



(10) **DE 10 2011 118 206 A1** 2013.05.16

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 118 206.7**

(22) Anmeldetag: **11.11.2011**

(43) Offenlegungstag: **16.05.2013**

(51) Int Cl.: **F03B 13/06** (2011.01)

**F03D 9/02** (2011.01)

(71) Anmelder:  
**Roentdek-Handels GmbH, 65779, Kelkheim, DE**

(74) Vertreter:  
**Blumbach Zinngrebe, 65187, Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:  
**Schmidt-Böcking, Horst, 65779, Kelkheim, DE;**  
**Luther, Gerhard, Dr., 66119, Saarbrücken, DE**

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

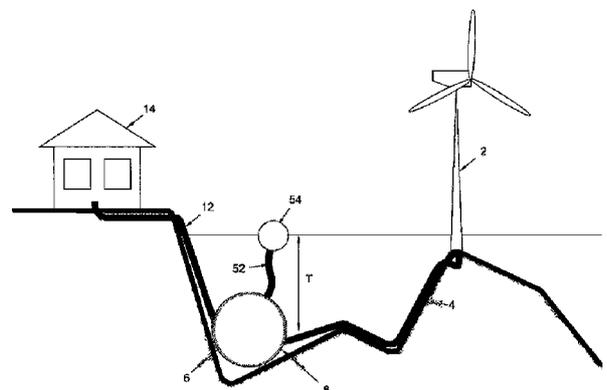
<b>GB</b>	<b>2 069 618</b>	<b>A</b>
<b>GB</b>	<b>2 032 009</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>7 795 748</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 911 073</b>	<b>B2</b>
<b>EP</b>	<b>2 345 809</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>3 294 662</b>	<b>A</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Pumpspeicherkraftwerk**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk zum temporären reversiblen Zwischenspeichern von elektrischer Energie aus anderen Kraftwerken, insbesondere Windkraftanlagen und/oder Photovoltaikanlagen, vorgestellt. Dieses umfasst ein Druckspeichersystem mit zumindest zwei mit Wasser befüllbaren Druckbehältern, welche ein gemeinsames Druckspeichervolumen bilden, einen Wasserauslass zum Ausströmenlassen von Wasser aus dem Druckspeichersystem unmittelbar in das umgebende Meer gegen den der Wassertiefe (T) entsprechenden hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ), eine an dem Wasserauslass angeordnete Pumpe zum Herauspumpen von Wasser aus dem Druckspeichersystem in das umgebende Meer, wobei die Pumpe beim Herauspumpen des Wassers gegen den hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) des umgebenden Meeres elektrische Energie in entsprechende potentielle Energie der verdrängten Wassersäule umwandelt, einen Wassereinlass zum Einströmenlassen von Wasser unmittelbar aus dem umgebenden Meer mit dem der Wassertiefe entsprechenden hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) in das Druckspeichersystem, einen an dem Wassereinlass angeordneten gemeinsamen Generator, wobei der gemeinsame Generator beim Einströmen des Wassers mit dem hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) in der Wassertiefe (T) die potentielle Energie der vorher verdrängten Wassersäule wieder in elektrische Energie umwandelt, elektrische Leitungen zum Transport der elektrischen Energie von der Meeresoberfläche zu dem Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk und zurück, wobei die Druckbehälter derart druckfest sind, dass diese formstabil gegen den hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) am Meeresgrund mittels der Pumpe leergepumpt werden können.



## Beschreibung

### Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Pumpspeicherkraftwerk zum temporären reversiblen Speichern von Energie, insbesondere von zeitlich schwankend zur Verfügung stehender Energie aus Windkraftanlagen und/oder Photovoltaikanlagen, ein Stromversorgungsnetz mit einem Pumpspeicherkraftwerk sowie ein Verfahren zum reversiblen Zwischenspeichern von elektrischer Energie aus Primärenergiekraftwerken.

### Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Als Folge der über die Erdoberfläche ungleichmäßig verteilten Sonneneinstrahlung entsteht eine bekannte Temperaturverteilung zwischen den Tropen und Subtropen auf der einen Seite und den Polarbereichen auf der anderen Seite. Dieses Energiegefälle ist ursächlich für die bekannten auf der Erde vorherrschenden Großwindssysteme, die einen Großteil der von der Erdoberfläche absorbierten Strahlungsenergie in Form von Wind im Falle der nördlichen Halbkugel u. a. nach Europa, Atlantik, Nordsee etc. transportieren.

**[0003]** Schon seit vielen Jahrhunderten nutzt der Mensch die Kraft des Windes, die im Mittel pro Quadratmeter Fläche einer Energieleistung von etwa 1 Kilowatt entspricht. Diese Energie kann mit Hilfe moderner Windkraftanlagen auch in Form von elektrischer Energie umgewandelt und vielfältig genutzt werden.

**[0004]** Windstärke und Windrichtung unterliegen dabei aber klimatischen und natürlichen Schwankungen, wobei der Wind auch regelmäßig zum Erliegen kommen kann. Eine industrielle Gesellschaft kann aber die Windkraft nur dann als verlässliche Energiequelle verwenden, wenn sie kontinuierlich zur Verfügung steht.

**[0005]** Eine Möglichkeit, eine kontinuierlichere Abgabe der elektrischen Energie an ein Stromversorgungsnetz o. ä. zu erreichen ist es, wenn man einen Teil der so erzeugten elektrischen Energie in ausreichendem Maße über den Zeitraum von zumindest Stunden, ggf. Tagen zwischenspeichern kann. Die Energie aus dem Zwischenspeicher kann dann bei einer Flaute in das Stromversorgungsnetz eingespeist werden, so dass eine kontinuierliche Abgabe gewährleistet ist. Gleiches gilt für elektrische Energie aus Photovoltaikanlagen.

**[0006]** Gelingt eine solche Speicherung in großem Maßstab, so könnten diese regenerativen Energiequellen besser zur Grundlastdeckung eingesetzt werden und eines Tages möglicherweise fossile Energieerzeugung und Kernenergie vollständig ersetzen.

**[0007]** Traditionelle Direktspeicher für Elektrizität, wie Akkumulatoren, können nur vergleichsweise geringe Energiemengen speichern, weisen hohe Speicherverluste auf und sind außerdem sehr teuer und daher im großen Stil wirtschaftlich nicht verwendbar. Die heute häufig diskutierten chemischen Speicherverfahren (z. B. Elektrolyse von Wasser) und Druckluftspeicher haben schon aufgrund der Wärmeverluste eine relativ schlechte Effizienz in der Wiedergewinnung der so gespeicherten Energie. Eine Nutzungseffizienz in der Größenordnung von etwa 30% sind für diese Speicherarten bereits gute Werte.

**[0008]** Daher verbleiben nach heutigem Stand der Technik nur Wasser-Pumpspeicherkraftwerke (PSKW) um effizient und in großem Maße elektrische Energie zu speichern. Diese können eine Wiedergewinnungseffizienz der gespeicherten Energie von etwa 80% erreichen. Bei diesen Anlagen pumpt man Wasser – zumeist an künstlichen Stauseen – in Zeiten des Stromüberflusses aus einem unteren Speicherbecken in ein oberes Speicherbecken. Je größer die Speicherbecken und je größer der Höhenunterschied ist, desto mehr Energie kann man speichern. Bei Strombedarf lässt man das so hochgepumpte Wasser durch Turbinen wieder zurück in den unteren Speicher fließen. Dabei wird die Differenz der potentiellen Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt. Die Leistung  $W$  ergibt sich aus dem Produkt aus Höhenunterschied  $h$  zwischen beiden Speicherbecken und der Wasserdurchflussmenge  $M$ . Es gilt (bei einer Dichte des Wassers von  $1000 \text{ kg/m}^3$ ) die einfache Formel:

$W \text{ (kW)} = 9,81 \cdot M \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot h \text{ (m)}$ . Damit ergibt sich die Gesamtkapazität des Energiespeichers mit

$E \text{ (kWh)} = 9,81 \cdot M \cdot h \cdot t / 3600$  (Stunden).  $t$  ist die maximale Zeitdauer für das Absenken des Wasserspiegels im oberen Speicherbecken in Stunden. Bei einem Pumpspeicherkraftwerk wechseln Pump-, Speicher- und Stromerzeugungsphasen folglich ständig miteinander ab. Die Pumpspeicherkraftwerke können in kürzester Zeit angefahren werden und so schnell auf Strombedarf reagieren. In Deutschland gibt es heute etwa 30 Pumpspeicherkraftwerke, ihre Standorte liegen wegen der benötigten Höhendifferenz im Mittel- oder gar Hochgebirge und die größten Anlagen in Deutschland sind bei Goldisthal/Thüringen (Leistung etwa 1 Gigawatt und Energie-Speicherkapazität etwa 8,5 GWh bei einem Nutzvolumen von etwa 12 Millionen Kubikmeter) und Markersbach/Sachsen (Leistung etwa 1 Gigawatt und Energie-Speicherkapazität etwa 4 GWh). Insgesamt beträgt die Leistung aller Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland zusammen etwa knapp 7 Gigawatt.

**[0009]** Der Bedarf an solchen Pumpspeicherkraftwerken übersteigt jedoch das typischerweise vorhandene Potential und vor allem für die Offshore gewonnene Windenergie werden ortsnahe Energiespeicher gebraucht. Diese Kapazitäten auszubauen, ist da-

her eine wichtige volkswirtschaftliche Aufgabe (siehe z. B. Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Goslar, <http://www.efzn.de>). Als mögliche Ausbaupazitäten werden zurzeit die Errichtung neuer Pumpspeicherkraftwerke in Gebirgen und in alten Bergwerken diskutiert. Die Nutzung von unterirdischen Bergwerksanlagen erfordert einen großen überirdischen Wasserspeicher. Dessen Errichtung scheidet oft an vorhandener Wohnbebauung oder anderer gegebener Nutzung. Außerdem sind die vorhandenen Volumina in Bergwerksanlagen klein und über lange unterirdische Strecken verteilt, so dass leistungsfähige Kraftwerke nur schwierig zu realisieren sind. Die Speicherung erfordert ferner teilweise lange Stromtransportwege und einen schmerzhaften Eingriff in den Naturhaushalt. Grundsätzlich ist die Verfügbarkeit von geeigneten Standorten für derartige Pumpspeicherkraftwerke weltweit begrenzt.

**[0010]** Daher wird hier ein völlig anderer, auf den ersten Blick vielleicht unrealistisch erscheinender Ansatz für neue Pumpspeicherkraftwerke vorgestellt.

**[0011]** Die deutsche Patentanmeldung 10 2011 013 329.1 zeigt ein Pumpspeicherkraftwerk mit einem Druckbehälter zum Versenken auf dem Meeresgrund.

**[0012]** Die WO 2011/112561 zeigt ein "Offshore Energy Harvesting, Storage and Power Generation System" mit Energiespeicher- und Stromerzeugungseinheiten, die am Meeresboden verankert werden.

#### Allgemeine Beschreibung der Erfindung

**[0013]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung ein neuartiges Pumpspeicherkraftwerk bereit zu stellen, welches durch einen modularen Aufbau nahezu beliebig skalierbar ist und eine enorme Speicherkapazität zur Verfügung stellen kann, ohne die vorhandene Landschaft zu belasten.

**[0014]** Die Aufgabe der Erfindung wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert.

**[0015]** Die Erfindung nutzt den Grundgedanken, das Meer als oberes Speicherbecken oder Wasserreservoir eines Pumpspeicherkraftwerkes zu nutzen. Als unteres Speicherbecken oder Wasserreservoir dienen auf den Meeresboden abgesenkte Druckbehälter. Das untere Wasserreservoir (dasjenige mit der niedrigeren potentiellen Energie) ist demnach ein künstlich erschaffener Raum, insbesondere ein Hohlraum, der von dem Druckbehälter gebildet wird.

**[0016]** Erfindungsgemäß wird ein Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk zum temporären reversiblen Zwischenspeichern von elektrischer Energie aus an-

deren Kraftwerken, insbesondere zeitlich schwankend stromerzeugenden Kraftwerken, z. B. Windkraftanlagen oder Photovoltaikanlagen, bereit gestellt. Wie jedes Pumpspeicherkraftwerk benutzt auch dieses Pumpspeicherkraftwerk ein erstes und zweites Wasserreservoir, wobei das Wasser in dem zweiten Wasserreservoir eine höhere potentielle Energie aufweist als in dem ersten Wasserreservoir. Zum temporären reversiblen Speichern der elektrischen Energie wird Wasser von dem ersten Wasserreservoir in das zweite Wasserreservoir gepumpt und zum Wiedergewinnen der elektrischen Energie lässt man das Wasser aus dem zweiten Wasserreservoir in das erste Wasserreservoir zurückfließen, wobei ein Generator die beim „Hochpumpen“ deponierte potentielle Energie wieder in elektrische Energie verwandelt. Zum Speichern und Wiedergewinnen der elektrischen Energie kommt es lediglich auf die Differenz der potentiellen Energie einer Wassermenge zwischen den beiden Wasserreservoir an. Bei einem herkömmlichen Pumpspeicherkraftwerk wird diese durch die Höhendifferenz zwischen den beiden Becken definiert.

**[0017]** Bei der vorliegenden Erfindung wird nun das erste Wasserreservoir mit der niedrigeren potentiellen Energie durch ein Druckspeichersystem aus künstlichen, mit Wasser befüllbaren Druckbehältern gebildet, welches in großer Tiefe auf dem Meeresgrund versenkt wird. Das Druckspeichersystem ist dabei derart druckfest gebaut, dass es in der erwünschten Meerestiefe formstabil gegen den hydrostatischen Wasserdruck ist, wenn es leergepumpt wird.

