



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 697 32 137 T2 2005.12.15

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 946 387 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 32 137.1

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US97/17484

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 945 342.0

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 98/014362

(86) PCT-Anmeldetag: 26.09.1997

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 09.04.1998

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 06.10.1999

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 29.12.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 15.12.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B63B 25/00

D06Q 1/12

(30) Unionspriorität:

724364 01.10.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,  
LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Williams Power Company, Inc., Tulsa, Okla., US

(72) Erfinder:

STENNING, G., David, Calgary, CA; CRAN, A.,  
James, Calgary, CA

(74) Vertreter:

BEETZ & PARTNER Patentanwälte, 80538  
München

(54) Bezeichnung: SCHIFFSGASTTRANSPORT

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Transportieren und Speichern von Fluiden, und insbesondere bezieht sich diese Erfindung auf den Transport und das Speichern von komprimierten Gasen, wie zum Beispiel Erdgas.

**Hintergrund der Erfindung**

**[0002]** Dieses ist eine continuation-in-part-Anmeldung der US-Patentanmeldung 08/550080 vom 30. Oktober 1995.

**[0003]** In der Stammanmeldung ist ein Gastransportsystem für Schiffe offenbart, bei dem mehrere Zylinder in Zellen mit 3 bis 30 Zylindern pro Zelle unterteilt sind. Es wird ein Verteiler- und Ventilsystem beschrieben, mit dem die Zylinder mit Beladungs- und Entladungsterminals an Land verbunden werden.

**[0004]** Der Aufwand an Einrichtungen und die Komplexität der Verbindungen des Verteiler- und Ventilsystems bei dem Gastransportsystem für Schiffe untereinander steht in direktem Zusammenhang mit der Anzahl der einzelnen Zylinder, die sich an Bord des Transportschiffes befinden. Dementsprechend ist bei großen Schiffen ein erheblicher Aufwand im Zusammenhang mit dem Verteiler und den Ventilen für die Verbindung der Gaszyliner notwendig. Daraus ist ein Bedarf an Speichersystemen für komprimiertes Gas entstanden, die sowohl größere Mengen an komprimiertem Gas aufnehmen können, als auch zu einer Vereinfachung des Systems aus komplexen Verteilern und Ventilen beitragen.

**[0005]** In GB-A-2204390 als nächstem Stand der Technik wird eine Gasspeicherflasche in Form einer spiralförmigen Spule mit dickwandigen Röhren in mehreren Schichten um einen Spulenkerne oder einen Kern beschrieben. Die Spule hat einen Gaseinlass zum Beschicken und einen Gasauslass und kann in separate Abschnitte unterteilt werden, die jeweils über ein Ventil ohne Rückflussrichtung mit einem gemeinsamen Einlass zum Beschicken kommunizieren. DE 23 05 840 betrifft einen Gastransporter.

**Zusammenfassung der Erfindung**

**[0006]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Gasspeichervorrichtung für komprimiertes Gas geschaffen mit:  
einem Behälter mit Decken-, Boden- und Seitenwandteilen,  
einer durchgehenden Röhre, die in dem Behälter in mehreren Lagen aufgewickelt ist, wobei jede der mehreren Lagen mehrere Windungen der Röhre um-

fasst,

wobei die aufgewickelte durchgehende Röhre einen größeren Teil des Innenraums des Behälters umfasst, und

Einrichtungen, um die aufgewickelte Röhre kommunizierend mit einer Druckgasquelle außerhalb des Behälters zu verbinden, die dadurch gekennzeichnet ist, dass der Behälter gasdicht ist und die Vorrichtung eine Druckentlastungseinrichtung zu dem Behälter für das automatische Abblasen des Behälters in die Umgebung für den Fall enthält, dass der Druck innerhalb des Behälters und außerhalb der aufgewickelten Röhre einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

**[0007]** Wenn Behälter mit jeweils einer durchgehenden Röhre aufeinander gestapelt werden, so kann das Gewicht der oberen Behälter von den Wänden der unteren Container getragen werden, so dass die unteren Lagen der Röhre somit davor geschützt werden, den zusammendrückenden Kräften auf Grund der Gewichte der oberen Lagen der Röhre widerstehen zu müssen, wodurch es zu Belastungen kommt, die dazu führen, dass die akzeptablen Werte für den Gasdruck reduziert werden.

**[0008]** Die Kälte in dem Gas kann erhalten werden, indem das kalte Gas durch einen Wärmetauscher geleitet wird, der beispielsweise gegen strömendes Seewasser arbeitet, und dann das gekühlte Seewasser an Bord gespeichert wird. Gas, das an einem Gasversorgungspunkt in die durchgehende Röhre des Speichersystems gefüllt wird, kann dann unter Verwendung des gekühlten Seewassers abgekühlt werden.

