzt. Die Dichtungssegmente können dabei auf beliebige Weisen getrennt sein, wobei eine „Trennungslinie“ insbesondere in Umfangsrichtung und/oder entlang der Höhe der Dichtungs-

einheit verläuft. Vorzugsweise sind die Dichtungssegmente dabei zumindest im Bereich des wenigstens einen Abdichtungselements zur form- und/oder kraftschlüssigen, dichten Verbindung ausgebildet.

**[0036]** In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Dichtungsanordnung zumindest zwei voneinander beabstandete Dichtungseinheiten. Die Dichtungseinheiten können in einer Richtung parallel zur Längsmittelachse des Verbindungselements, an dem sie festgelegt sind, beabstandet sein. Somit kann einerseits eine für die Stabilität der Verbindung notwendige räumliche Ausdehnung der Dichtungseinheit auf der Verbindungsfläche bereitgestellt und darüber hinaus Material eingespart werden, wodurch die Dichtungsanordnung kostengünstiger hergestellt und mit weniger Aufwand montiert werden kann.

**[0037]** Ferner können die Dichtungseinheiten in Umfangsrichtung bezüglich der Längsmittelachse des Verbindungselements, an dem sie festgelegt sind, voneinander beabstandet sein. In Bereichen abseits des Abdichtungselements, in denen keine Kapselung der Baugruppe mehr notwendig ist, kann somit Material eingespart werden, wodurch die Dichtungsanordnung kostengünstiger hergestellt und montiert werden kann.

**[0038]** In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die zumindest eine Dichtungseinheit in zumindest einem Höhenabschnitt in Umfangsrichtung zumindest eine Ausnehmung auf. Somit kann auch bei einer zusammenhängenden Dichtungseinheit, welche die Verbindung besonders gut stabilisiert, Material eingespart werden. Ferner können nachträglich in dichtungsfreien Bereichen Schweißarbeiten am Verbindungselement, beispielsweise zur Anbringung von Leitern o.Ä., durchgeführt werden. Insbesondere ist eine als Hohlzylinder und/oder hoher Kegelstumpf ausgebildete Dichtungseinheit in einem oberen und einem unteren Höhenbereich umlaufend geschlossen und weist zwischen dem oberen und unteren Höhenbereich in Umfangsrichtung zumindest eine Ausnehmung auf. Besonders bevorzugt weist eine als Hohlzylinder und/oder hohler Kegelstumpf ausgebildete Dichtungseinheit, die in einem unteren, sich insbesondere in der Nähe des Abdichtungselements befindenden, Bereichs umlaufend verlaufend ausgebildet ist in dem übrigen Bereich in Umfangsrichtung zumindest eine Ausnehmung auf.

**[0039]** Mit Vorteil umfasst die Dichtungsanordnung eine Sensoranordnung zum Aufnehmen der in der Dichtungsanordnung auftretenden mechanischen Kräfte. Dadurch können die im Betrieb vorherrschenden Belastungen aufgezeichnet und die Funktionalität der Dichtungsanordnung überwacht werden, so dass bei einem Ausfall zeitnah Gegenmaß-

nahmen eingeleitet werden können, bevor größere Schäden entstehen. Zudem ermöglicht der Sensor eine Zustandsüberwachung weiterer Teile der Windenergieanlage, beispielsweise durch Aufnahme von charakteristischen Vibrationen / Dehnungen, wodurch Maßnahmen zur Schadensabwehr veranlasst werden können.

**[0040]** Mit Vorteil ist die zumindest eine Dichtungseinheit selbsttragend ausgebildet, wodurch die Handhabbarkeit verbessert wird und kein Schaden durch ungünstige Lagerung entstehen kann.

**[0041]** Besonders bevorzugt bildet zumindest eine Dichtungseinheit in einem Endbereich eine sich in radialer Richtung und somit quer zur Zentralachse der Dichtungseinheit erstreckende Deckfläche aus, die insbesondere zur Übertragung von Gewichtskräften ausgebildet ist, so dass die Verbindung stabilisiert wird.

**[0042]** Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Dichtungsanordnung ist, dass der Arbeitsaufwand zur Verbindungsherstellung am Offshore-Standort minimiert wird, da beispielsweise bei einem Monopile-Unterbau die Dichtungseinheit bereits an Land am Übergangsstück festgelegt werden kann. Am Offshore-Standort, an dem ungünstigere Arbeitsbedingungen vorherrschen als an Land, ist daher nur noch das Zusammenstecken des Übergangsstücks und des Monopiles zu besorgen.

**[0043]** Die erfindungsgemäße Dichtungsanordnung wurde vorstehend beispielhaft anhand der Verbindung eines Monopiles und eines Übergangsstücks beschrieben. Die Verwendungsmöglichkeiten sind jedoch nicht darauf beschränkt. Vielmehr kann die erfindungsgemäße Dichtungsanordnung zur Verbesserung weiterer Verbindungen von Offshore-Bauwerken, insbesondere im Bereich der Offshore-Windenergieanlagen, verwendet werden. Dazu zählen die Verbindungen eines Übergangsstücks und eines oder mehrerer Pfahlstrukturen folgender Fundamenttypen: Jackets, Tripods, Tetrapods, Schwergewichtsrundungen, Tripiles, Bucket-Fundamente oder schwimmende Fundamente. Ferner kann die erfindungsgemäße Dichtungsanordnung auch bei Verbindungen im Bereich von Offshore-Hochspannungs-Gleichstromübertragungssystemen verwendet werden.

**[0044]** Überdies kann die erfindungsgemäße Dichtungsanordnung auch bei der Errichtung der eigentlichen Windenergieanlage verwendet werden, um eine verbesserte Verbindung zwischen einzelnen rohrförmigen Turmsektionen bereitzustellen.

**[0045]** Gemäß dem bereits Vorbeschriebenen sowie dem weiter unten Nachbeschriebenen wird die eingangs gestellte Aufgabe auch durch ein Verfahren

zur Herstellung einer Dichtungsanordnung für eine Verbindung zweier insbesondere als Monopile und Übergangsstück ausgebildeter Verbindungselemente eines Offshore-Bauwerks, vorzugsweise einer Offshore-Windenergieanlage, insbesondere eines Unterbaus derselben, gelöst, bei der eine Vergussmasse auf eine Verbindungsfläche eines Verbindungselementes gegossen wird und zur Ausbildung wenigstens einer Dichtungseinheit aushärtet.

**[0046]** Durch die Verwendung dieses Ansatzes wird ein optimaler Formschluss der Dichtungseinheit mit dem Verbindungselement erreicht, wodurch Punktbelastungen in einer Verbindungsposition vermieden werden, was die Lebensdauer der Dichtungsanordnung erhöht. Dabei ist mit „Gießen“ insbesondere gemeint, dass die Vergussmasse zumindest im Wesentlichen mittels Schwerkraft auf die Verbindungsfläche fließt bzw. aus einer Öffnung herausläuft.

**[0047]** Insbesondere kann durch ein derartiges Gießverfahren eine Dichtungsanordnung mit geringem Zeitaufwand hergestellt werden. Die Vergussmasse wird dabei vorzugsweise in einer Rate von 15 kg/min bis 30 kg/min, bevorzugt 18 kg/min bis 22 kg/min, aufgebracht bzw. gegossen, wodurch eine Dichtungsanordnung schneller als mit einem Sprühverfahren hergestellt werden kann.

Entsprechend einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Vergussmasse im Bereich der Verbindungsfläche eines Verbindungselementes gegossen wird und zur Ausbildung wenigstens eines Abdichtungselements aushärtet.

**[0048]** Der Bereich der Verbindungsfläche umfasst die Verbindungsfläche selbst und/oder eine oder mehrere bereits auf die Verbindungsfläche aufgetragene Schichten der Vergussmasse, die ausgehärtet oder nicht ausgehärtet vorliegen und auf welche die zum Abdichtungselement aushärtende Vergussmasse aufgetragen wird. Neben einem optimalen Formschluss wird dabei eine optimale Abdichtung zwischen Abdichtungselement und dem Bereich der Verbindungsfläche erreicht, wodurch die Kapselung durch das Abdichtungselement in einer Verbindungsposition unterstützt wird.

**[0049]** In einer weiteren besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Materialeigenschaften der einen oder mehrere Ausgangsmaterialien umfassenden Vergussmasse während der Herstellung der zumindest einen Dichtungseinheit durch Zugabe zumindest eines weiteren Ausgangsmaterials und/oder durch Variation des Mengenverhältnisses der Ausgangsmaterialien modifiziert werden. Dadurch können effizient je nach Einsatzort gewünschte Schichtgeometrien mit optimierten Eigenschaften hergestellt und somit beispielsweise die Belastbarkeit der Dichtungsanordnung verbessert werden.