**[0018]** Das zweite Wasserreservoir mit der höheren potentiellen Energie wird durch das Meer selbst gebildet, welches den Druckbehälter umgibt. Wenn man nun Wasser in das in einer Wassertiefe  $T$  versenkte Druckspeichersystem einströmen lässt, wird diejenige potentielle Energie frei, welche der Höhendifferenz zur Meeresoberfläche, also der Wassertiefe  $T$  entspricht. Pumpet man anschließend das Wasser wieder aus dem Druckspeichersystem gegen den hydrostatischen Druck  $P_T$  in der Wassertiefe  $T$  in das umgebende Meer, muss man elektrische Energie entsprechend der Wassersäule die auf dem Druckspeichersystem in der Wassertiefe  $T$  lastet aufwenden und kann diese somit speichern; selbstverständlich vermindert um die sonst auch üblichen Verlustleistungen.

**[0019]** Da das Wasser aus dem Druckspeichersystem ohne nachströmende atmosphärische Luft herausgepumpt wird, und daher ein nur durch den Partialdruck des Wasserdampfes begrenztes Vakuum entsteht, muss streng genommen der atmosphärische Luftdruck noch zum hydrostatischen Druck der Wassersäule hinzuaddiert werden. Quantitativ spielt dies jedoch bei den hier vornehmlich anvisierten gro-

ßen Meerestiefen keine Rolle; bei einer Anwendung in einem See mit geringer Tiefe sollte man das zusätzliche Bar des Atmosphärendruck, welches einer zusätzlichen Tiefe von 10 m entspricht, jedoch in die Berechnung einbeziehen.

**[0020]** Das Druckspeichersystem des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks weist zum Speichern des Wassers zumindest zwei mit Wasser befüllbare Druckbehälter auf, welche ein gemeinsames Druckspeichervolumen bilden. Die Druckbehälter können beispielsweise miteinander koppelbar oder fest verbindbar sein, so dass ein modular aufgebautes Druckspeichersystem gebildet ist. Vorzugsweise werden als Druckbehälter leicht zusammensetzbare Module verwendet, wie beispielsweise zylinder- bzw. rohrförmige oder polyeder- bzw. würfelförmige Druckbehälter, die eine gute Volumenausnutzung gewährleisten, wenn mehrere dieser Druckbehälter benachbart aufgestellt werden.

**[0021]** Die Druckbehälter weisen bevorzugt keine beweglichen Teile auf. Das bedeutet, dass keine mechanischen bzw. elektrischen Leistungskomponenten in oder an dem Druckbehälter installiert sind, die zur Stromerzeugung oder Stromvernichtung verwendet werden (Pumpe, Turbine).

**[0022]** Vorzugsweise sind die Druckbehälter des Druckspeichersystems über einen Sumpf miteinander verbunden. Der Sumpf bildet den tiefsten oder zumindest einen der tiefsten Punkte des Druckspeichersystems, so dass sich das Wasser, beispielsweise durch einfache Ausnutzung der Schwerkraft, stets im Sumpf sammelt.

**[0023]** Das Druckspeichersystem weist zum Ausströmenlassen des Wassers einen an dem Sumpf angeordneten Wasserauslass mit einer unmittelbar an dem Wasserauslass angeordneten Pumpe auf. Mit der Pumpe wird das Wasser aus dem Druckspeichersystem unmittelbar in das umgebende Meer gegen den der Wassertiefe entsprechenden hydrostatischen Druck  $P_T$  gepumpt, wobei die Pumpe elektrische Energie in die der verdrängten Wassersäule entsprechende potentielle Energie umwandelt.

**[0024]** Bei dem Auspumpvorgang des Wassers aus dem Druckspeichersystem ist zur Vermeidung von Kavitationsvorgängen an der Pumpe ein an der Pumpe anliegender Rest-Vordruck im Druckspeichersystem vorteilhaft. So zeigen Berechnungen, dass ohne nachströmende atmosphärische Luft, oder ein anderes Gas, eine an der Pumpe anliegende Wassersäule von 15 Metern ausreicht, um die Kavitation zu verringern oder sogar zu vermeiden. Demgemäß ist es von Vorteil, diese Größe in die Bauform des Druckspeichersystems bzw. in die Anbringung des Wasserballasts einfließen zu lassen. Ggf. ist es aus diesem Grund auch vorteilhaft, jeden Druckbehälter mit einer

Vorpumpe auszurüsten, die für die Pumpe einen Vordruck erzeugt.

**[0025]** Das Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk weist ferner einen Wassereinlass mit einem unmittelbar an dem Wassereinlass angeordneten Generator auf. Vorzugsweise wird ein gemeinsamer Generator für die zumindest zwei bzw. alle Druckbehälter verwendet, so dass der gemeinsame Generator im Stromerzeugungsbetrieb über den Wassereinlass die von dem Druckspeichersystem umfassten zumindest zwei Druckbehälter füllt, vorzugsweise gleichmäßig. Beim Einströmenlassen des Wassers unmittelbar aus dem umgebenden Meer mit dem der Wassertiefe entsprechenden hydrostatischen Druck in das Druckspeichersystem wandelt der Generator die potentielle Energie der zuvor verdrängten Wassersäule wieder in entsprechende elektrische Energie um. Das Druckspeichersystem weist ferner Ventile am Einlass und Auslass auf, um diese zu verschließen, wenn nicht gerade Energie gespeichert, beziehungsweise zurück gewonnen wird. Das Auspumpen und Einströmen des Wassers erfolgt demnach lediglich auf kurzem Weg in das bis auf den Wassereinlass und Wasserauslass geschlossene Druckspeichersystem.

**[0026]** Wenn man demnach das Druckspeichersystem in einer Tiefe von z. B. 2000 m unter der Meeresoberfläche versenkt, entspricht dies einem Pumpspeicherkraftwerk, bei welchem das zweite Wasserreservoir 2000 m oberhalb des ersten Wasserreservoirs liegt, was für übliche Pumpspeicherkraftwerke bereits ein außergewöhnlich großer Höhenunterschied ist. Verblüffenderweise benötigt man trotzdem keine langen Rohre um das zum Speichern der elektrischen Energie verwendete Wasser über eine Strecke von 2000 m (bei ungleich 90° Steigung sogar nach mehr) zu transportieren. Es genügt nämlich, das Wasser vom Inneren des Druckspeichersystems lediglich nach außen in das umgebende Meer zu pumpen, was nur eine Strecke von einigen wenigen Metern bedeutet und entsprechend wieder zurückströmen zu lassen. Bereits auf dieser kurzen Pumpstrecke wird die nur durch die Druckunterschiede aufgebaute Potentialdifferenz überwunden. Die von der Gravitation verursachte Potentialdifferenz wird nämlich ohne Überwindung dieser Wegstrecke allein durch die in der Wassertiefe  $T$  auf dem Druckbehälter lastende Wassersäule eingebracht. Es werden daher weder Rohre zum Transport von Wasser noch Luftleitungen zwischen dem Druckbehälter und der Meeresoberfläche benötigt. Man nutzt einfach die Potentialdifferenz der Meerestiefe in Relation zum Innendruck des Druckspeichersystems, wobei nicht ausgeschlossen sein soll, dass das Pumpspeicherkraftwerk in einem tiefen Binnensee versenkt wird. Man benötigt daher lediglich elektrische Leitungen zum Transport der elektrischen En-

ergie von der Meersoberfläche zu dem Druckspeichersystem und zurück.

**[0027]** Mit der Erfindung wird darüber hinaus eines der zwei Speicherbecken oder definierten Wasserreservoirs völlig „eingespart“, da das umgebende Meer selbst das zweite Wasserreservoir (mit der höheren potentiellen Energie) bildet. Das erste Wasserreservoir wird von dem Innenraum des Druckspeichersystems in Form von insbesondere modular koppelbaren Druckbehältern oder Drucktanks gebildet. Somit bilden die Drucktanks ein abgeschlossenes Wasser-Speichervolumen, nämlich dasjenige Wasser-Speichervolumen oder Wasserreservoir mit der niedrigeren potentiellen Energie gegenüber dem umgebenden Meer. Dadurch werden lange Wasserrohre, die bei herkömmlichen Pumpspeicherkraftwerken die Höhendifferenz überbrücken müssen, eingespart. Dies vereinfacht nicht nur den Aufbau, sondern es werden auch Reibungsverluste beim Transport des Wassers reduziert, wodurch der Wirkungsgrad erhöht werden kann. Ferner kann das Druckspeichervolumen derart modular gebildet sein, dass derartige Druckbehälter in großer Zahl auf dem Meeresgrund versenkt werden und miteinander gekoppelt werden, um ein hinreichend großes Wasser-Speichervolumen und damit die erwünschte Energie-Speicherkapazität zu erreichen ohne die oberirdisch nutzbare Landschaft zu belegen. Bei einer Vielzahl von Druckbehältern verwenden diese somit die gemeinsame(n) Pumpe(n) und gemeinsame(n) Generator(en), so dass die Druckbehälter ein gemeinsames Druckspeichervolumen bilden und mehrere Pumpen und/oder Generatoren eingespart werden können.

**[0028]** Es kann auch eine Vielzahl solcher Pumpspeicherkraftwerke auf dem Meeresboden installiert sein. Vorzugsweise umfasst ein solches Netz aus Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerken demnach eine Mehrzahl von auf dem Meeresgrund befindlichen Druckspeichersystemen, welche auf dem Meeresgrund mit einem Netzwerk aus elektrischen Leitungen elektrisch miteinander verbunden sind. Eine Vernetzung mit Wasserrohren zwischen den jeweils mit eigener Pumpe und Generator ausgestatteten Druckspeichersystemen ist nicht notwendig.

**[0029]** Die Installation eines Druckspeichersystems weist vielfältige Vorzüge auf. Zum Einen lässt sich so ein modular aufbaubares Pumpspeicherkraftwerk bereitstellen, welches eine an den Verwendungszweck und Einsatzort angepasste Größe aufweist und somit geringere Kosten verursacht. Des Weiteren ist die Auswahl und Konstruktion von geeigneten Druckbehältern vereinfacht, da bauseitig (der Druckbehälter ist ein Bauwerk mit im gefüllten Zustand erheblichem Eigengewicht) und konstruktiv optimale Druckbehälter verwendet werden können und darüber hinaus das Druckspeichervolumen an die Leistungsfähigkeit geeigneter Pump- und Turbinenaggregate an-

gepasst werden kann. Mehrere Druckbehälter lassen sich demnach hydraulisch zu einem Druckspeichersystem zusammenschalten und die Befüllung und Entleerung erfolgt nur an einem einzigen Punkt. Natürlich müssen die hydraulischen Verbindungen so beschaffen sein, dass ein unbehindertes Zu- und Abfließen des Wassers ermöglicht wird.

**[0030]** Vorzugsweise weist die Verbindung der Druckbehälter mit dem Sumpf zumindest ein Absperrventil zum Trennen zumindest eines der Druckbehälter vom Druckspeichersystem auf, so dass auch ein einzelner Druckbehälter für Wartungszwecke oder bei Leckagen vom übrigen Druckspeichersystem getrennt werden kann.

**[0031]** Die Modularität des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks kann dadurch weiter gesteigert werden, dass eine Pumpturbineneinheit vorgesehen wird, die insbesondere den Wassereinlass, den Wasserauslass, die gemeinsame Pumpe und den Generator sowie die zur Verbindung mit den elektrischen Leitungen nötige Elektroinstallation beherbergt.

**[0032]** Die Pumpturbineneinheit ist insbesondere von den übrigen Komponenten, wie beispielsweise dem Druckspeichersystem des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks, abkoppelbar. Die abkoppelbare Pumpturbineneinheit kann somit getrennt beispielsweise zu Wartungszwecken zur Wasseroberfläche geholt werden. Das Druckspeichersystem sollte ein Volumen aufweisen, welches eine signifikante Energiespeicherung ermöglicht, das Druckspeichervolumen sollte daher mindestens 100 oder 1000 Kubikmeter betragen, kann aber um ein Vielfaches, ggf. mehrere Größenordnungen größer sein. Es sind sogar Volumina im Bereich von einer Million Kubikmeter oder mehr denkbar. Je größer die einzelnen Druckbehälter sind, umso geringer ist die benötigte Anzahl.

**[0033]** Beispielsweise können große industriell gefertigte Zylinderrohre oder auch elementare Kugeltanks als Druckbehälter verwendet werden. Ein Kugeltank mit 100 Metern Durchmesser hat ein Volumen von etwa 500.000 Kubikmeter. Lässt man 50 Kubikmeter Wasser pro Sekunde durch die Turbinen strömen, dann liefert dieses Pumpspeicherkraftwerk bei 2000 m Wassertiefe eine Leistung von etwa 1 Gigawatt für eine Zeitdauer von etwa 3 Stunden. Durch die Verbindung von mehreren solcher Zylinderrohre oder elementaren Kugeltanks zu einem Druckspeichersystem kann entweder diese Leistung entsprechend erhöht oder eine noch größere Speicherkapazität erreicht werden. Die Speicherung von regenerativ erzeugter Energie ist hiermit in großen Mengen und ohne nennenswerte Verluste möglich.

**[0034]** Zweckmäßigerweise bestehen die Druckbehälter aus Stahl und/oder Beton, insbesondere Fa-serbeton, d. h. weisen eine entsprechende dreidi-

mensional geschlossene Außenwandung z. B. aus Stahl- oder Faserbeton auf. Hiermit lässt sich ein hinreichend druckfester Druckbehälter bzw. Hohlkörper bauen. Eine mögliche Bauform des Druckbehälters weist beispielsweise ein inneres Tragwerk zur Stützung gegen den Wasserdruck auf, wobei das innere Tragwerk nicht den Abfluss des Wassers in dem Druckbehälter hin zum Sumpf behindern sollte.

**[0035]** Vorzugsweise wird der Druckbehälter so massiv gebaut bzw. beschwert, dass er im ausgepumpten Zustand im Normalbetrieb eine Masse hat, die etwas größer ist, als die Masse des von dem Druckbehälter verdrängten Wassers, so dass der Druckbehälter auch im ausgepumpten Zustand im Normalbetrieb im Meer nach unten sinkt, so dass sich der Verankerungsaufwand auf dem Meeresgrund in Grenzen hält. Ggf. kann der Druckbehälter sogar ohne wesentliche Verankerung einfach auf dem Meeresgrund liegen, wenn er in jedem Füllzustand im Normalbetrieb schwer genug ist. Dennoch soll nicht ausgeschlossen sein, dass der Druckbehälter geringfügig leichter als das verdrängte Wasser ist und der Druckbehälter am Meeresgrund verankert wird.

**[0036]** In vorteilhafter Weise weisen die Druckbehälter des Druckspeichersystems separate Hohlräume auf, z. B. in der Umwandung, wobei Schüttgut als Beschwerungsmaterial in die Hohlräume eingefüllt werden kann. Hiermit kann die Masse des Druckspeichersystems im Nachhinein noch angepasst werden, um sie so zu beschweren, dass sie auf den Meeresgrund sinken. Besonders vorteilhaft ist es aber, die Hohlräume mit dem Schüttgut zunächst so auszutarieren, dass das Druckspeichersystem und/oder der Bodenkörper gerade noch schwimmt und dann vor Ort auf dem Meer zusätzliches Ballastwasser einzufüllen. Das Beschwerungsmaterial kann in kostengünstiger Weise natürliches Schüttgut sein, z. B. Sand, Kies, Schlick oder Ähnliches, dessen Masse vor Ort mit in das Schüttgut eingebrachtem Wasser zusätzlich vergrößert werden kann, um die Masse vor Ort noch genauer auszutarieren. Durch das Einbringen von Ballastwasser in das Schüttgut kann die Masse soweit erhöht werden, dass das Pumpspeicherkraftwerk versinkt, es können aber auch separate Hohlräume mit Ballastwasser gefüllt werden, damit das Ballastwasser einfacher wieder herausgepumpt werden kann, um das ganze Pumpspeicherkraftwerk oder auch nur einzelne Komponenten des Pumpspeicherkraftwerks wieder aufzuholen. Der Gesamt-Ballast ist jedenfalls so bemessen, dass er das Pumpspeicherkraftwerk im Normalbetrieb auf dem Meeresgrund hält. Die Gewichtsverteilung, z. B. die Anordnung des Ballasts kann asymmetrisch sein, damit der einzelne Druckbehälter des Druckspeichersystems bzw. das ganze Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk unter Wasser eine definierte Orientierung mit Unter- und Oberseite aufweist, was ggf. die Anordnung der Anschlüsse erleichtert. Die definierte Orientierung des

Druckbehälters. bzw. des Pumpspeicherkraftwerks kann auch dadurch erreicht werden, dass Hohlräume nicht mit Ballast gefüllt werden, so dass die darin befindliche Luft Auftrieb erzeugt.

**[0037]** Der Druckbehälter hat vorzugsweise eine zylindrische Form. Bei einer zylindrischen Form kann das Innenvolumen bei gleichbleibendem Durchmesser durch die Länge des Zylinders eingestellt werden, was konstruktiv ggf. einfacher ist, als eine Kugelform mit großem Durchmesser herzustellen. Der Zylinder ist an seinem oberen Ende mit einem oberen Abschlussstück beispielsweise in Form eines Deckels versehen, so dass das obere Ende gegen in den Druckbehälter eindringendes Meerwasser abgedichtet ist. Das untere Ende (Sumpf) kann ebenfalls mit einem Deckel versehen sein, um ein geschlossenes Volumen zu bilden.

**[0038]** Besonders bevorzugt umfasst der Druckbehälter eine Anschlusskupplung. Mittels der Anschlusskupplung können zwei damit ausgerüstete Druckbehälter miteinander lösbar gekoppelt werden, so dass das Druckspeichervolumen modular aufbaubar ist. Die Anschlusskupplung ist vorzugsweise selbstdichtend ausgerüstet und kann bei einem zylindrischen Druckbehälter beispielsweise in dem Deckel angeordnet sein, so dass mehrere Druckbehälter aufrecht stehend übereinander auf dem Meeresboden angekuppelt werden können.

**[0039]** Der Druckbehälter kann auch aus einer Mehrzahl von aneinandergereihten und miteinander verbundenen rohrförmigen Segmenten bestehen. In einem einfachen Fall sind die Segmente miteinander verschweißte, verklebte oder vergossene Rohrstücke, deren Wandstärke so gewählt wird, dass der Wasserdruck am Meeresgrund den Druckbehälter nicht verformt. So können beispielsweise Rohrsegmente von je 10 Metern Länge einzeln zum Installationsort transportiert werden und dort auf See miteinander zu Rohren von beispielsweise 100 Metern Länge verbunden werden, welche mit Deckeln versehen und aufrecht auf dem Meeresgrund verankert werden. Die Rohrsegmente können auch jeweils eigene Deckel aufweisen und miteinander über selbstdichtende Anschlusskupplungen angekuppelt werden, so dass ebenfalls ein gemeinsames Druckspeichervolumen gebildet wird.

**[0040]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird ein integrierter Druckspeicherkomplex aus eng benachbarten, aufrecht stehenden Rohren, insbesondere Stahlrohre, Rohre aus Faserbeton oder anderen Verbundwerkstoffen, gebildet. Die zwischen den Rohren gebildeten Hohlräume können zur Stabilisierung des Druckspeicherkomplexes und zur Beschwerung des Druckspeichersystems mit einer Füllmasse verfüllt werden. Die Füllmasse kann dabei

Beton, Schüttgut oder eine Kunststoffmasse oder eine Kombination der genannten sein.

**[0041]** Der Druckbehälter oder der integrierte Druckspeicherkomplex weist in einer Ausführungsform ein oberes Abschlussstück zum Verschließen des Druckbehälters bzw. der mehreren Druckbehälter des integrierten Druckspeicherkomplexes und zum Abdichten gegen eindringendes Meerwasser in den Druckbehälter auf.

**[0042]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Druckbehälter des Druckspeichersystems an einen Bodenkörper angekoppelt bzw. mit diesem verbunden werden, wobei der Bodenkörper die Druckbehälter sowie die weiteren Komponenten des Pumpspeicherkraftwerks, also insbesondere die Pumpe und den Generator, in modularer Weise aufnehmen kann. Hierbei ist die Verbindung der Druckbehälter mit der gemeinsamen Pumpe durch einen integralen Kanal im Inneren des Bodenkörpers gebildet, so dass die Druckbehälter über den Bodenkörper miteinander verbunden sind, so dass nach der Montage der Druckbehälter an dem Bodenkörper ein gemeinsamer Druckbehälterraum aus den verbundenen Druckbehältern über den Bodenkörper entsteht. Bevorzugt sind hierbei die Pumpe und der gemeinsame Generator in einer Pumpturbineneinheit angeordnet, und besonders bevorzugt ist die Pumpturbineneinheit auch modular von dem Bodenkörper abkoppelbar. Der hochmodulare Aufbau des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks mit einem Bodenkörper, einer abkoppelbaren Pumpturbineneinheit sowie abkoppelbaren Druckbehältern ermöglicht eine einfache Anpassung der Komponenten an die an die Stromspeicherung gestellten Anforderungen sowie eine Reduzierung der Kosten bei Installation und Wartung des Kraftwerks. Beispielsweise ist davon auszugehen, dass die Komponenten der Pumpturbineneinheit eine kürzere Haltbarkeit aufweisen als die Druckbehälter oder der Bodenkörper.

**[0043]** Der Bodenkörper weist vorzugsweise Füße zur stabilen und sicheren Auflage des Bodenkörpers auf dem Meeresgrund auf. Je nach gewählter Bauform des Bodenkörpers und der Zusammensetzung des Meeresbodens können 2, 3 oder mehr Füße vorteilhaft sein.

**[0044]** Werden die Druckbehälter und/oder der Bodenkörper mit den selbstdichtenden Anschlusskupplungen ausgerüstet, so ist es möglich, die Druckbehälter lösbar mit dem Bodenkörper und/oder unmittelbar mit weiteren Druckbehältern zu verbinden. Auch die Pumpturbineneinheit kann mit einer Anschlusskupplung ausgerüstet sein, so dass sie vom Bodenkörper abgekoppelt und zu Wartungszwecken getrennt an die Oberfläche geholt werden kann. Dies vereinfacht den modularen Aufbau und eine ggf.

vorgesehene Erweiterung oder Verkleinerung des Druckspeichervolumens.

**[0045]** Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks kann der Bodenkörper oder die Pumpturbineneinheit redundante Pumpen und Ventile und/oder eine Reinigungseinrichtung zur automatischen Reinigung der Wassereinlässe und Wasserauslässe umfassen.

**[0046]** Auch der Bodenkörper kann separate Hohlräume aufweisen, z. B. in der Umwandung, wobei Schüttgut als Beschwerungsmaterial in die Hohlräume eingefüllt werden kann.

**[0047]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der Druckbehälter einen im Normalbetrieb nicht zum Energiespeichern verwendeten zusätzlichen Wasserspeicherbereich auf, welcher leergepumpt werden kann, um die Masse des Speicherreservoirs derart zu verkleinern, dass es vom Meeresgrund an die Meeresoberfläche aufgeholt werden kann. Dieser zusätzliche Wasserspeicherbereich kann entweder dadurch geschaffen werden, dass die Hauptkavität im Normalbetrieb nicht vollständig leergepumpt wird, es können aber auch ein oder mehrere separate Hohlräume, ggf. in der Behälterwandung, hierfür vorhanden sein. Somit kann durch das Leerpumpen des zusätzlichen Wasserspeicherbereichs die Masse des Druckbehälter und/oder des Bodenkörpers soweit reduziert werden, dass der Druckbehälter von selbst auftaucht oder zumindest mit einem Seil aufgeholt werden kann. Der Druckbehälter, der das Wasser-Speichervolumen mit der niedrigeren potentiellen Energie bildet, ist demnach auf den Meeresgrund absenkbar und wieder zur Wasseroberfläche aufholbar. In vorteilhafter Weise können somit regelmäßig Wartungs- oder Reparaturarbeiten an der Oberfläche durchgeführt werden.

**[0048]** Zweckmäßig hat der Druckbehälter die Form eines Zylinders oder eines Polyeders. Der Druckbehälter kann jedoch auch in Form einer Kugel oder eines Torus aus einem in sich selbst geschlossenen Ring aus druckfesten Rohren, ggf. mit gewölbten Endflächen ausgebildet sein. Ein Torus hat den Vorteil, dass er auf dem Meeresgrund nicht wegrollen kann. Der integrierte Druckspeicherkomplex hat ebenfalls zweckmäßigerweise die Form eines Zylinders oder eines Polyeders. Bautechnisch, insbesondere zur Erlangung eines tiefen Schwerpunkts des Druckspeichersystems, oder zur Aussteifung von Verankerungspunkten, kann auch eine andere Form wie ein aufrecht stehendes Trapez für den integrierten Druckspeicherkomplex zweckmäßig sein. Besonders bevorzugt ist die Bauform so gewählt, dass ein Faserbeton und/oder ein Schleudergussverfahren zur Herstellung der Druckbehälter und/oder des integrierten Druckspeicherkomplexes angewendet werden kann.

**[0049]** Der Wassereinlass und Wasserauslass können getrennt oder kombiniert ausgebildet sein. In letzterem Fall sind Pumpe und Generator vorzugsweise als eine gemeinsame Pumpturbine ausgebildet. In diesem Fall genügt ggf. ein gemeinsames Ventil am kombinierten Wassereinlass und Wasserauslass, wodurch die Anzahl der Ventile reduziert wird, wobei nichtsdestotrotz eine Mehrzahl an Pumpturbinen vorhanden sein kann.

**[0050]** Mit dem erfindungsgemäßen Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk kann somit ein Stromversorgungsnetz geschaffen werden, welches Folgendes umfasst:

Eine Vielzahl von Primärenergiekraftwerken, die zeitlich schwankend elektrische Energie erzeugen, insbesondere Windkraft- und/oder Photovoltaikanlagen, ein oder mehrere erfindungsgemäße Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerke, eine Vielzahl von Verbrauchsstellen für elektrische Energie und

ein elektrisches Leitungsnetz, welches die Verbrauchsstellen, die Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerke und die Primärenergiekraftwerke miteinander verbindet, so dass die von den Primärenergiekraftwerken erzeugte elektrische Energie zu Zeiten eines Energieüberschusses aus den Kraftwerken von den Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerken reversibel zwischengespeichert und zu Zeiten hohen Bedarfs an elektrischer Energie zurückgewonnen und die zurückgewonnene elektrische Energie zu den Verbrauchsstellen geleitet werden kann.