**[0050]** Insbesondere werden die Materialeigenschaften der Vergussmasse „on line“, also während des laufenden Gießvorgangs, modifiziert, wodurch die Verfahrensdauer verringert wird. Ferner können die unterschiedliche Materialeigenschaften aufweisenden Fraktionen der Vergussmasse optimal stoffschlüssig miteinander verbunden werden, wodurch die Dichtungsanordnung robuster wird und eine bessere Verbindung hergestellt werden kann.

**[0051]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Vergussmasse unter Verwendung einer Gießvorrichtung mit zumindest einer formgebenden Gießöffnung gegossen. Die Gießöffnung ist insbesondere schlitzförmig. Dadurch kann die Vergussmasse präziser aufgebracht und somit die gewünschte Geometrie der Dichtungsanordnung genauestens erreicht werden. Insbesondere bedeutet „Gießen“ in diesem Sinne, dass die Vergussmasse im Wesentlichen mittels Schwerkraft aus der Gießöffnung herausläuft.

**[0052]** Besonders bevorzugt wird die Vergussmasse in zumindest zwei räumlich getrennten Fraktionen auf die Verbindungsfläche aufgebracht. Insbesondere weist die Gießvorrichtung eine Mehrzahl von Gießöffnungen auf, welche die Vergussmasse gleichzeitig in räumlich getrennten Fraktionen aufbringt. Dies verringert den Zeitaufwand für die Durchführung des Verfahrens und macht das Verfahren effizienter, was die Kosten für eine Dichtungsanordnung senkt.

**[0053]** In einer weiteren besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Vergussmasse zumindest zwei Ausgangsmaterialien umfasst, die vor dem Gießen in einer Vorkammer der Gießvorrichtung miteinander vermengt werden. Dadurch wird ein besonders hoher Grad an Homogenität der Vergussmasse erreicht, wobei die gewünschten Materialeigenschaften optimal eingestellt werden können.

**[0054]** Insbesondere reagieren dabei die zumindest zwei Ausgangsmaterialien in der Vorkammer der Gießvorrichtung miteinander. Eine Reaktion tritt beispielsweise bei der Verwendung von Polyurethan als Vergussmasse auf, wobei Polyol und Isocyanat ggf. mit einem Vernetzer in flüssiger Phase miteinander vermengt werden und nach einer gewissen Zeit zu Polyurethan aushärten. Durch Zugabe eines Katalysators und/oder Inhibitors kann die Aushärtungsgeschwindigkeit beeinflusst werden. Vorzugsweise werden die vorgenannten Komponenten in einer Vorkammer der Gießvorrichtung in einem für das Auftragen optimalen Verhältnis vermengt und anschließend als Vergussmasse aufgebracht, wodurch das Verfahren besonders prozesssicher wird.

**[0055]** Entsprechend einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass

die Vergussmasse zumindest ein thermoplastisches Ausgangsmaterial umfasst, das in einer Vorkammer der Gießvorrichtung zum Erreichen eines gießfähigen Zustands erwärmt wird. Dadurch kann die Temperatur der zumindest ein thermoplastisches Ausgangsmaterial umfassenden Vergussmasse direkt vor dem Aufbringen gesteuert und insbesondere zur optimalen Aufbringung angepasst werden.

**[0056]** In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Verbindungselement um seine Längsmittelachse rotierbar gelagert wird und die Vergussmasse auf eine Verbindungsfläche des rotierenden Verbindungselements gegossen wird. Insbesondere ist dabei die Längsmittelachse gegenüber einer Horizontalen angewinkelt. Dies ist der Fall, wenn die Vergussmasse auf die Verbindungsfläche in einem konisch verlaufenden Abschnitt des Verbindungselements gegossen wird. Dabei entspricht der Winkel zwischen der Längsmittelachse und der Horizontalen in etwa dem halben Kegel-Öffnungswinkel des konisch verlaufenden Abschnitts des Verbindungselements, so dass der lotrecht unter der Längsmittelachse liegende Bereich des konisch verlaufenden Abschnitts des Verbindungselements zur Aufbringung der Vergussmasse in einer Richtung eben ausgerichtet ist.

**[0057]** Vorzugsweise wird das Aufbringen der Vergussmasse auf die Verbindungsfläche des rotierenden Verbindungselements zumindest solange fortgeführt, bis die Vergussmasse zumindest einmal vollumfänglich auf der Verbindungsfläche aufgebracht ist. Somit kann die Vergussmasse in kurzer Zeit mit auf einem großen Abschnitt der Verbindungsfläche aufgebracht werden. Bei Schichtdicken von 3 cm kann ein Aufbringen der Vergussmasse bereits durch maximal zwei Umdrehungen des Verbindungselements gegenüber einer entsprechenden Gießöffnung abgeschlossen werden, wodurch eine Dichtungsanordnung insbesondere schneller hergestellt werden kann als mit einem Sprühverfahren.

**[0058]** In einer weiteren Ausgestaltungsform der Erfindung wird die Rotation des Verbindungselements nach dem Aufbringen der Vergussmasse fortgeführt bis die Vergussmasse ausreichend ausgehärtet ist. Die Vergussmasse ist ausreichend ausgehärtet, wenn sie nicht mehr fließt. Dadurch kann die Vergussmasse besonders gleichmäßig und symmetrisch aufgetragen werden, was bei der fertigen Dichtungsanordnung zu einer gewünschten gleichmäßigen Belastung führt.

**[0059]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Gießöffnung und/oder das rotierende Verbindungselement während des Gießens relativ zueinander entlang einer Richtung senkrecht zur Umfangsrichtung bewegt werden, sodass die Vergussmasse auf einer grö-

ßeren Fläche des Verbindungselements aufgebracht wird. Der Abstand der Gießöffnung von der Verbindungsfläche ist dabei während des Aufbringens einer Schicht insbesondere gleichbleibend. Dabei vollzieht die Gießöffnung relativ zur Verbindungsfläche eine spiralförmige Bewegung, wodurch eine besonders gleichmäßige, großflächige und schnelle Aufbringung der Vergussmasse erreicht wird.

**[0060]** Alternativ ist vorgesehen, dass das Verbindungselement um eine insbesondere zu einer Horizontalen angewinkelte Längsmittelachse des Verbindungselements rotierbar gelagert wird, Vergussmasse auf eine Verbindungsfläche des Verbindungselements aufgebracht wird, das Verbindungselement zumindest einmal in eine Position gedreht wird, die einer Rotation um eine Drittel Umdrehung oder um weniger als eine Drittel Umdrehung entspricht, und erneut Vergussmasse auf die Verbindungsfläche des Verbindungselements aufgebracht wird.

**[0061]** In diesem Zusammenhang ist es auch möglich, eine insbesondere zusätzliche Bewegung der Gießvorrichtung während des Aufbringens der Vergussmasse in Umfangsrichtung des Verbindungselements vorzusehen. Dabei sollte der Bewegungsradius auf einen bezüglich der Schwerkraft untenliegenden Bereich des Verbindungselements beschränkt sein, um den Gießvorgang ausführen zu können. Ferner kann vorgesehen sein, dass die Gießöffnung relativ zur Verbindungsfläche eine zickzack- oder schlangenlinienförmige Bewegung vollzieht, wodurch ebenfalls eine besonders gleichmäßige großflächige und schnelle Aufbringung der Vergussmasse erreicht wird.

**[0062]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Vergussmasse in einer Schichtdicke von 5 mm bis 75 mm, bevorzugt 20 mm bis 50 mm, besonders bevorzugt 25 mm bis 30 mm, aufgebracht wird. Bei mehrschichtigem Auftragen können einzelne Schichten mit kleineren Schichtdicken aufgebracht werden. Bei derartigen Schichtdicken kann das aufgebrachte Material sich nicht ungünstig verlagern bzw. zerfließen, so dass das Verfahren prozesssicherer ist.

**[0063]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird eine Sensoranordnung zum Aufnehmen mechanischer Kräfte installiert, insbesondere in die Vergussmasse eingebettet. Dadurch können die im Betrieb vorherrschenden Belastungen aufgezeichnet und die Funktionalität der Dichtungsanordnung überwacht werden.