**[0051]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert, wobei gleiche und ähnliche Elemente teilweise mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und die Merkmale der verschiedenen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

#### Kurzbeschreibung der Figuren

**[0052]** Es zeigen:

**[0053]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks mit Windkraftanlage und Verbraucher,

**[0054]** Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks mit mehreren Druckbehältern,

**[0055]** Fig. 3 eine Seitenansicht der mit Fig. 2 gezeigten Ausführungsform des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks

**[0056]** Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des integralen Druckspeicherkomplexes,

**[0057]** Fig. 5 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des integralen Druckspeicherkomplexes

**[0058]** Fig. 6 die Seitenansicht eines integralen Druckspeicherkomplexes mit Druckbehälterverbindung,

**[0059]** Fig. 7 eine Ausführungsform des Pumpspeicherkraftwerks mit mehreren integralen Druckspeicherkomplexen,

**[0060]** Fig. 8 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks mit einem Bodenkörper und einer Pumpturbineneinheit,

**[0061]** Fig. 9 eine schematische Darstellung des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks aus Fig. 8 mit angekoppelten Druckbehältern,

**[0062]** Fig. 10 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des integralen Druckspeicherkomplexes,

**[0063]** Fig. 11 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des integralen Druckspeicherkomplexes.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0064]** Bezug nehmend auf Fig. 1 wird zunächst als Überblick schematisch der grundsätzliche Aufbau der elektrischen Vernetzung des Pumpspeicherkraftwerks **6** gezeigt. Elektrische Energie wird symbolisch mittels eines bestimmten elektrischen Kraftwerks, in diesem Beispiel eines Windkraftwerks **2** erzeugt. Das Windkraftwerk **2** ist mit einer Stromleitung **4** mit dem Pumpspeicherkraftwerk **6** verbunden, um die elektrische Energie aus dem Primärkraftwerk zu dem Pumpspeicherkraftwerk **6** zu leiten. Das Pumpspeicherkraftwerk **6** liegt in einer Wassertiefe **T**, welche je nach den vorhandenen geographischen Gegebenheiten einige hundert bis einige tausend Meter betragen kann, auf dem Meeresgrund **8**. Das Pumpspeicherkraftwerk **6** ist ferner mit einer Stromleitung **12** mit einem Verbraucher **14** verbunden, um die elektrische Energie aus dem Pumpspeicherkraftwerk **6** zu dem Verbraucher zu leiten.

**[0065]** Es ist ersichtlich, dass das dargestellte Windkraftwerk **2** stellvertretend für eine Vielzahl von Windkraftwerken stehen kann und auch andere regenerative fluktuierende Kraftwerke wie Photovoltaik-Anlagen etc. zum Einsatz kommen können. Ferner steht der Verbraucher **14** stellvertretend für eine Viel-

zahl von Verbrauchern, die an den vorhandenen Teil des allgemeinen Stromversorgungsnetzes angeschlossen sind, in welches die zurückgewonnene elektrische Energie aus dem Pumpspeicherkraftwerk **6** eingespeist wird, wenn der Bedarf die von den Primärkraftwerken bereit gestellte Leistung übersteigt. Die eingezeichneten Stromleitungen **4** und **12** stehen stellvertretend für die Anbindung an das allgemeine Stromversorgungsnetz mit seiner Einbindung von Stromquellen und Stromsenken.

**[0066]** Das Pumpspeicherkraftwerk **6** ist im gezeigten Beispiel über ein Tau **52** mit einer Schwimmboje **54** verbunden, so dass das Pumpspeicherkraftwerk **6** bereits auf der Wasseroberfläche einfach aufgespürt und ggf. mit dem Tau **52** an die Oberfläche geholt werden kann.

**[0067]** Bezug nehmend auf [Fig. 2](#) sind in einer Aufsicht mehrere Druckbehälter **20** über Druckbehälterverbindungen **22**, welche in der gezeigten Ausführungsform sowohl Zu- als auch Abfluss des jeweiligen Druckbehälters **20** bilden, mit dem mittig angeordneten Sumpf **24** verbunden und bilden gemeinsam das Druckspeichersystem **30**. Die Druckbehälterverbindungen **22** können mit jeweils einem Absperrventil **26** geschlossen werden, so dass einzelne Druckbehälter **20**, beispielsweise für Wartungszwecke, abgetrennt und an die Oberfläche geholt werden können. Der Sumpf **24** ist direkt an der Pumpturbineneinheit **60** angeordnet. Im Speicherbetrieb wird mittels einer in der Pumpturbineneinheit **60** angeordneten Pumpe **16** (nicht dargestellt) Wasser aus den inneren Kavitäten **18** der Druckbehälter **20** in das umgebende Meer **1** gepumpt. Die Pumpe **16** saugt das Wasser aus dem Pumpensumpf **24** an und pumpt das Wasser durch einen Wasserauslass **35** (nicht dargestellt) direkt in das umgebende Meer **1**. Die inneren Kavitäten **18** der künstlichen Druckbehälter **20**, im gezeigten Beispiel sechs innere Kavitäten **18** von sechs Druckbehältern **20**, bilden demnach gemeinsam eines der beiden Wasserreservoirs des Pumpspeicherkraftwerks (und zwar dasjenige mit der niedrigeren potentiellen Energie). Dadurch, dass die Pumpe **16** das Wasser gegen den in der Wassertiefe  $T$  herrschenden hydrostatischen Druck  $P_T$  pumpen muss, wird eine große Menge an elektrischer Energie verbraucht und in potentielle Energie umgewandelt, wie durch die folgenden Beispiele verdeutlicht wird. Der Druckbehälter **20** speichert eine Energiemenge  $E$  in Kilowattstunden als Funktion des Volumens  $V$  des speicherbaren Wassers in Kubikmetern und der Wassertiefe  $T$  in Metern und bei einer Dichte des Wassers von  $1000 \text{ kg/m}^3$ :

$$E \text{ (kWh)} = V \text{ (m}^3\text{)} \times T \text{ (m)} \times 9,81/3600$$

**[0068]** In einem Beispiel mit einem Volumen  $V = 10.000 \text{ m}^3$ , einer Wassertiefe  $T = 2000 \text{ m}$  und einem Druckbehälter **20** in Kugelform und einem Kavitäts-

durchmesser von  $28 \text{ m}$  kann elektrische Energie  $E$  von etwa  $E = 58.000 \text{ kWh} = 58 \text{ MWh}$  gespeichert werden. Das bedeutet, dass eine Leistung von etwa  $10 \text{ Megawatt}$  über einen Zeitraum von  $6 \text{ Stunden}$  abgegeben werden kann. Bei einem täglichen Zyklus des Wiederaufladens des Pumpspeichers durch Wind- oder Photovoltaikstrom, d. h. tägliches Befüllen und Auspumpen des Speichervolumens  $V$  ergibt sich pro Jahr eine gespeicherte Energiemenge von etwa  $20.000 \text{ MWh}$ .

**[0069]** Es erscheint allerdings möglich, sogar noch größere Druckbehälter **20** zu bauen. Bei einem kugelförmigen Druckbehälter **20** mit einem Durchmesser von  $280 \text{ m}$  ergibt sich etwa ein Volumen  $V = 10.000.000 \text{ m}^3$ . Bei einer wiederum angenommenen Versenkentiefe  $T = 2.000 \text{ m}$  kann etwa eine Energiemenge  $E = 58.000 \text{ MWh}$  gespeichert werden. Dies entspricht einer Leistung von etwa  $5 \text{ Gigawatt}$  über eine Zeitdauer von etwa  $12 \text{ Stunden}$ . D. h. mit einer solchen Druck-Speicherkugel **20** könnte die Energiemenge, die etwa  $1000 \text{ Windkraftanlagen } 2$  einer Leistung von jeweils  $6 \text{ Megawatt}$  über einen Zeitraum von fast  $10 \text{ Stunden}$  erzeugen, gespeichert werden. Bei einem täglichen Zyklus des Wiederaufladens des Speichers durch Windenergie, d. h. tägliches Befüllen und Auspumpen des Speichervolumens ergibt sich pro Jahr eine gespeicherte Energiemenge von etwa  $20.000 \text{ GWh}$ .

**[0070]** [Fig. 3](#) zeigt die Ausführungsform der [Fig. 2](#) in einer Seitenansicht, wobei die zylindrische Form der Druckbehälter **20** sowie die zentrale Anordnung des Pumpturbinenelements **60** weiter verdeutlicht wird. Die Druckbehälter **20** sind in der gezeigten Ausführung mittels Druckbehälterverbindungen **22** an das zentrale Pumpturbinenelement **60** angeschlossen.

**[0071]** [Fig. 4](#) zeigt eine alternative Ausführungsform des Druckspeichersystems mit einem integrierten Druckspeicherkomplex **20a**. Eine Vielzahl innerer Druckbehälterelemente **19** bilden ein gemeinsames Druckspeichervolumen **20a** und sind an einem Ende des integrierten Druckspeicherkomplexes **20a** miteinander verbunden. Bei einer stehenden Aufstellung ist dieses Ende die Unterseite des integrierten Druckspeicherkomplexes, welche somit bereits den Sumpf **24** des Druckspeicherkomplexes bildet, an welchem das Wasser der Druckbehälterelemente **19** zusammenfließen kann. Die Druckbehälterelemente **19** werden aus Rohren gebildet, beispielsweise Stahlrohre oder Faserbetonrohre, die stehend nebeneinander angeordnet sind. Die Umwandlung **28** wird dann so um die Rohre vergossen, dass die Hohlräume und der nach außen zum Meerwasser **1** gerichtete Bereich verfüllt sind. Die Materialstärke der Rohre wird entweder derart gewählt, dass diese ausreicht, den Druck der außen anliegenden Wassersäule auszuhalten, so dass die Umwandlung **28** zu Zwecken der Statik die Rohre gegen Umfallen sichert

und zusätzlich das Bauwerk zur Versenkung auf den Meeresgrund **8** beschwert. Andernfalls kann die Materialstärke der Druckbehälterelemente **19** auch dünner gewählt sein, so dass die Umwandlung **28** des integrierten Druckspeicherkomplexes **20a** zugleich auch den Druck der außen anliegenden Wassersäule aushält.

[0072] Fig. 5 zeigt eine zur Fig. 4 ähnliche Ausführungsform des Druckbehälters **20** als integrierten Druckspeicherkomplex **20a**, wobei das von der Umwandlung **28** umschlossene Volumen durch die Auswahl verschiedener geeigneter Rohrdurchmesser der einzelnen inneren Druckbehälterelemente **19** optimal ausgenutzt ist. Ggf. sind die im Außenbereich des integrierten Druckspeicherkomplexes **20a** gezeigten kleineren Hohlräume auch dazu geeignet, mit einem Ballast beschwert bzw. gefüllt zu werden.

[0073] Fig. 6 zeigt eine Seitenansicht eines integrierten Druckspeicherkomplexes **20a** mit einer Vielzahl von Druckbehälterelementen **19** und einer die Druckbehälterelemente **19** umschließenden Umwandlung **28**. Der integrierte Druckspeicherkomplex **20a** weist an der Unterseite einen Sumpf **24** des Druckspeicherkomplexes auf und ist über eine Druckbehälterverbindung **22** mit einer zentralen Pumpturbineneinheit **60** (siehe Fig. 7) hydraulisch verbunden. Die Druckbehälterverbindung **22** ist somit auch Wassereinlass und Wasserauslass des integrierten Druckspeicherkomplexes **20a** und kann auch mit weiteren Druckbehältern **20** (nicht gezeigt) verbunden sein. In dieser Ausführungsform weist der integrierte Druckspeicherkomplex **20a** keine mechanisch bewegten Teile oder Komponenten der Leistungselektronik zur Stromerzeugung oder Stromvernichtung auf.

[0074] Fig. 7 zeigt eine schematische Aufsicht eines Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerks **6** mit einer zentralen Pumpturbineneinheit **60** und damit über Druckbehälterverbindungen **22** verbundene integrale Druckspeicherkomplexe **20a** mit jeweils einer Vielzahl an Druckbehälterelementen **19**. Die integralen Druckspeicherkomplexe **20a** weisen in dieser Ausführungsform keine beweglichen Teile auf, da sowohl die Pumpe **16** als auch die Turbine **36** und Absperrventile **26** an oder in der Pumpturbineneinheit **60** integriert sind. Die Absperrventile **26** können im Fehlerfall oder bei Wartungsbedarf die integralen Druckspeicherkomplexe **20a** von der zentralen Pumpturbineneinheit **60** trennen. Die Pumpturbineneinheit **60** bildet an der Pumpe **16** auch den hydrostatisch niedrigsten Punkt, den Sumpf **24**, zu dem der Schwerkraft folgend das Wasser selbständig fließt.

[0075] Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsform des modularen Pumpspeicherkraftwerks **6**, wobei ein Bodenkörper **40** die Basis zur Aufnahme von weiteren Komponenten des Pumpspeicherkraftwerks **6** und zu dessen Befestigung oder Verankerung am

Meeresgrund **8** bildet. Der Bodenkörper **40** weist in seinem Inneren Seitenkanäle **43** zur Verbindung der Druckspeicher **20** (siehe Fig. 9) mit einem Hauptkanal **42** auf, welcher wiederum in der gezeigten Ausführungsform sowohl mit der Turbine **16** als auch mit der Pumpe **36** verbunden ist. Somit bildet der Hauptkanal **42** sowohl den Zulauf von der Turbine **16** zu den Druckspeichern **20** als auch den Ablauf von den Druckspeichern **20** zu der Pumpe **16**, so dass nur ein Kanal und damit ggf. auch nur eine Öffnung in der Umwandlung jedes einzelnen Druckbehälters benötigt ist. Vorteilhaft ist in jedem Seitenkanal **43** ein Absperrventil **26** eingebaut, so dass die jeweils an den Anschlusskupplungen **23** der Seitenkanäle **43** montierten Druckbehälter **20** abgesperrt und beispielsweise für Wartungszwecke vom Bodenkörper **40** getrennt werden können. Auch ermöglichen die Absperrventile **26** in den Seitenkanälen **43** des Bodenkörpers **40**, ein universelles Bodenstück zu verwenden, bei welchem, falls nur ein geringeres Druckspeichervolumen benötigt wird, einzelne Anschlusskupplungen **23** ungenutzt bleiben, so dass die Bodenkörper in Großserie hergestellt und dennoch an den jeweiligen Einsatzbereich angepasst werden können.

[0076] Der Bodenkörper **40** weist an seiner Unterseite Füße **46** auf, die zur Fixierung des Bodenkörpers **40** auf dem Meeresboden **8** aufstehen oder in dem Meeresboden **8** versenkt sind, wenn der Bodenkörper **40** auf dem Meeresboden **8** aufliegt.

[0077] Fig. 9 zeigt eine Ausführungsform des Pumpspeicherkraftwerks **6** mit Bodenkörper **40**, Pumpturbineneinheit **60** und einer Vielzahl von an Anschlusskupplungen **23** des Bodenkörpers **40** montierten Druckbehältern **20**, welche ein gemeinsames, modulares Druckspeichervolumen bilden und von der gemeinsamen Pumpturbineneinheit **60** für Befüllung und Entnahme versorgt werden. Je nach Anforderungen und beispielsweise dem Wirkungsgrad von auszuwählenden Komponenten der Pumpe **16** und Turbine **36** können auch mehrere Pumpturbineneinheiten **60** auf einem Bodenkörper **40** montiert werden, um die Effizienz und die Leistungsabgabe zu erhöhen.

[0078] Zum Wiedergewinnen der in den leergepumpten Druckbehältern **20** des Pumpspeicherkraftwerks **6** gespeicherten Energie sind ein Zu-/Ablaufventil **32** sowie die Absperrventile **26** der Seitenkanäle **43** geöffnet und das Wasser strömt durch einen Wassereinlass **34** aus dem umgebenden Meer mit dem der Wassertiefe  $T$  entsprechenden hydrostatischen Druck  $P_T$  durch die Turbine **36** in die inneren Kavitäten **18** der Druckbehälter **20** und somit in das gemeinsame Pumpspeichervolumen, wobei die beim Auspumpen gespeicherte Energie abzüglich der üblichen Leistungsverluste wieder gewonnen werden kann. Die wieder gewonnene elektrische Energie wird durch die Stromleitung **12** in das allgemei-

ne Stromversorgungsnetz eingespeist. Um die Leistung zu erhöhen, können mehrere Wassereinlässe **34** mit Ventilen **32** und Turbinen **36** vorhanden sein. Um Schwingungen der Druckbehälter aufgrund des großen Wasserflusses zu vermeiden, können die inneren Kavitäten **18** mit Streben bzw. einem Tragwerk durchsetzt sein (nicht dargestellt). Die Querstreben können dabei eine Doppelfunktion erfüllen, nämlich einerseits den Druckbehälter **20** zu stabilisieren und andererseits Turbulenzen in dem durch den Generator **36** in die innere Kavität **18** einströmenden Wasser zu erzeugen, um Resonanzschwingungen im Druckbehälter **20** zu verhindern.

**[0079]** Der Druckbehälter **20** besteht aus einer rohrförmigen Betonwandung **28** mit einer Anschlusskupplung **23** an der Unterseite und ggf. einer weiteren Anschlusskupplung **23** an der Oberseite, so dass die Druckbehälter **20** mit dem Bodenkörper **40** und weitere Druckbehälter **21** an den Druckbehältern **20** gekoppelt werden können. Die Wandstärke der Druckbehälter **20** und des Bodenkörpers **40** wird in Abhängigkeit der Wassertiefe  $T$  gewählt, in welche das Pumpspeicherkraftwerk **6** versenkt wird und in Abhängigkeit der notwendigen Masse, damit es noch versenkt werden kann. Die Turbinen **36** und die Pumpen **16** sind unmittelbar an dem Bodenkörper **40** angeordnet, z. B. unmittelbar an dem Hauptkanal **42** oder auf einem Ausleger **44** des Bodenkörpers **40**. In der gezeigten Ausführungsform sind Pumpe **16**, Turbine **36** sowie Wasserein- und Auslassöffnung **34**, **26** in einer Pumpturbineneinheit **60** integriert angeordnet. Zum Speichern und Wiedergewinnen der elektrischen Energie wird das Wasser lediglich über eine kurze Distanz, nämlich lediglich durch die Ein- bzw. Auslassöffnung **34**, **26** geleitet. Das Pumpspeicherkraftwerk **6** benötigt demnach lediglich elektrische Leitungen **4**, **12** von der Meeresoberfläche auf den Meeresgrund **8**, nicht jedoch Rohre oder Leitungen zum Transport von Wasser. Ggf. kann sogar eine elektrische Leitung als Stromzuleitung und -ableitung genügen. Weiter vorteilhaft ist, dass die Druckdifferenz aufgrund der großen Wassertiefe nicht stark vom Füllstand innerhalb des Druckbehälters **20** abhängig ist, so dass die bereit stehende Leistung unabhängig vom Füllstand im Wesentlichen konstant ist.

**[0080]** Der Bodenkörper **40** weist in seiner Wandung **28** Hohlräume **38** auf, welche mit Schüttgut, z. B. Sand gefüllt sind, um die Masse des Pumpspeicherkraftwerks **6** auszutarieren. Das Pumpspeicherkraftwerk **6**, bzw. dessen Komponenten Bodenkörper **40** und Druckbehälter **20**, wird vorzugsweise zunächst so austariert, dass es gerade noch schwimmt, wenn es vollständig leergepumpt ist, so kann es mit einem Schiff an die Stelle transportiert werden, an der es versenkt werden soll. Anschließend wird an der Versenkstelle des Bodenkörpers **40** und/oder der Druckbehälter **20** mit Ballastwasser soweit beschwert, dass

das Pumpspeicherkraftwerk **6** versinkt. Es kann beispielsweise zunächst der Bodenkörper **40** versenkt werden und die Druckbehälter **20** werden am Meeresboden **8** an den Bodenkörper **40** montiert oder die Druckbehälter **20** werden bereits an der Wasseroberfläche an den Anschlusskupplungen **23** des Bodenkörpers **40** angebracht und anschließend das gesamte Pumpspeicherkraftwerk **6** versenkt. Die als Ballastwasser verwendete Wassermenge dient lediglich der Beschwerung und wird im Normalbetrieb, d. h. beim Speichern und Wiedergewinnen der elektrischen Energie, nicht herausgepumpt, damit das Pumpspeicherkraftwerk **6** im Normalbetrieb immer eine größere Masse als das verdrängte Wasser besitzt und somit auf dem Meeresgrund **8** liegen bleibt. Das Ballastwasser kann aber auch in die separaten Hohlräume **38** gefüllt werden. Z. B. für Wartungsarbeiten kann das zusätzliche, im Normalbetrieb nicht zum Energiespeichern vorgesehene Ballastwasser aber herausgepumpt werden, so dass das Pumpspeicherkraftwerk **6** wieder auftaucht oder zumindest so leicht wird, dass es z. B. mit dem Seil **52**, welches an der Meeresoberfläche mit einer Schwimmboje **54** markiert ist (siehe [Fig. 1](#)), aufgeholt werden kann.

**[0081]** Wegen des immens großen Gewichtes des Bodenkörpers **40** sowie der Druckbehälter **20** bietet es sich an, diese schwimmend im Wasser zu bauen, z. B. in schwimmendem Zustand abschnittsweise sukzessive aus Stahlbeton zu gießen. Dabei sollte der unfertige Druckbehälter während der Herstellung soweit aus dem Wasser ragen, dass auch bei einem Sturm ein Volllaufen seines Innenhohlraums **18** nicht möglich ist. Die Dicke der Wandung **28** des Druckbehälters **20** muss einmal den extrem großen hydrostatischen Wasserdruck aushalten und zudem dem Druckbehälter **20** ein so hohes Eigengewicht geben, dass das Pumpspeicherkraftwerk **6** mit zumindest nahezu leerem Innenhohlraum **18** auf den Meeresboden **8** absinkt. Als Wandmaterial kommt z. B. Stahlbeton in Frage. Die Statik wird so ausgeführt, dass der Druckbehälter **20** ohne Beschädigung höhere Drücke aushalten kann, als auf dem Meeresgrund **8** vorhanden sind. In den Bodenkörper **40** werden alle System-relevanten Komponenten wie Ventile **26**, **32**, Turbinen **36**, Pumpen **16**, Kanäle **42**, **43** und/oder elektrische Leitungen usw. integriert, und die Druckbehälter **20** werden mit Anschlusskupplungen **23** versehen, so dass sie später ihre Funktion auf viele Jahrzehnte erfüllen können. Die Kontroll- und Steuerelektronik ist ebenfalls unmittelbar an dem Bodenkörper **40** angeordnet und wird mit versenkt.

**[0082]** [Fig. 10](#) zeigt eine Seitenansicht eines integrierten Druckspeicherkomplexes mit mehreren inneren Druckbehälterelemente **19**, wie es mit [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) vorgestellt wurde. Die Druckbehälterelemente **19** sind über einen Bodenkörper **40** miteinander hydraulisch verbunden und bilden ein gemeinsames Druckspeichervolumen. Zum Abschluss und zum Ab-

dichten des Druckspeicherkomplexes hin zum umgebenden Meerwasser **1** ist ein Deckel **46** an der Oberseite angebracht. Im Deckel oder im Bodenkörper **40** ist eine Pumpturbineneinheit **60** angeordnet, so dass nicht für jedes der Druckbehälterelemente **19** getrennt eine Pumpe und/oder eine Turbine einzusetzen ist, sondern sich in vorteilhafter Weise die Druckbehälterelemente **19** die gemeinsame Infrastruktur an Pumpe(n) **16**, Turbine(n) **36** und der elektrischen Stromversorgung teilen. Der integrierte Druckspeicherkomplex mit einer Vielzahl an Druckbehälterelementen **19** ist somit ein eigenständiges Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk **6**.

[0083] Bezug nehmend auf Fig. 11 ist ein Stromversorgungsnetz **48** mit einer Mehrzahl von miteinander vernetzten Verbrauchern **14** und einer Mehrzahl von miteinander vernetzten Windkraftanlagen **2** sowie Photovoltaikanlagen **3** dargestellt, welche die Primärkraftwerke bilden. Die von den Primärkraftwerken **2, 3** erzeugte elektrische Primärenergie wird mittels einer Vielzahl von Pumpspeicherkraftwerken **6** gemäß Fig. 2 bis Fig. 4 zwischengespeichert. Die vielen Pumpspeicherkraftwerke **6** sind auf dem Meeresgrund **8** lediglich mittels elektrischer Unterwasserleitungen **50** vernetzt und liefern bei Bedarf die zurückgewonnene elektrische Energie über den vorhandenen Teil des Stromversorgungsnetzes **48** an die Verbraucher **14**.

[0084] Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft zu verstehen sind, und die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann, ohne die Erfindung zu verlassen. Ferner ist ersichtlich, dass die Merkmale unabhängig davon, ob sie in der Beschreibung, den Ansprüchen, den Figuren oder anderweitig offenbart sind auch einzeln wesentliche Bestandteile der Erfindung definieren, selbst wenn sie zusammen mit anderen Merkmalen gemeinsam beschrieben sind.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Umgebendes Meer
<b>2</b>	Windkraftwerk
<b>3</b>	Photovoltaikanlage
<b>4</b>	Stromleitung
<b>6</b>	Pumpspeicherkraftwerk
<b>8</b>	Meeresgrund
<b>12</b>	Stromleitung
<b>14</b>	Verbraucher
<b>16</b>	Pumpe
<b>18</b>	Innere Kavität
<b>19</b>	Inneres Druckbehälterelement
<b>20</b>	Druckbehälter
<b>20a</b>	Integrierter Druckspeicherkomplex
<b>21</b>	Weiterer Druckbehälter
<b>22</b>	Druckbehälterverbindung
<b>23</b>	Anschlusskupplung

<b>24</b>	Sumpf
<b>26</b>	Absperrventil
<b>28</b>	Umwandlung
<b>30</b>	Druckspeichersystem
<b>32</b>	Zu-/Ablaufventil
<b>34</b>	Wassereinlass
<b>35</b>	Wasserauslass
<b>36</b>	Turbine
<b>40</b>	Bodenkörper
<b>42</b>	Hauptkanal
<b>43</b>	Seitenkanal
<b>44</b>	Ausleger
<b>46</b>	Deckel
<b>48</b>	Stromversorgungsnetz
<b>50</b>	elektrische Unterwasserleitungen
<b>52</b>	Tau
<b>54</b>	Schwimmboje
<b>60</b>	Pumpturbineneinheit

**ZITATE ENHALTEN 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**

- DE 102011013329 [0011]
- WO 2011/112561 [0012]

## Patentansprüche

1. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) zum temporären reversiblen Zwischenspeichern von elektrischer Energie aus anderen Kraftwerken, insbesondere Windkraftanlagen (2) und/oder Photovoltaikanlagen (3), umfassend

ein modular aufgebautes Druckspeichersystem mit zumindest zwei mit Wasser befüllbaren Druckbehältern (20), welche ein gemeinsames Druckspeichervolumen bilden,

einen Wasserauslass (35) zum Ausströmenlassen von Wasser aus dem Druckspeichersystem unmittelbar in das umgebende Meer (1) gegen den der Wassertiefe (T) entsprechenden hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ),

eine an dem Wasserauslass (35) angeordnete Pumpe (16) zum Herauspumpen von Wasser aus dem Druckspeichersystem in das umgebende Meer, wobei die Pumpe (16) beim Herauspumpen des Wassers gegen den hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) des umgebenden Meeres (1) elektrische Energie in entsprechende potentielle Energie der verdrängten Wassersäule umwandelt,

einen Wassereinlass (34) zum Einströmenlassen von Wasser unmittelbar aus dem umgebenden Meer (1) mit dem der Wassertiefe entsprechenden hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) in das Druckspeichersystem,

einen an dem Wassereinlass (34) angeordneten gemeinsamen Generator (36), wobei der gemeinsame Generator (36) beim Einströmen des Wassers mit dem hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) in der Wassertiefe (T) die potentielle Energie der vorher verdrängten Wassersäule wieder in elektrische Energie umwandelt,

elektrische Leitungen (12) zum Transport der elektrischen Energie von der Meeresoberfläche zu dem Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) und zurück, wobei die Druckbehälter (20) derart druckfest sind, dass diese formstabil gegen den hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) am Meeresgrund (8) mittels der Pumpe (16) leergepumpt werden können.

2. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach vorstehendem Anspruch, wobei die Druckbehälter über einen Sumpf (24) miteinander verbunden sind und wobei der Wasserauslass (35) an dem Sumpf angeordnet ist.

3. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach vorstehendem Anspruch, wobei die Verbindung der Druckbehälter (20) mit dem Sumpf (24) zumindest ein Absperrventil (26) zum Trennen zumindest eines der Druckbehälter (20) vom Druckspeichersystem aufweist.

4. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner umfassend zumindest eine von dem Druckspeichersystem ab-

koppelbare Pumpturbineneinheit (60), die zumindest den Wassereinlass (34), den Wasserauslass (35), die gemeinsame Pumpe (16) und den Generator (36) sowie die Elektroinstallation beherbergt, so dass die Pumpturbineneinheit (60) einzeln zu Wartungszwecken an die Meeresoberfläche gebracht werden kann.

5. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Pumpe (16) eine gemeinsame Pumpe ist, wobei die gemeinsame Pumpe und der gemeinsame Generator (36) eine umkehrbare Pumpturbine bilden und

wobei die Pumpturbine an einem kombinierten Wassereinlass und Wasserauslass (34, 35) angeordnet ist.

6. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das gemeinsame Druckspeichervolumen eine Mehrzahl von aneinandergereihten und miteinander verbundenen zylinderförmigen Druckbehältern (20) umfasst.

7. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach vorstehendem Anspruch, wobei die Druckbehälter (20) Rohrstücke sind und wobei die Wandstärke der Rohrstücke ausreichend groß ist, dass die Rohrstücke dem Wasserdruck am Meeresgrund (8) standhalten.

8. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Druckbehälter (20) innere Druckbehälterelemente (19) sind und wobei aus jeweils eng benachbarten Druckbehälterelementen (19) in Form von Rohren ein integrierter Druckspeicherkomplex (20a) gebildet wird und die zwischen den Rohren gebildeten Hohlräume zur Stabilisierung des integrierten Druckspeicherkomplexes und zur Beschwerung des Druckspeichersystems mit einer Füllmasse verfüllt werden.

9. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner umfassend einen Bodenkörper (40) zur Aufnahme der Druckbehälter (20), der Pumpe (16) und der Turbine (36), wobei der Bodenkörper (40) die aufgenommenen Druckbehälter (20) mit der Pumpe (16) durch einen integralen Hauptkanal (42) im Inneren des Bodenkörpers (40) verbindet, so dass die Druckbehälter (20) über den Bodenkörper (40) miteinander verbunden sind und die Druckbehälter (20) ein über den Bodenkörper verbundenes gemeinsames Druckspeichervolumen bilden.

10. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach vorstehendem Anspruch, wobei der Bodenkörper (40) Füße (46) zur stabilen und sicheren Auflage des Bodenkörpers auf dem Meeresboden aufweist (8).

11. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Druckbehälter (20) und/oder der Bodenkörper (40) selbstdichtende Anschlusskupplungen (23) zum lösbaren Verbinden der Druckbehälter (20) mit dem Bodenkörper (40) und/oder unmittelbar mit weiteren Druckbehältern (21) aufweist.

12. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der Ansprüche 4 bis 11, wobei der Bodenkörper (40) oder die abkoppelbare Pumpturbineneinheit (60) redundante Pumpen und Ventile und/oder eine Reinigungseinrichtung zur automatischen Reinigung der Wassereinlässe und Wasserauslässe (34, 35) umfasst.

13. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Druckbehälter (20) und/oder der Bodenkörper (40) Hohlräume (38) zum Befüllen mit Beschwerungsmaterial aufweisen.

14. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Druckbehälter (20) und/oder der Bodenkörper (40) zur weiteren Aussteifung ein inneres Tragwerk aufweisen.

15. Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Druckbehälter (20) und/oder der Bodenkörper (40) im entleerten Zustand leichter als Wasser sind und somit auf der Meeresoberfläche schwimmen können, so dass diese Komponenten schwimmend zum Montageort gebracht und dort versenkt werden können und zu Wartungszwecken an die Wasseroberfläche zurückgeholt werden können.

16. Stromversorgungsnetz umfassend:  
eine Vielzahl von Primärenergiekraftwerken, welche zeitlich schwankend elektrische Energie erzeugen, insbesondere Windkraftanlagen (2) und/oder Photovoltaikanlagen (3),  
zumindest ein Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
eine Vielzahl von Verbrauchern (14) elektrischer Energie,  
ein elektrisches Leitungsnetz (12, 50), welches die Verbraucher, das zumindest eine Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk und die Primärenergiekraftwerke miteinander verbindet, so dass die von den Primärenergiekraftwerken erzeugte elektrische Energie zu Zeiten eines Energieüberschusses aus den Primärenergiekraftwerken von dem zumindest einen Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk reversibel zwischengespeichert und zu Zeiten hohen Bedarfs an elektrischer Energie zurückgewonnen und die zurückgewonnene elektrische Energie zu den Verbrauchern geleitet werden kann.

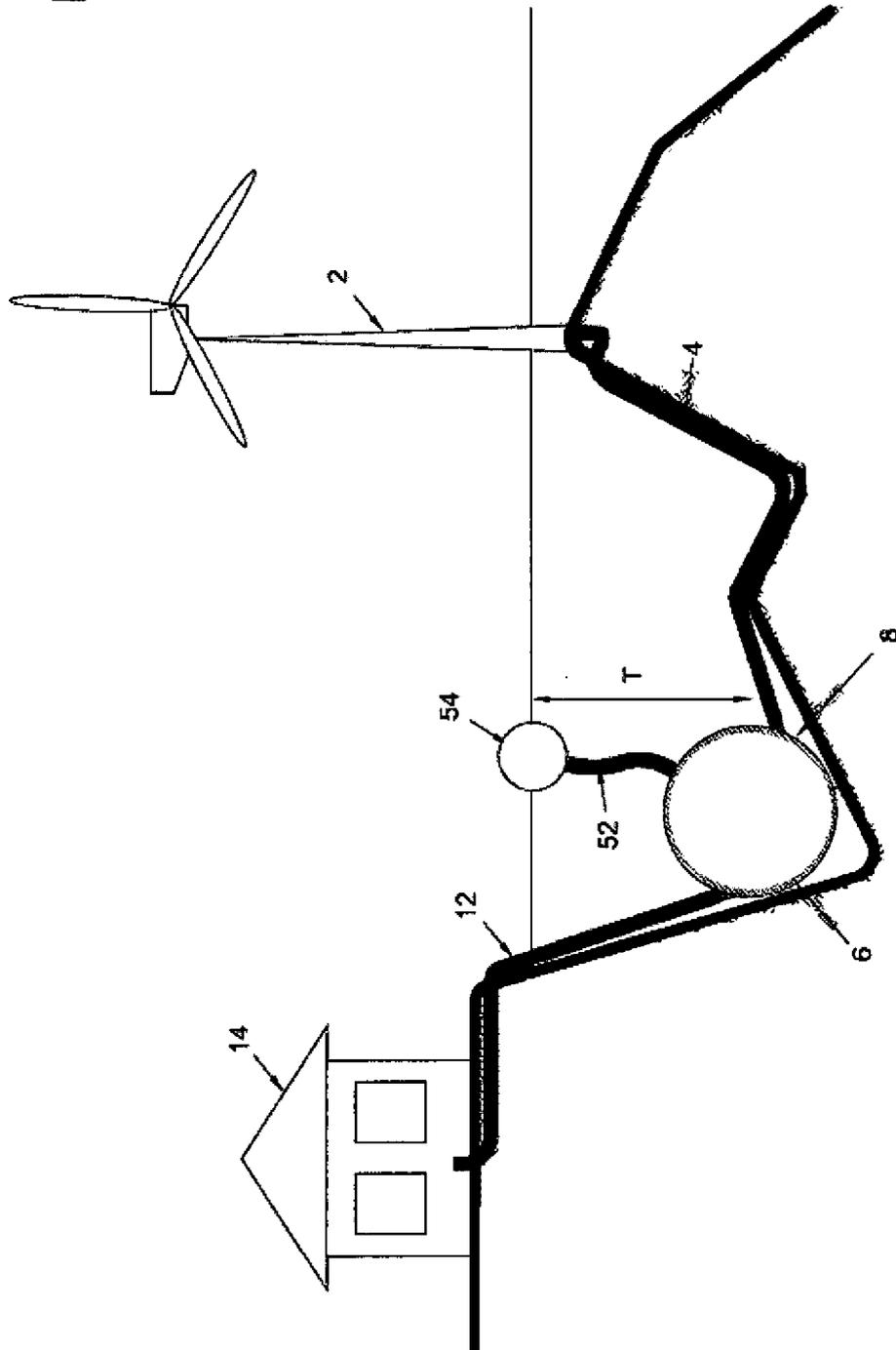
17. Verfahren zum temporären reversiblen Zwischenspeichern von elektrischer Energie aus Primärenergiekraftwerken, insbesondere aus Windkraftanlagen (2) und/oder Photovoltaikanlagen (3), mit einem Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) mit zumindest zwei künstlichen mit Wasser befüllbaren und auf den Meeresgrund versenkten Druckbehältern (20), wobei die Druckbehälter (20) derart druckfest sind, dass sie formstabil gegen den hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) am Meeresgrund (8) leergepumpt werden können,  
wobei zum Speichern der elektrischen Energie Wasser aus dem Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) unmittelbar in das umgebende Meer mit dem der Wassertiefe entsprechenden hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) herausgepumpt wird, wobei elektrische Energie in die der Wassersäule in der Wassertiefe (T) entsprechende potentielle Energie umgewandelt wird,  
wobei zum wiedergewinnen der elektrischen Energie Wasser unmittelbar aus dem umgebenden Meer mit dem der Wassertiefe (T) entsprechenden hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) in das Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) einströmt, die dem hydrostatischen Wasserdruck ( $P_T$ ) der Wassersäule in der Wassertiefe entsprechende potentielle Energie mittels eines Generators (36) in elektrische Energie umgewandelt wird,  
wobei die elektrische Energie mittels elektrischer Leitungen (12) von der Meeresoberfläche zum temporären reversiblen Zwischenspeichern zu dem Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk hinuntergeleitet und zum Verbrauch von dem Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk wieder zur Meeresoberfläche zurückgeleitet wird

18. Verfahren nach vorstehendem Anspruch, wobei das Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) zunächst so austariert wird, dass seine Masse geringer ist, als die Masse des verdrängten Wassers, so dass das Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk (6) zunächst schwimmt und die Masse des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk durch Einfüllen von Schüttgut und/oder Ballastwasser in den Bodenkörper (40) und/oder die Druckbehälter (20) am Versenkungsort so weit vergrößert wird, dass die Masse des Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk größer wird als die Masse des verdrängten Wassers und das Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk versinkt und am Meeresgrund (8) zu liegen kommt.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1