**[0064]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Verbindungsfläche des Verbindungselements vor dem Aufbringen der Vergussmasse mittels eines Haftvermittlers (Primers) vorkonditioniert wird. Die Vorkonditionierung umfasst

dabei das Aufbringen des Haftvermittlers, insbesondere durch die Gießvorrichtung, und ein Trocknen und/oder zum Trocken belassen des Haftvermittlers. Dies führt zu einer erhöhten Haftfestigkeit zwischen der Vergussmasse und dem Verbindungselement, so dass die Vergussmasse sich nicht nachteilig verlagern bzw. zerfließen kann.

**[0065]** Dem Aufbringen der Vergussmasse und insbesondere der Vorkonditionierung mittels eines Haftvermittlers vorgelagert ist eine Vorbehandlung der Verbindungsfläche des Verbindungselements. Diese Vorbehandlung umfasst vorzugsweise einen oder mehrere folgender Schritte:

- Reinigen, insbesondere Entfetten der Verbindungsfläche,
- Sandstrahlen der Verbindungsfläche sowie
- anschließendes Reinigen der Verbindungsfläche, insbesondere Entfernen von Staub.

**[0066]** Dadurch werden Ablagerungen wie Schmutz oder Rost entfernt und Unebenheiten geglättet, wodurch ein besonders gleichmäßiges Auftragen und Haften der Vergussmasse ermöglicht wird.

**[0067]** Weiterhin wird die eingangs gestellte Aufgabe durch ein Verfahren zur Herstellung einer Verbindung zweier Verbindungselemente eines Offshore-Bauwerks, insbesondere einer Offshore-Windenergieanlage, vorzugsweise eines zwei als Monopile und Übergangsstück ausgebildete Verbindungselemente umfassenden Unterbaus derselben, gelöst, das folgende Schritte umfasst:

- A Bereitstellen eines eine Verbindungsfläche aufweisenden Verbindungselements,
- B Herstellen einer Dichtungsanordnung an der Verbindungsfläche des Verbindungselements nach einem der Ansprüche 14 bis 24,
- C klemmendes Ineinanderstecken des einen Verbindungselements und des anderen Verbindungselements.

**[0068]** Weitere Vorteile und Einzelheiten sind der nachfolgenden Figurenbeschreibung zu entnehmen.

**[0069]** In den schematisch dargestellten Figuren zeigen:

**Fig. 1** eine Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Gegenstands in einer Verbindungsposition mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 2** eine Schnittdarstellung eines weiteren erfindungsgemäßen Gegenstands mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 3** eine Schnittdarstellung der Dichtungseinheit aus **Fig. 2** mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 4** eine Schnittdarstellung eines weiteren erfindungsgemäßen Gegenstands mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 5** eine Schnittdarstellung der Dichtungseinheit aus **Fig. 4** mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 6** eine Schnittdarstellung eines weiteren erfindungsgemäßen Gegenstands mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 7** eine Schnittdarstellung der Dichtungseinheiten aus **Fig. 6** mit zwei vergrößerten Detailansichten,

**Fig. 8** einen weiteren erfindungsgemäßen Gegenstand in einer transparenten Ansicht,

**Fig. 9** eine nicht-transparente Schnittdarstellung des Gegenstands aus **Fig. 8**,

**Fig. 10** einen Ablaufplan eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0070]** Gleich oder ähnlich wirkende Teile sind - sofern dienlich - mit identischen Bezugsziffern versehen. Einzelne technische Merkmale der nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele können auch mit den Merkmalen der vorherbeschriebenen Ausführungsbeispiele sowie den Merkmalen eines unabhängigen Anspruchs zu erfindungsgemäßen Weiterbildungen führen.

**[0071]** **Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemäße Dichtungsanordnung **2** in einer Verbindungsposition. Dabei sind ein oberes Verbindungselement **4** und ein unteres Verbindungselement **6** ineinandergesteckt, wobei sich der konisch verlaufende Abschnitt **4a** des oberen Verbindungselementes **4** und der konisch verlaufende Abschnitt **6a** des unteren Verbindungselementes **6** überlappen. Wie besonders gut in der Vergrößerungsansicht B (Detail B) zu sehen ist, sind die Verbindungselemente **4**, **6** ineinandergesteckt, wobei zwischen ihnen eine Dichtungseinheit **8** eingeklemmt ist.

**[0072]** Das obere Verbindungselement **4** umschließt in einem unteren Bereich einen oberen Bereich des unteren Verbindungselementes **6** und stellt somit das äußere Verbindungselement dar, während das untere Verbindungselement **6** als das innere Verbindungselement anzusehen ist.

**[0073]** Die Dichtungseinheit **8** ist zwischen einer inneren Verbindungsfläche **10** des oberen Verbindungselementes **4** und einer äußeren Verbindungsfläche **12** des unteren Verbindungselementes **6** angeordnet, beabstandet die Verbindungselemente **4**, **6** voneinander und überträgt Kräfte zwischen den Verbindungselementen **4**, **6**, beispielsweise die Gewichtskraft des oberen Verbindungselementes **4** auf das un-

tere Verbindungselement **6**. In diesem Sinne trägt die Dichtungseinheit **8** das obere Verbindungselement **4**.

**[0074]** Die Dichtungseinheit **8** ist ferner in der Form eines hohlen Kegelstumpfs ausgebildet, der an die Geometrie der Verbindungselemente **4**, **6** angepasst ist. Dazu sind die konisch verlaufenden Abschnitte **4a**, **6a** der Verbindungselemente **4**, **6** sowie die Dichtungseinheit **8** durch ein und denselben Kegel-Öffnungswinkel  $\alpha$  beschreibbar, der durch die Neigung des Kegelmantels gegenüber einer Vertikalen **V** definiert ist (s. Vergrößerungsansicht B (Detail B)). In den hier gezeigten Beispielen, beträgt der Kegel-Öffnungswinkel  $\alpha$   $4^\circ$ . Der in der Vergrößerungsansicht B gut sichtbare Neigungswinkel des Kegelmantels gegenüber der Vertikalen entspricht dem halben Kegel-Öffnungswinkel  $\alpha$  und beträgt  $2^\circ$ . Ferner definiert die Rotationssymmetrie des hohlkegelförmigen Formkörpers eine Zentralachse **Z** für die Dichtungseinheit **8**.

**[0075]** Die Dichtungseinheit **8** weist ein elastisches Abdichtungselement **14** auf, das sich in Umfangsrichtung vollumfänglich erstreckt. Die Dicke **D** des Abdichtungselementes **14** ist gegenüber der Dicke **D'** eines angrenzenden Dichtungseinheitsbereichs vergrößert, wie in **Fig. 3**, Vergrößerungsansicht **C** (Detail **C**), zu sehen ist. Das gegenüber der weiteren Dichtungseinheit **8** hervorstehende Abdichtungselement **14** übt eine Druckkraft auf eine gegenüberliegende Verbindungsfläche auf, welche in den hier gezeigten Beispielen die äußere Verbindungsfläche **12** des unteren Verbindungselementes **6** ist. Im Falle einer Relativbewegung der Verbindungselemente **4**, **6** zueinander bleibt die Baugruppe gekapselt, so dass kein schädliches Meerwasser und/oder Feuchtigkeit eintreten kann.

**[0076]** Die **Fig. 2** zeigt eine Dichtungsanordnung **2**, wobei die Dichtungseinheit **8** von dem oberen Verbindungselement **4** im konisch verlaufenden Abschnitt **4a** an der inneren Verbindungsfläche **10** festgelegt ist. Zur Verbindungsherstellung wird das die Dichtungseinheit **8** umfassende obere Verbindungselement **4** über ein unteres Verbindungselement **6** gestülpt bzw. auf das untere Verbindungselement **6** herabgelassen, bis eine klemmende Verbindung entsteht. Es ist ersichtlich, dass die Dichtungseinheit **8** vor der Verbindungsherstellung alternativ an dem unteren Verbindungselement **6** im konisch verlaufenden Abschnitt **6a** an der äußeren Verbindungsfläche **12** festgelegt sein kann.

**[0077]** **Fig. 3** zeigt die Dichtungseinheit **8** aus der **Fig. 2**. Die Dichtungseinheit **8** ist in der Form eines hohlen Kegelstumpfs ausgebildet und weist dabei zwischen einem oberen umlaufend geschlossenen Höhenabschnitt **17** und einem unteren umlaufend geschlossenen Höhenabschnitt **19** in einem Höhenabschnitt **15** in Umfangsrichtung mehrere Ausnehmungen

gen **16** auf, wodurch Material eingespart wird. Ferner ist die Höhe **H** der Dichtungseinheit **8** als parallel zur Zentralachse **Z** gemessene äußere Abmessung der Dichtungseinheit **8** dargestellt.

**[0078]** Die **Fig. 4** und zeigt eine weitere Ausgestaltungsform der erfindungsgemäßen Dichtungsanordnung **2** mit einer Dichtungseinheit **8**. **Fig. 5** zeigt die Dichtungseinheit **8** aus **Fig. 4**, welche über den gesamten Höhenabschnitt **15** oberhalb des Abdichtungselements **14** in Umfangsrichtung mehrere Ausnehmungen **16** aufweist.

**[0079]** **Fig. 6** zeigt ferner eine weitere Ausgestaltungsform der erfindungsgemäßen Dichtungsanordnung **2** mit einer Vielzahl von voneinander beabstandeten Dichtungseinheiten **8**, **8'**, die eine Gruppe von Dichtungseinheiten bilden. **Fig. 7** zeigt die Dichtungseinheiten **8**, **8'** aus **Fig. 6**. Die oberen Dichtungseinheiten **8** bilden dabei Segmente eines hohlen Kegelstumpfs aus, die in Umfangsrichtung bezüglich der Längsmittelachse **L** des oberen Verbindungselements **4** sowie einer Richtung parallel zur Längsmittelachse **L** jeweils voneinander beabstandet sind. Die untere Dichtungseinheit **8'** ist von den weiteren Dichtungseinheiten **8** in einer Richtung parallel zur Längsmittelachse **L** beabstandet und umfasst das sich vollumfänglich erstreckende Abdichtungselement **14**. Ferner weist die untere Dichtungseinheit **8'** in einem darüber liegenden Höhenabschnitt **15** mehrere Ausnehmungen **16** in Umfangsrichtung auf. Darüber hinaus ist die Gesamthöhe **GH** der Gruppe von Dichtungseinheiten gezeigt.

**[0080]** Die **Fig. 8** und **Fig. 9** zeigen einen Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei wird im konisch verlaufenden Abschnitt **4a** des oberen Verbindungselements **4** eine Vergussmasse **18** mittels einer Gießvorrichtung **20** auf die innere Verbindungsfläche **10** gegossen. Das obere Verbindungselement **4** rotiert hierbei um seine Längsmittelachse **L**. Die Gießvorrichtung **20** weist eine schlitzförmige Gießöffnung **22** auf, die sich beim Aufbringen der Vergussmasse **18** lotrecht unterhalb der Längsmittelachse **L** und oberhalb der Verbindungsfläche **10** befindet. Die Gießvorrichtung **20** wird beim Gießen in einer Richtung **R** senkrecht zur Umfangsrichtung bewegt. Durch diese Bewegung und in Verbindung mit der Rotation des Verbindungselements **4** vollzieht die Gießöffnung **22** relativ zur Verbindungsfläche **10** eine spiralförmige Bewegung. So wird eine besonders gleichmäßige, großflächige und schnelle Aufbringung der Vergussmasse **18** erreicht.

**[0081]** **Fig. 10** zeigt einen Ablaufplan eines erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei in einem ersten Schritt **31** die Verbindungsfläche **10**, **12** gereinigt, insbesondere entfettet, wird. In einem zweiten Schritt **32** die Verbindungsfläche **10**, **12** sandgestrahlt wird. In einem dritten Schritt **33** die Verbindungsfläche **10**,

**12** erneut gereinigt und insbesondere von Staub befreit wird. In einem vierten Schritt **34** der Haftvermittler bzw. Primer auf die Verbindungsfläche **10**, **12** aufgebracht wird. In einem fünften Schritt **35** der Haftvermittler bzw. Primer getrocknet und/oder zum Trocknen belassen wird. Und in einem sechsten Schritt **36** die Vergussmasse **18** aufgebracht wird.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 2672016 A1 [0005]

### Patentansprüche

1. Dichtungsanordnung (2) für eine Verbindung zweier insbesondere als Monopile und Übergangsstück ausgebildeter Verbindungselemente (4, 6) eines Offshore-Bauwerks, vorzugsweise einer Offshore-Windenergieanlage, insbesondere eines Unterbaus derselben, bei der ein oberes Verbindungselement (4) und ein unteres Verbindungselement (6) zur stabilen Verbindungsherstellung zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') klemmend ineinander gesteckt sind, umfassend eines der Verbindungselemente (4, 6) und die an dem Verbindungselement (4, 6) festgelegte zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8'), derart, dass die Dichtungseinheit (8, 8') in einer Verbindungsposition zwischen einer inneren Verbindungsfläche (10) des einen Verbindungselements (4, 6) und einer äußeren Verbindungsfläche (12) des anderen Verbindungselements (4, 6) angeordnet ist, wobei zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') wenigstens ein sich in Umfangsrichtung vollumfänglich erstreckendes, elastisches Abdichtungselement (14) aufweist, dessen Dicke (D) gegenüber der Dicke (D') eines angrenzenden Dichtungseinheitsbereichs vergrößert ist.

2. Dichtungsanordnung (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') eine Dicke von 5 mm bis 75 mm, bevorzugt 20 mm bis 50 mm, besonders bevorzugt 25 mm bis 30 mm, aufweist.

3. Dichtungsanordnung (2) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') mehrschichtig ausgebildet ist.

4. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die eine oder die mehreren Abdichtungselemente (14) eine höhere Elastizität aufweisen als die übrige Dichtungseinheit (8, 8').

5. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') hydrolysestabil ausgebildet ist und ein oder mehrere Materialien aus der Gruppe Polypropylen, Polyethylen, Polyoxymethylen, Gummi, Nylon, Polyvinylchlorid, Polyurea, Polyurethan, umfasst.

6. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') bis zu 50 % einen oder mehrere Füllstoffe umfasst, vorzugsweise in Form von CaCO<sub>3</sub>, Wollastonit, Graphit und/oder Ruß.

7. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die

zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') mittels eines Haftvermittlers an der Verbindungsfläche (10, 12) zumindest eines der Verbindungselemente (4, 6) haftet.

8. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest einen Abdichtungselement (14) eine Shore-Härte A zwischen 40 und 100 aufweist.

9. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') einer Druckbelastung von 0,1 N/mm<sup>2</sup> bis 50 N/mm<sup>2</sup> standhaltend ausgebildet ist.

10. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') aus mehreren aneinander angeordneten Dichtungssegmenten zusammengesetzt ist.

11. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtungsanordnung (2) zumindest zwei voneinander beabstandete Dichtungseinheiten (8, 8') umfasst.

12. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Dichtungseinheit (8, 8') in zumindest einem Höhenabschnitt (15) in Umfangsrichtung zumindest eine Ausnehmung (16) aufweist.

13. Dichtungsanordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtungsanordnung (2) eine Sensoranordnung zum Aufnehmen der in der Dichtungsanordnung (2) auftretenden mechanischen Kräfte umfasst.

14. Verfahren zur Herstellung einer Dichtungsanordnung (2) für eine Verbindung zweier insbesondere als Monopile und Übergangsstück ausgebildeter Verbindungselemente (4, 6) eines Offshore-Bauwerks, vorzugsweise einer Offshore-Windenergieanlage, insbesondere eines Unterbaus derselben, insbesondere nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vergussmasse (18) auf eine Verbindungsfläche (10, 12) eines Verbindungselements (4, 6) gegossen wird und zur Ausbildung wenigstens einer Dichtungseinheit (8, 8') aushärtet.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vergussmasse (18) im Bereich der Verbindungsfläche (10, 12) eines Verbindungselements (4, 6) gegossen wird und zur Ausbildung wenigstens eines Abdichtungselements (14) aushärtet.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialeigenschaften der ein oder mehrere Ausgangsmaterialien umfassenden Vergussmasse (18) während der Herstellung der zumindest einen Dichtungseinheit (8, 8') durch Zugabe zumindest eines weiteren Ausgangsmaterials und/oder durch Variation des Mengenverhältnisses der Ausgangsmaterialien modifiziert werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vergussmasse (18) unter Verwendung einer Gießvorrichtung (20) mit zumindest einer formgebenden Gießöffnung (22), insbesondere einer schlitzförmigen Gießöffnung (22), gegossen wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vergussmasse (18) in zumindest zwei räumlich getrennten Fraktionen auf die Verbindungsfläche (10, 12) aufgebracht wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vergussmasse (18) zumindest zwei Ausgangsmaterialien umfasst, die vor dem Gießen in einer Vorkammer der Gießvorrichtung (20) miteinander vermengt werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vergussmasse (18) zumindest ein thermoplastisches Ausgangsmaterial umfasst, das in einer Vorkammer der Gießvorrichtung (20) zum Erreichen eines fließfähigen Zustands erwärmt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rotation des Verbindungselements (4, 6) nach dem Aufbringen der Vergussmasse (18) fortgeführt wird bis die Vergussmasse (18) ausreichend ausgehärtet ist.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gießöffnung (22) und/oder das rotierende Verbindungselement (4, 6) während des Gießens relativ zu einander entlang einer Richtung (R) senkrecht zur Umfangsrichtung bewegt werden, so dass die Vergussmasse (18) auf einer größeren Fläche des Verbindungselements (4, 6) aufgebracht wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vergussmasse (18) in einer Schichtdicke von 5 mm bis 75 mm, bevorzugt 20 mm bis 50 mm, besonders bevorzugt 25 mm bis 30 mm, aufgebracht wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbindungsfläche (10, 12) des Verbindungselements (4, 6) vor

dem Aufbringen der Vergussmasse (18) mittels eines Haftvermittlers vorkonditioniert wird.