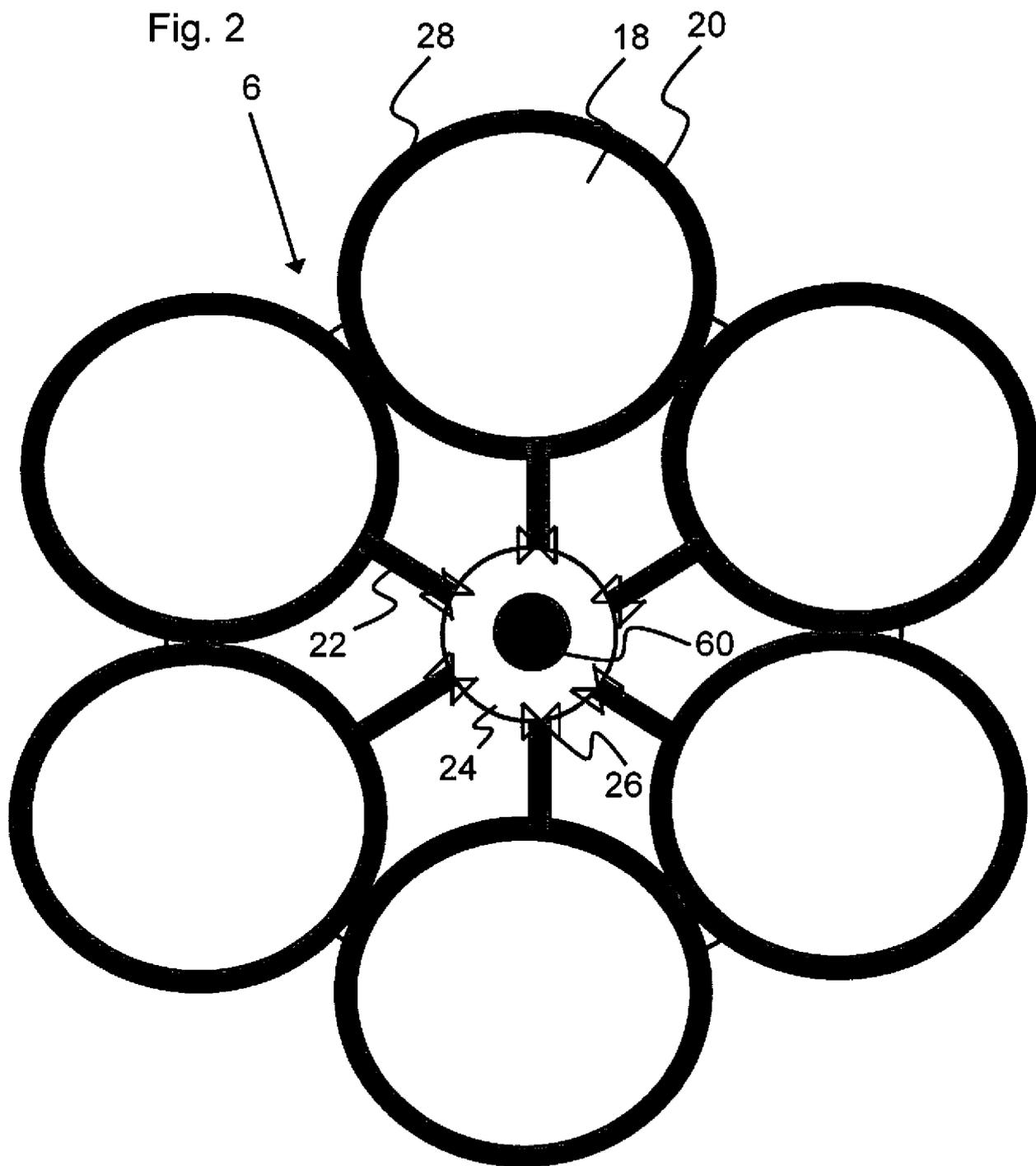


Fig. 3

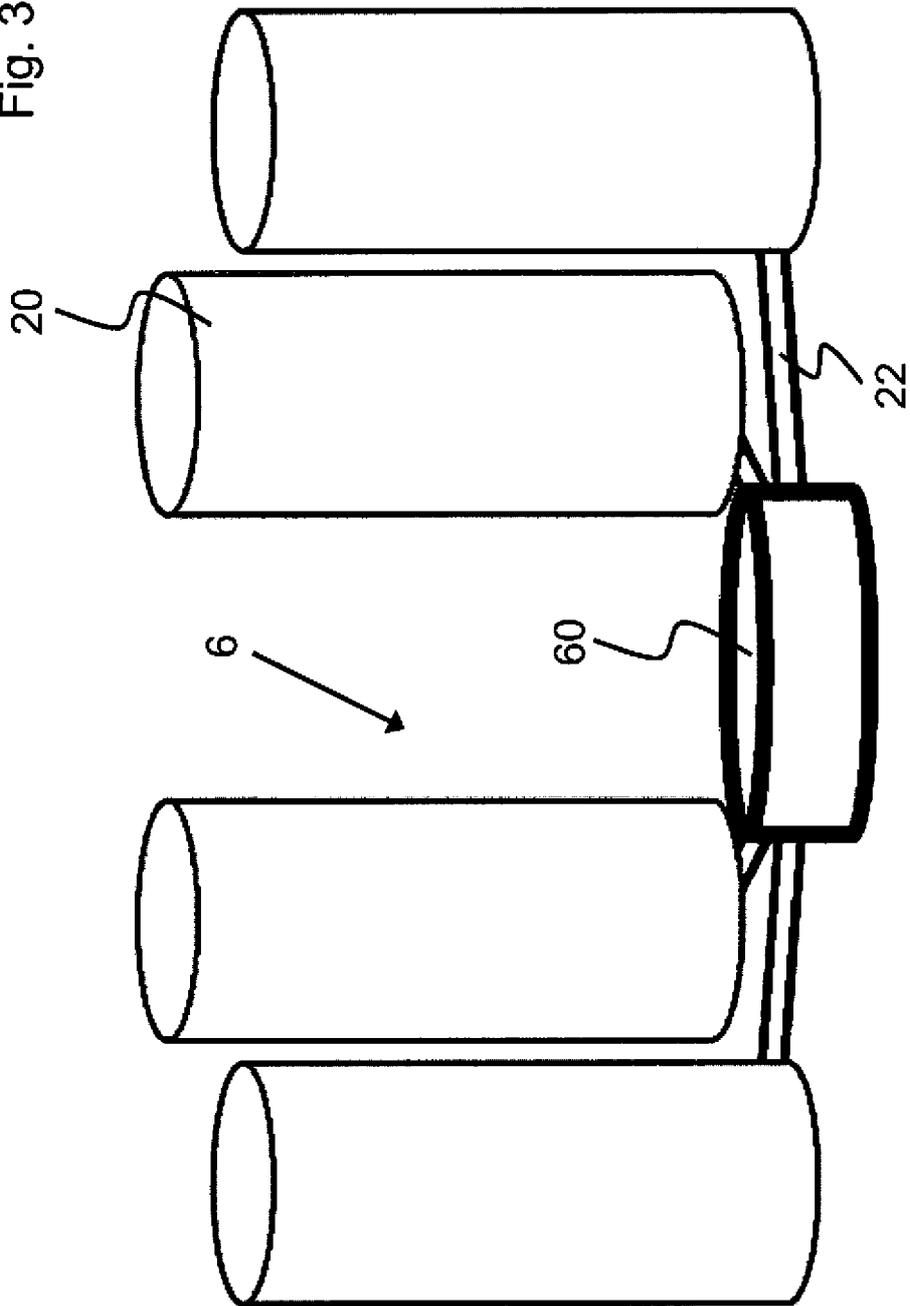


Fig. 4

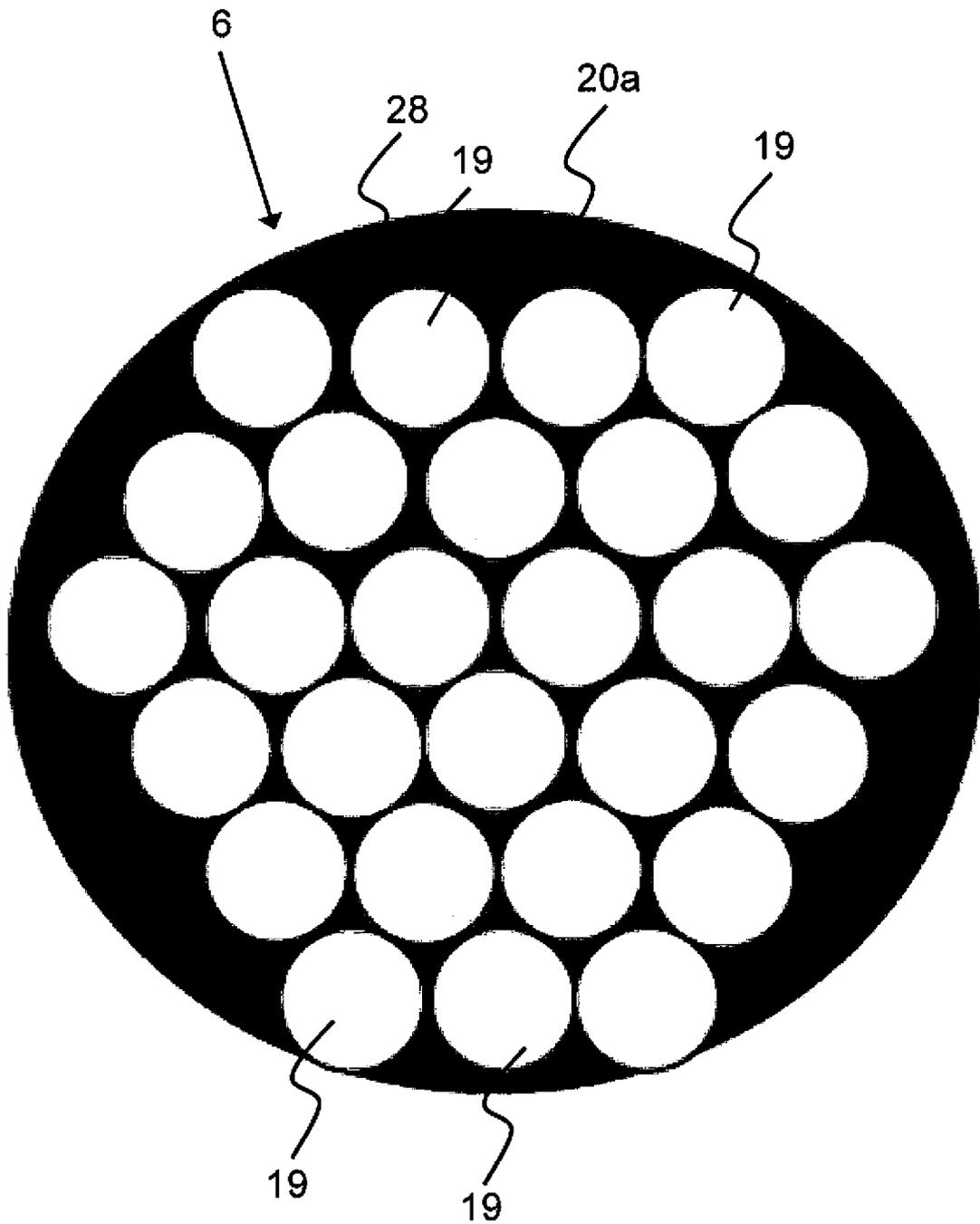


Fig. 5

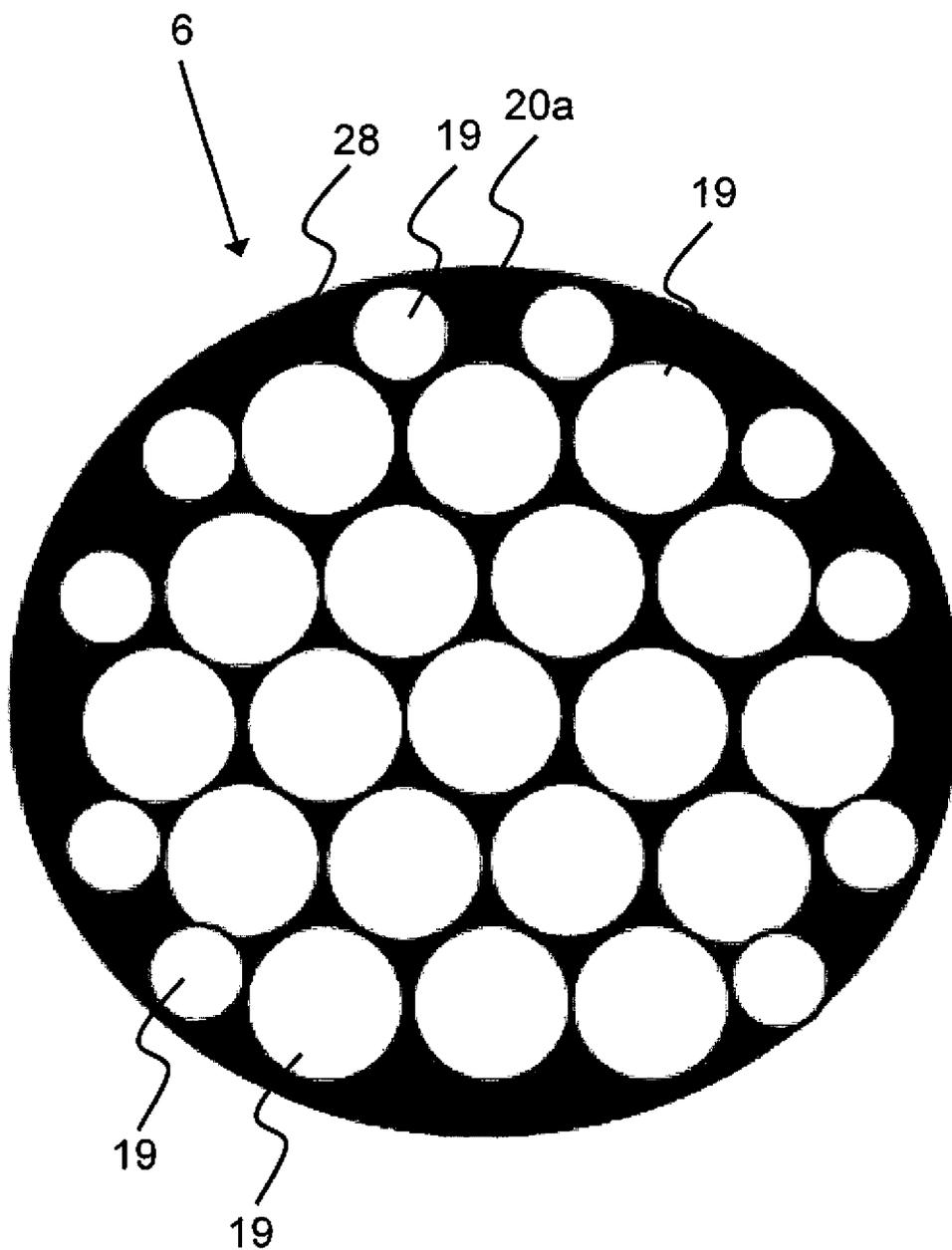
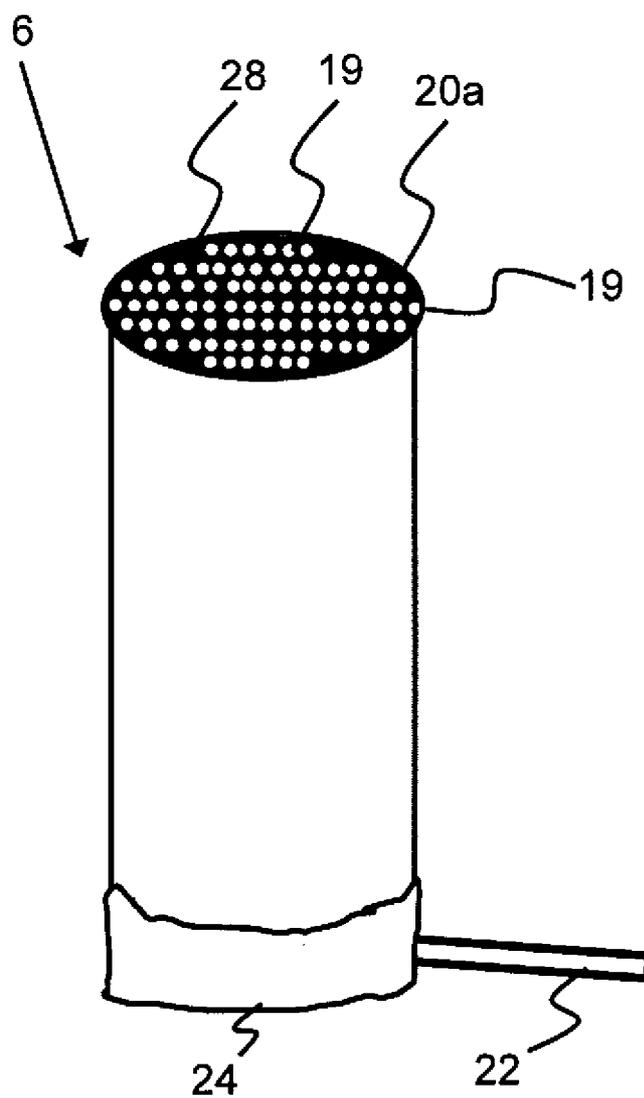