25. Verfahren zur Herstellung einer Verbindung zweier Verbindungselemente (4, 6) eines Offshore-Bauwerks, insbesondere einer Offshore-Windenergieanlage, vorzugsweise eines Unterbaus derselben, umfassend folgende Schritte:

- a) Bereitstellen eines eine Verbindungsfläche (10, 12) aufweisenden Verbindungselements (4, 6),
- b) Herstellen einer Dichtungsanordnung (2) an der Verbindungsfläche (10, 12) des Verbindungselements (4, 6) nach einem der Ansprüche 14 bis 24,
- c) Klemmendes Ineinanderstecken des einen Verbindungselements (4, 6) und des anderen Verbindungselements (4, 6).

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen



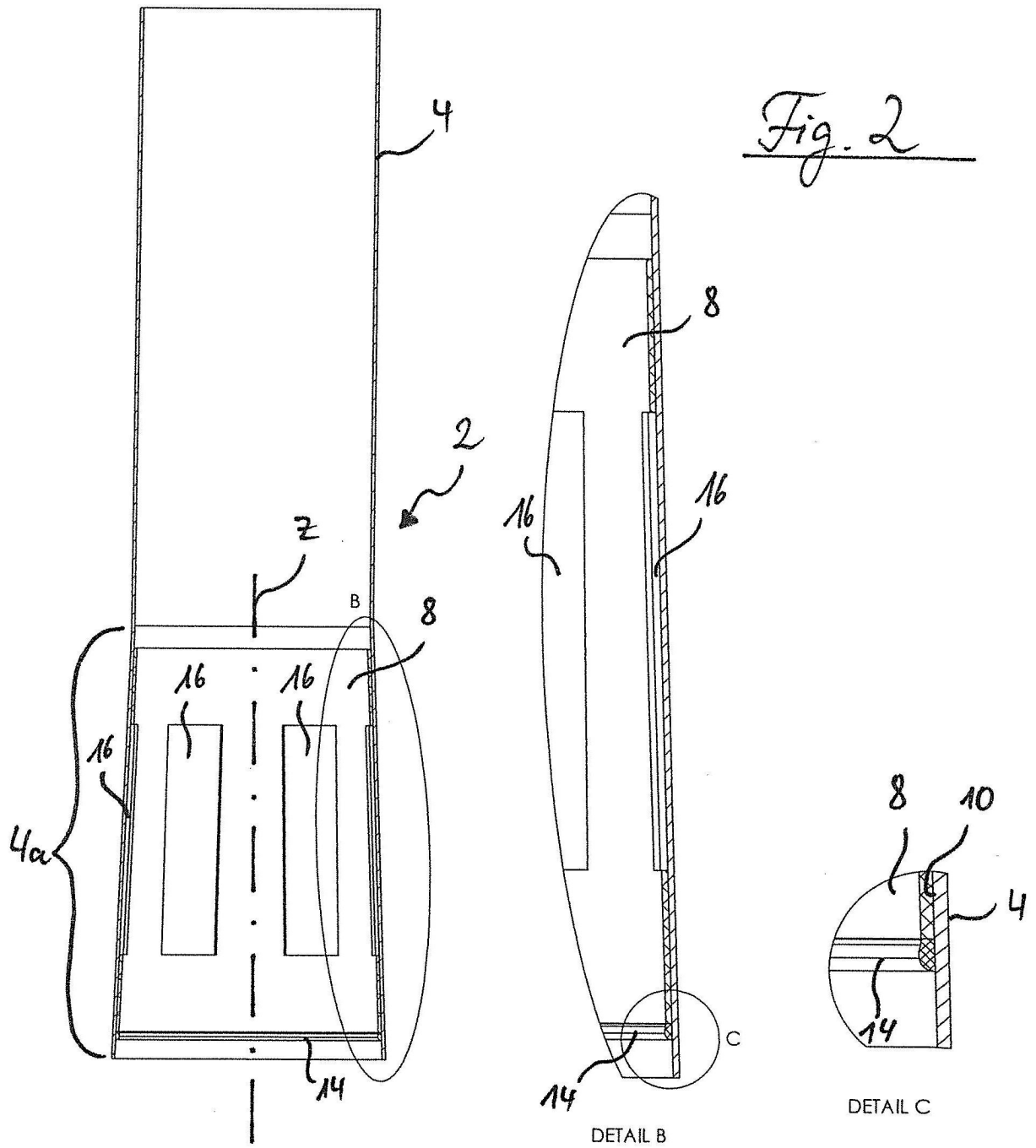


Fig. 3

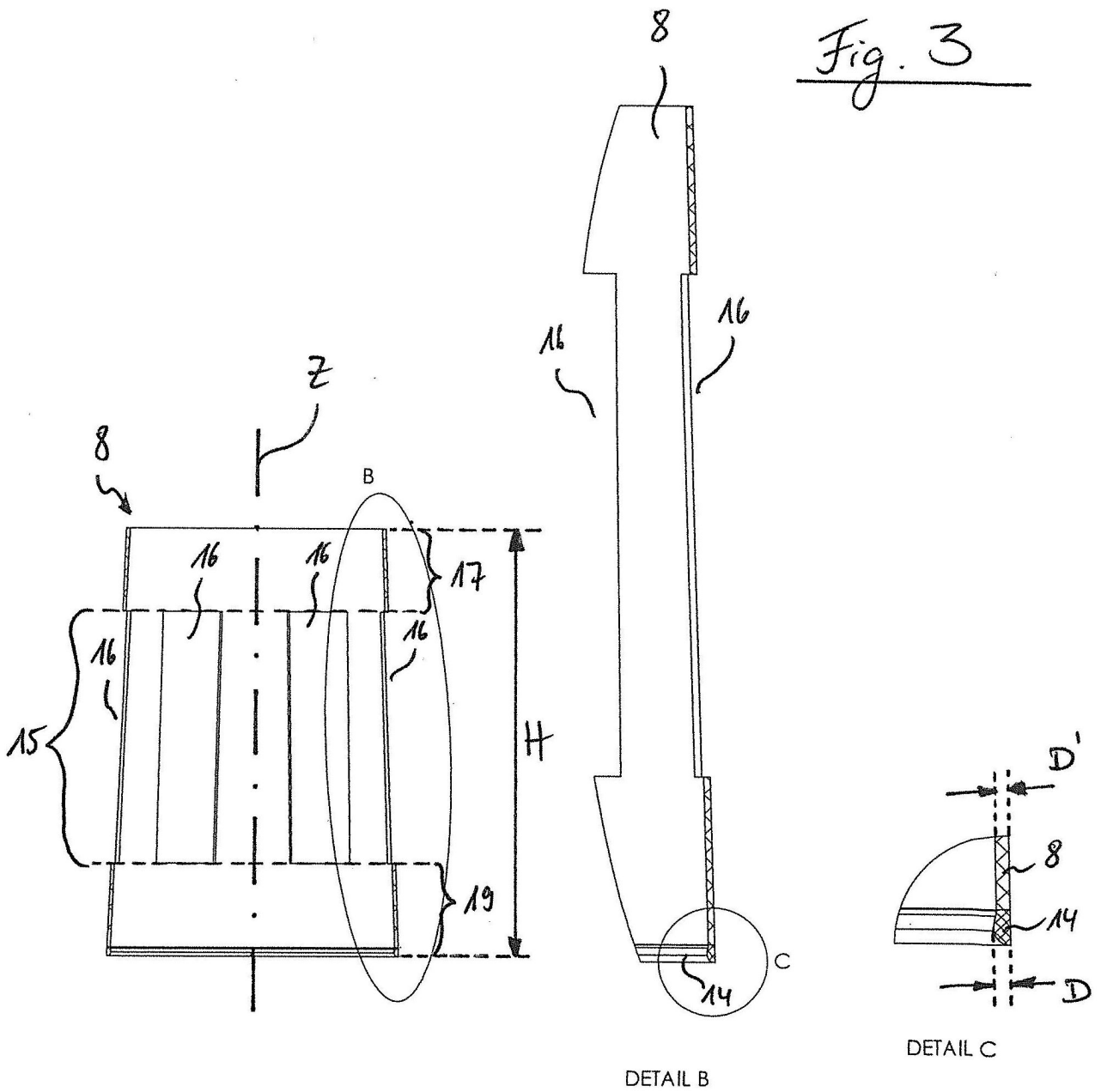
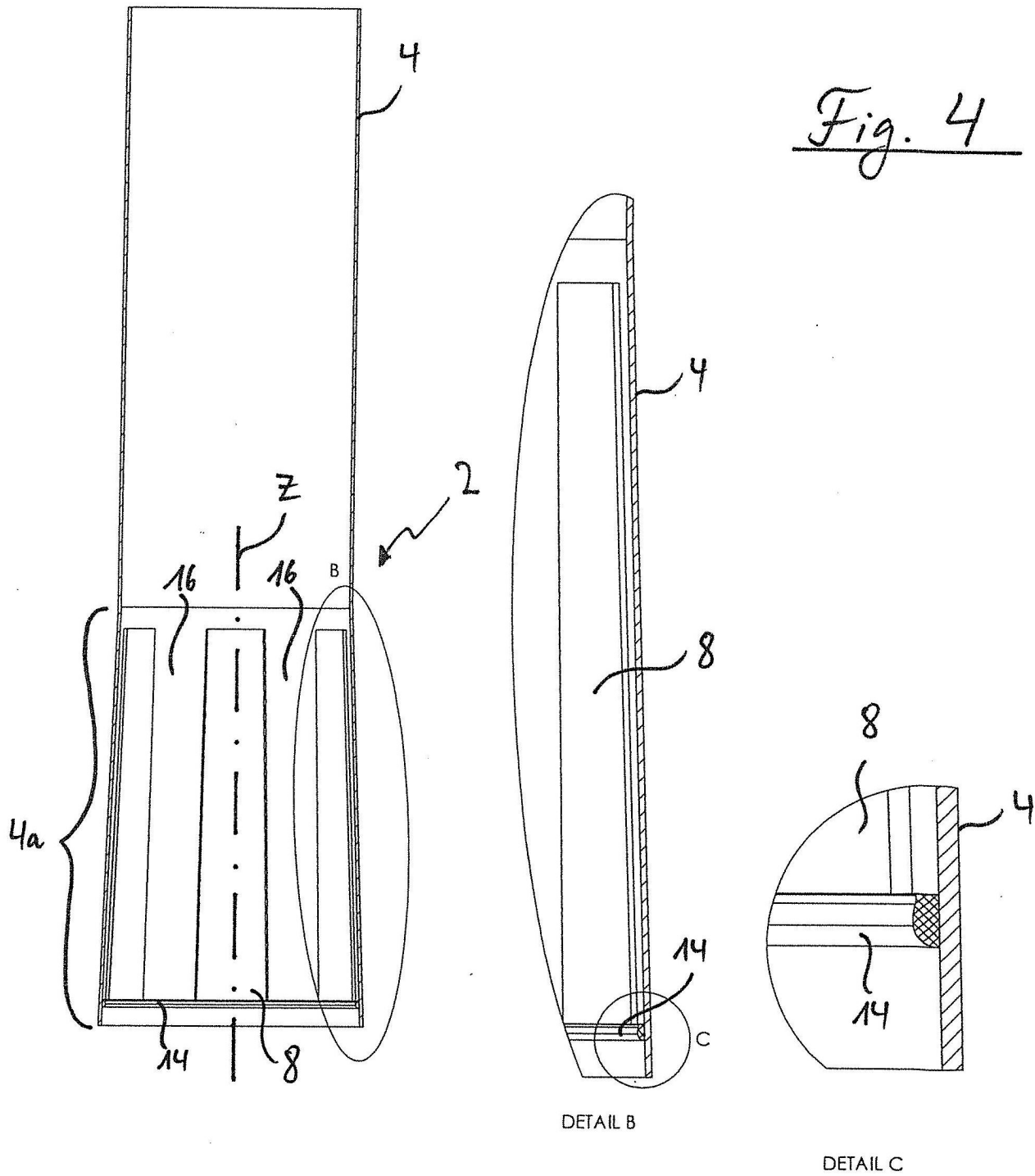


Fig. 4



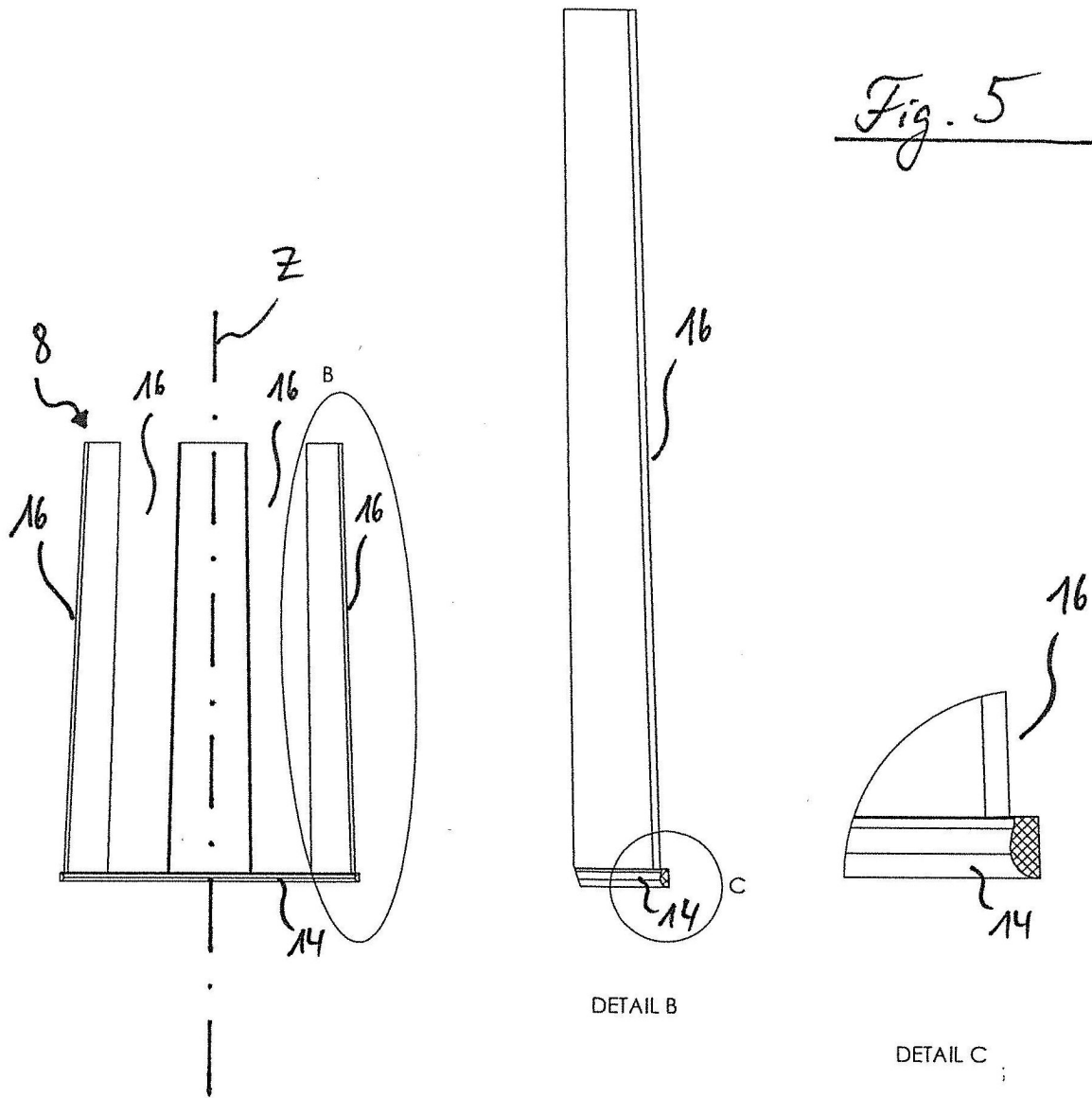
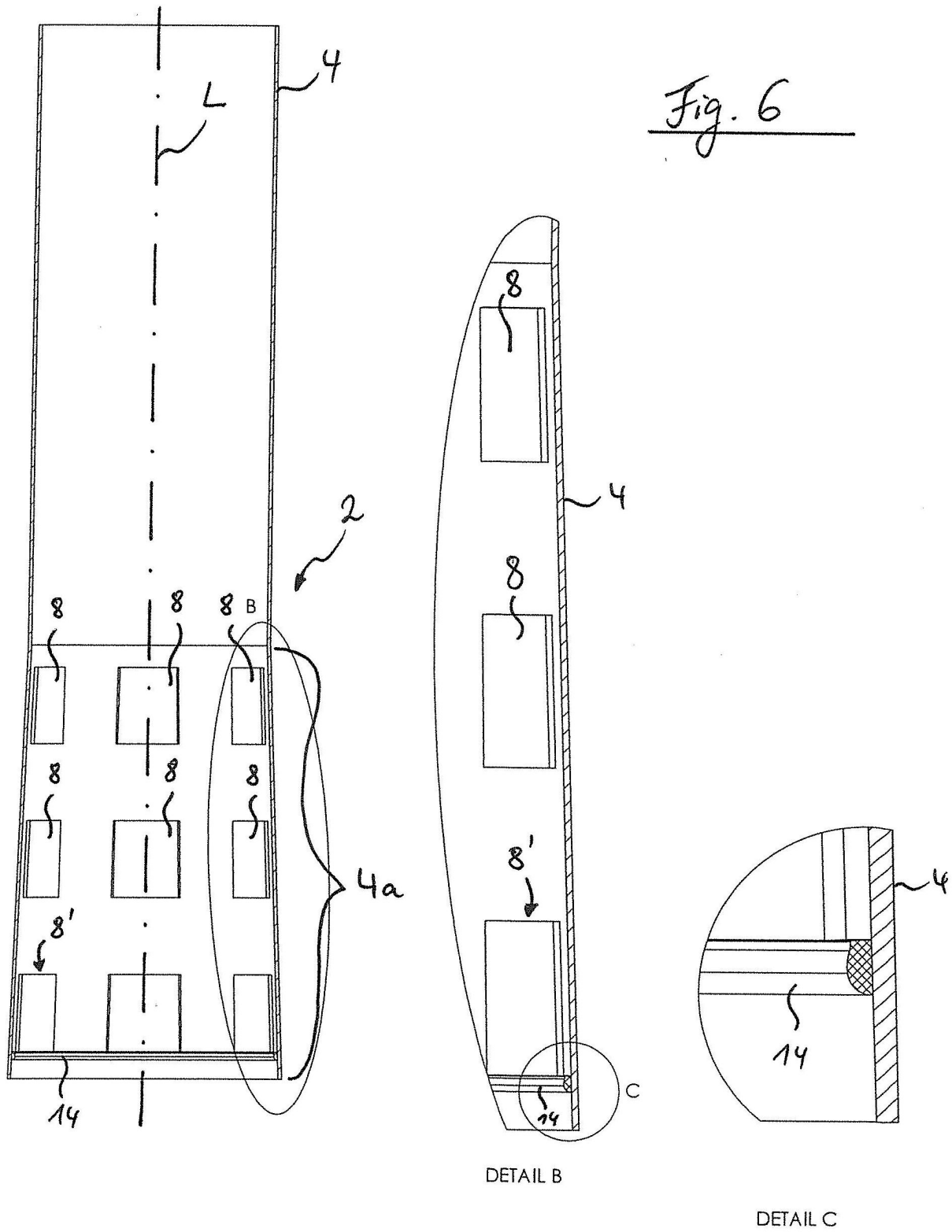
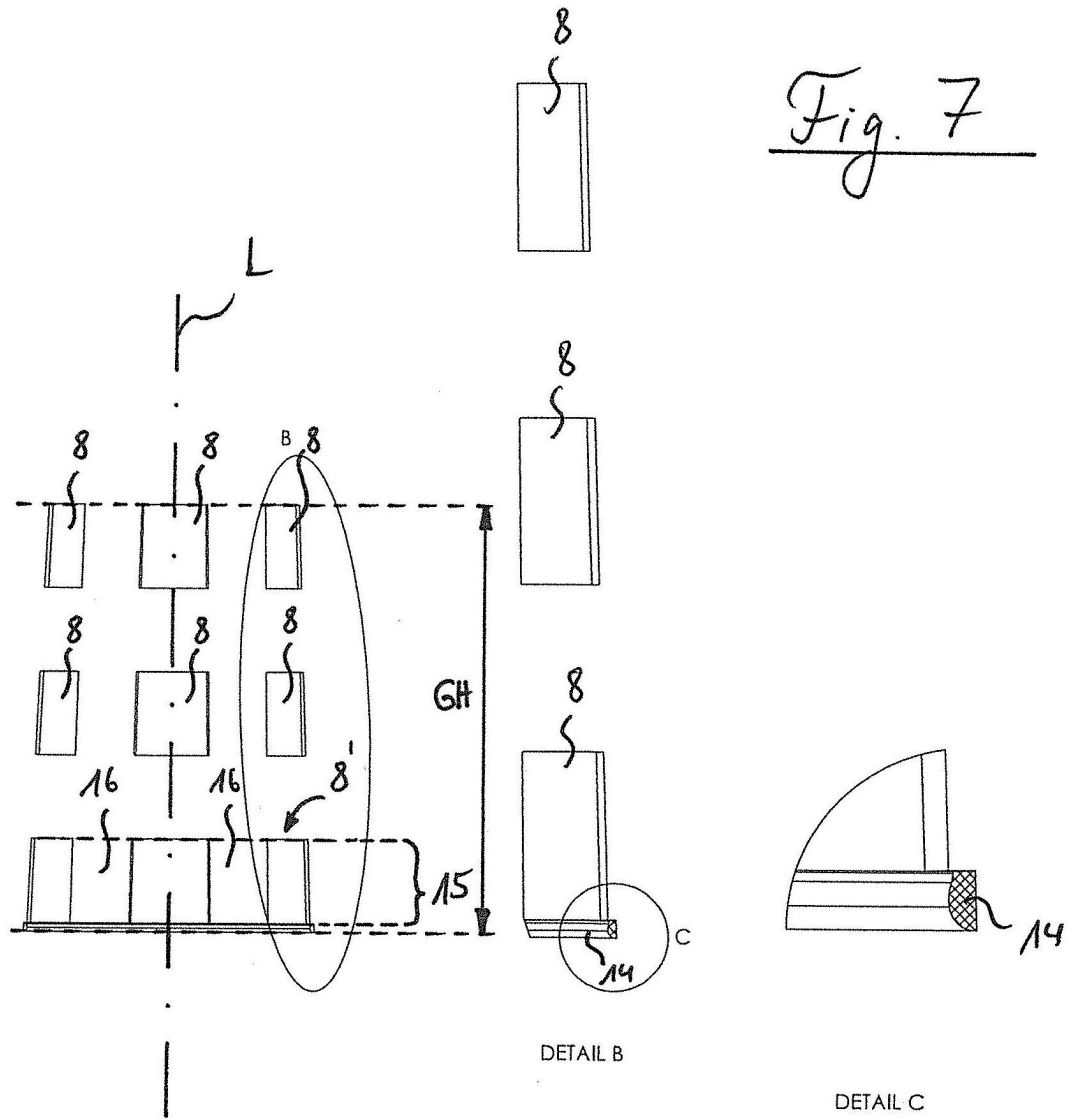