Fig. 6



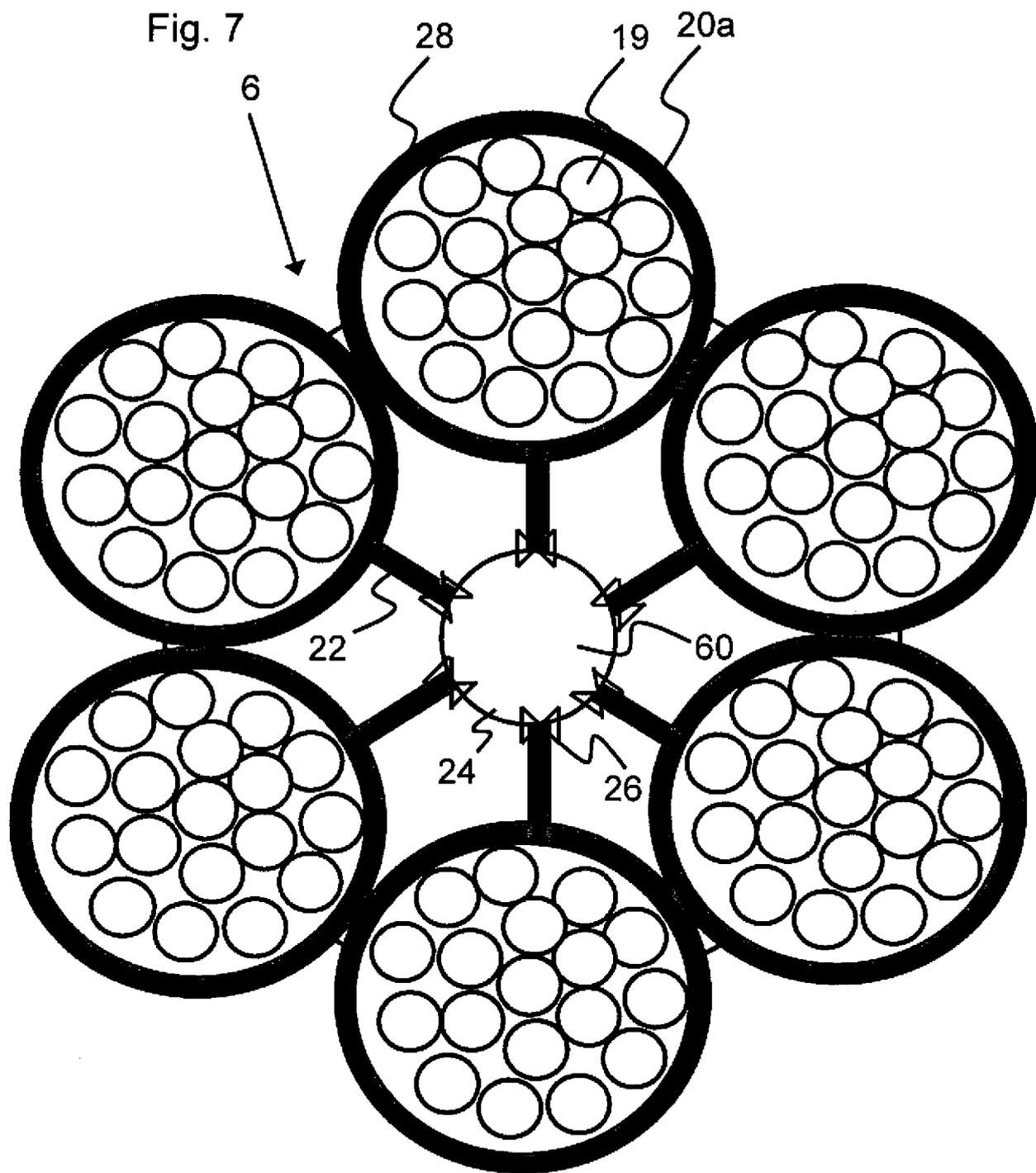
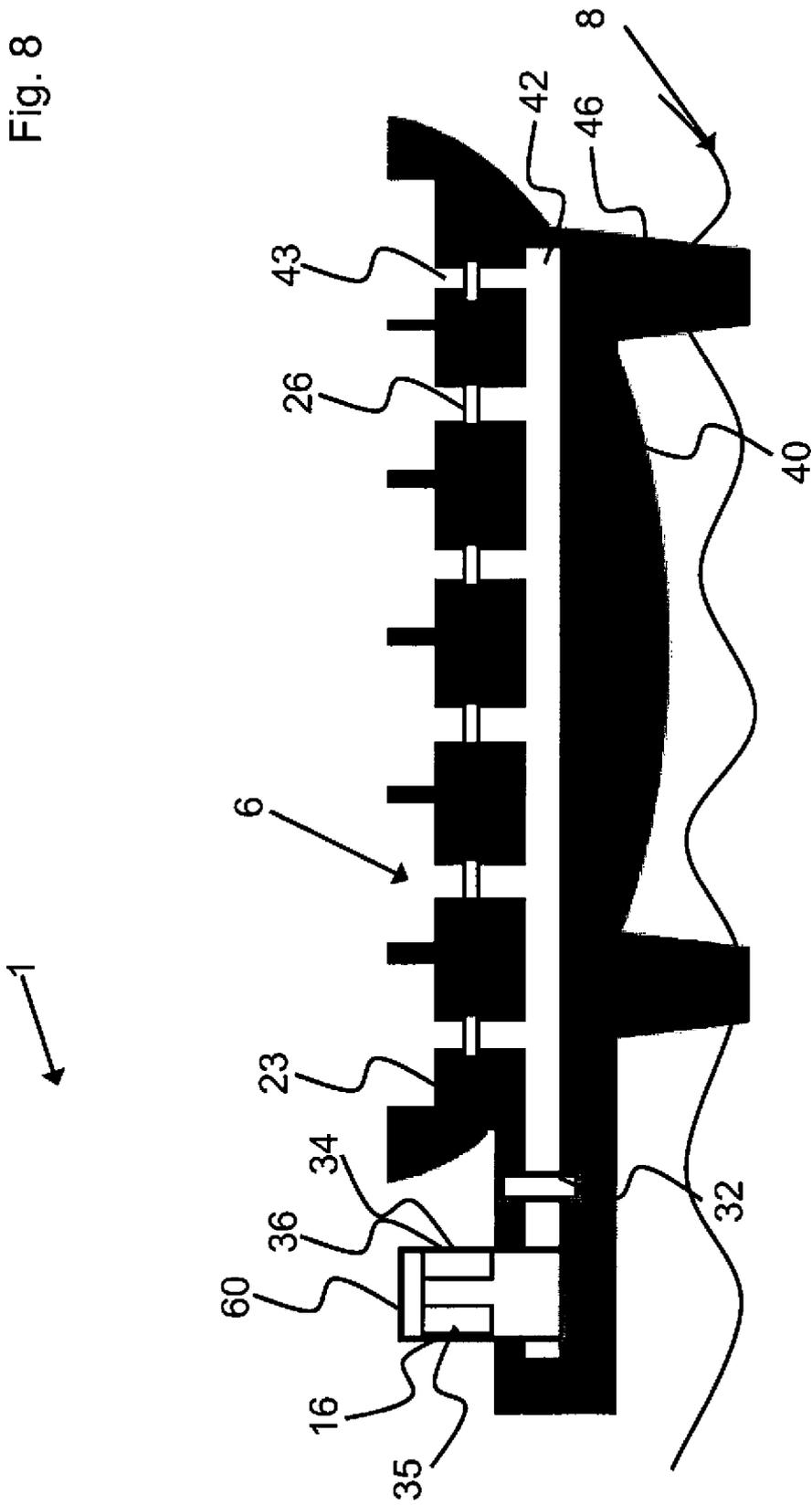


Fig. 8



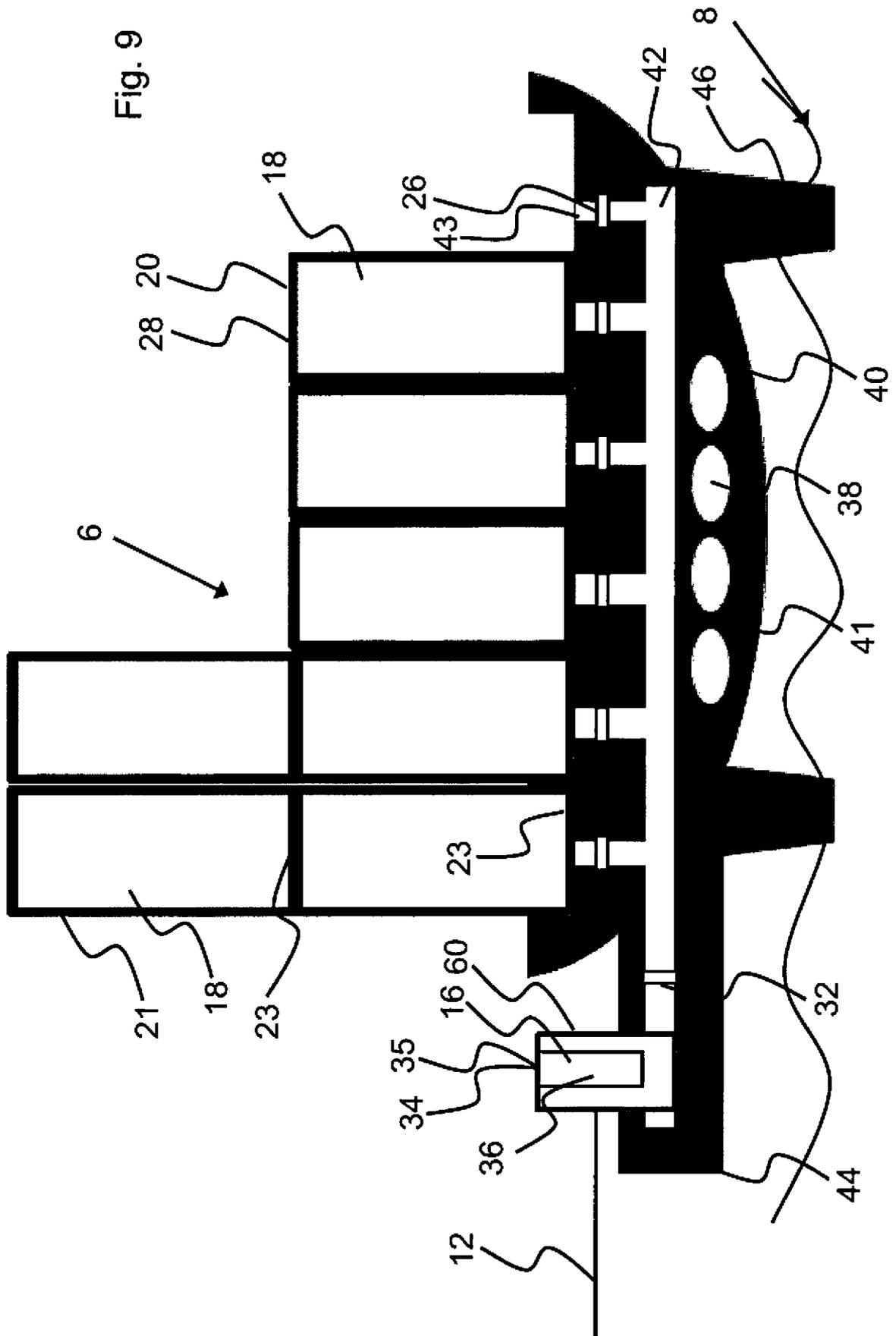


Fig. 10