Fig. 6





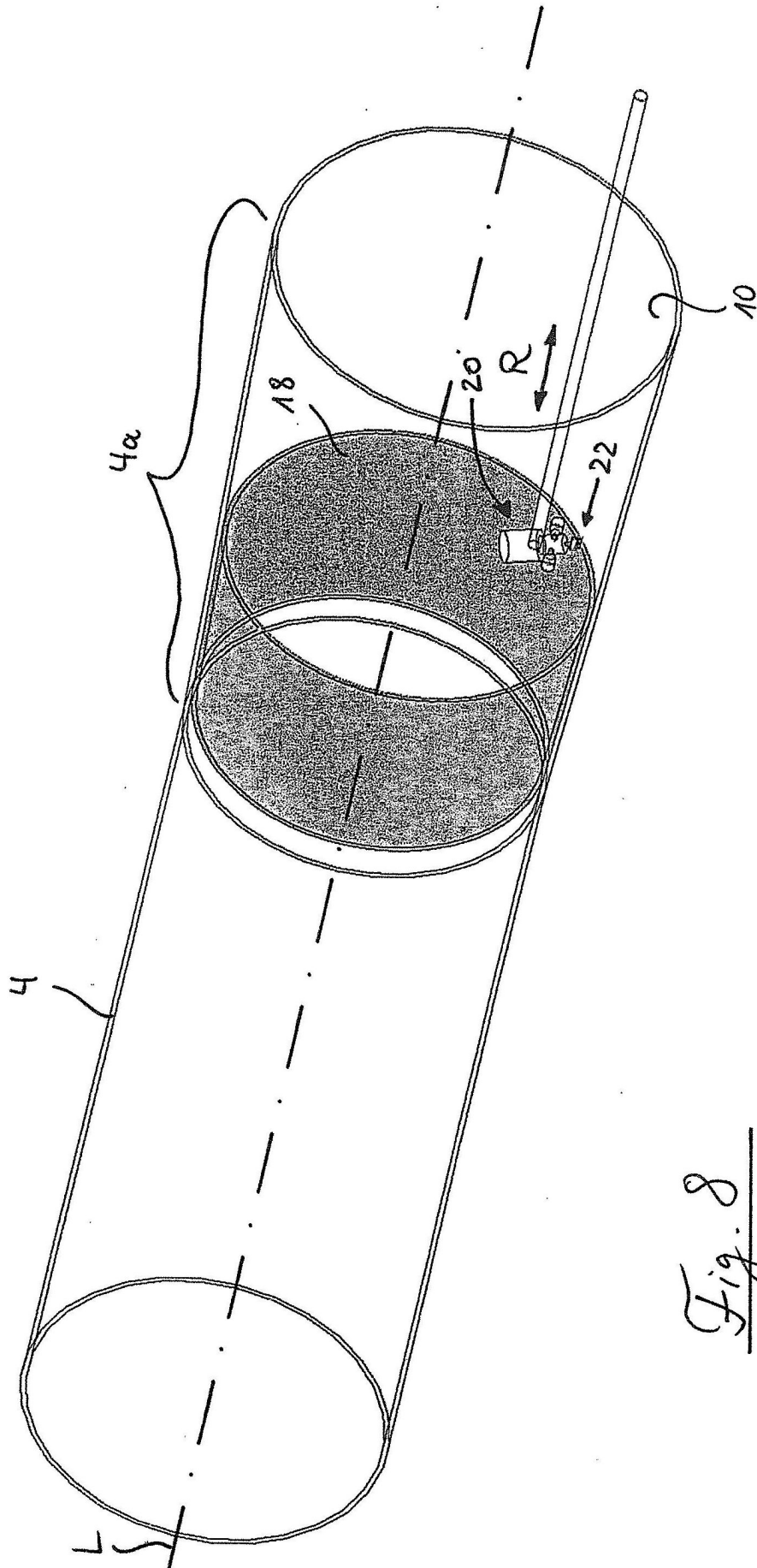


Fig. 8

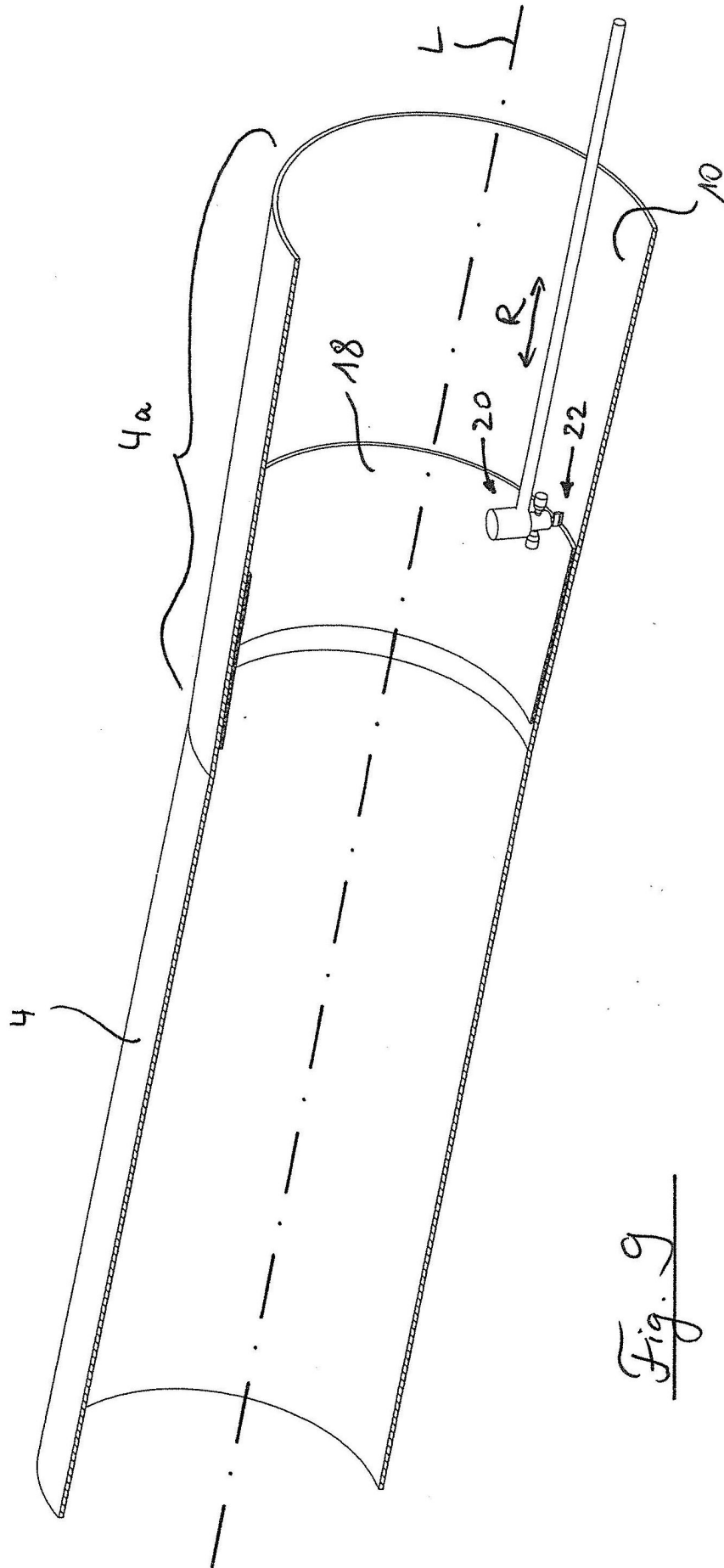


Fig. 9

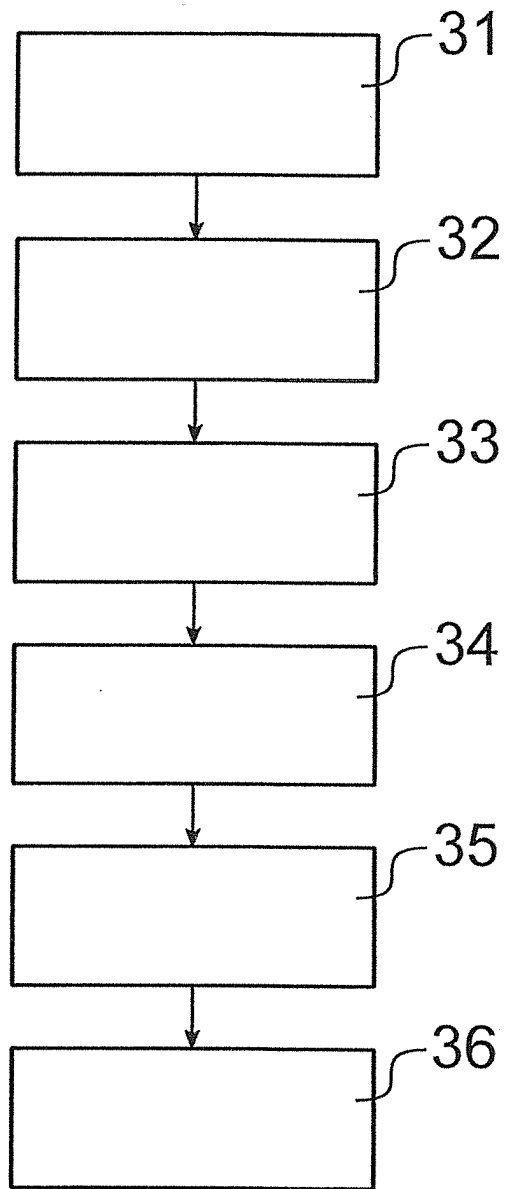


Fig. 10