**[0009]** Das Gasspeichersystem gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem eine durchgehende Röhre eingesetzt wird, die so gewickelt ist, dass sie zum großen Teil ein eingeschlossenes Volumen füllt, hat mehrere Vorteile. Zunächst kann der Durchmesser der Röhre kleiner als 30 cm (12 Zoll) gemacht werden, so dass die Bruchfestigkeit vergrößert wird und die Wahrscheinlichkeit und die Schwere bei einem Ausfall reduziert werden können. Darüber hinaus ist die Technik für die Herstellung von nahtlosen Rohrabschnitten allgemein bekannt, insbesondere in der Ölindustrie, so dass sich die Herstellung der durchgehenden Röhre vereinfacht. Als drittes ist es nicht mehr notwendig, auf komplizierte Konstruktionsmerkmale wie große Kuppeln zurückzugreifen, die üblicherweise mit den Enden der Zylinder verschweißt sind. Als viertes sind weniger Steuerventile, Überdruckventile und derartige Einrichtungen notwendig, wenn eine durchgehende Röhre verwendet wird, im Vergleich zum Einsatz von vielen Zylindern. Dies führt zu einer Kostenreduktion. Als fünftes kann der Einsatz von durchgehenden Längen von Röhren mit relativ kleinem Durchmesser dazu beitragen, dass im Vergleich zu Zylindern mit größerem Durch-

messer außerdem mehr Kälte in dem Stahl der Röhre zurückgehalten wird, nachdem das Gas abgelassen worden ist. Dieses Speichern der Kälte in dem Stahl der Röhre macht das Wiederauffüllen des Speicher-systems mit durchgehender Röhre mit Gas von dem Gasversorgungspunkt einfacher.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0010]** Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, die nur zur Veranschaulichung dienen und nicht als Einschränkung des Umfangs der Erfindung zu verstehen sind, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente bezeichnen.

**[0011]** [Fig. 1](#) zeigt ein Beispiel eines Gasspeicher-systems mit aufgerollter durchgehender Röhre gemäß der Erfindung für den Transport von Gas mit Schiffen.

**[0012]** [Fig. 2A](#) zeigt perspektivisch eine aufgerollte durchgehende Röhre gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

**[0013]** [Fig. 2B](#) zeigt perspektivisch ein Gasspeichersystem mit durchgehender Röhre gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

**[0014]** [Fig. 3](#) zeigt perspektivisch und teilweise im Schritt die durchgehende Röhre, die in einem Behälter aufgewickelt ist, als eine Ausführungsform der Erfindung, wobei sowohl die kubische als auch die hexagonale Packung dargestellt ist.

**[0015]** [Fig. 4](#) ist eine Draufsicht auf eine durchgehende Röhre, die mit minimalem Radius der Wicklungen aufgewickelt wurde, so dass ein quaderförmiger Behälter gefüllt wird.

**[0016]** [Fig. 5](#) ist eine perspektivisch Ansicht von der durchgehenden Röhre in U-förmigen Windungen, die Seite an Seite liegen, so dass eine einzige Lage entsteht.

**[0017]** [Fig. 6](#) ist eine Draufsicht auf ein Schiff, teilweise aufgeschnitten, mit Spulenbehältern, die eine durchgehende Röhre enthalten, wobei die Behälter mit vertikalen Achsen orientiert sind und in einem kubischen Muster zwischen transversalen Schotten angeordnet sind.

**[0018]** [Fig. 7](#) ist eine Draufsicht auf ein Schiff, teilweise aufgeschnitten, mit Spulenbehältern, die eine durchgehende Röhre enthalten, bei dem die Behälter mit vertikalen Achsen angeordnet sind und einem hexagonalen Muster innerhalb halb-hexagonaler Schotten angeordnet sind.

**[0019]** [Fig. 8](#) ist eine Draufsicht auf ein Schiff mit

hexagonal gepackten Behältern, wobei sich drei Reihen von Behältern innerhalb der halbhexagonalen Schotten befinden.

**[0020]** [Fig. 9](#) ist ein Querschnitt durch fünf Spulenbehälter, die aufeinander gestapelt sind, wobei die durchgehende Röhre um die Spulen aufgewickelt ist (nicht alle Röhren sind dargestellt).

**[0021]** [Fig. 10](#) ist eine Draufsicht auf die Basis eines Behälters nach einer Ausführungsform der Erfindung.

**[0022]** [Fig. 10A](#) ist ein Querschnitt durch einen Behälter für den Einsatz gemäß der Erfindung.

**[0023]** [Fig. 11A](#) ist ein radialer Querschnitt durch die Basis des Behälters nach [Fig. 10](#).

**[0024]** [Fig. 11B](#) ist ein Querschnitt durch die Basis eines Behälters senkrecht zu dem Querschnitt nach [Fig. 11A](#).

**[0025]** [Fig. 11C](#) ist eine radiale Ansicht der Basis des Behälters nach [Fig. 10](#).

**[0026]** [Fig. 12](#) zeigt eine Seitenwand des Behälters nach [Fig. 10](#) im Seitenaufriss.

**[0027]** [Fig. 13](#) zeigt schematisch ein System für die Konservierung der Kälte in dem Gas, das beispielsweise von einem Schiff abgelassen worden ist.

#### Bevorzugte Ausführungsformen

**[0028]** Als Windung der Röhre ist hier der Abschnitt der Röhre definiert, der auf sich selbst zurückkehrt, so dass ein Fluid, das durch diese Röhre strömt, einen Winkel von mehr als 90° beschreibt. Eine Lage der Röhre ist hier definiert als ein Satz von Röhren, die seitlich voneinander beabstandet angeordnet sind und ein Band einnehmen, dessen Dicke in etwa gleich dem Durchmesser einer der Röhren ist. Im Betrieb kann eine Lage horizontal, vertikal oder in einem beliebigen dazwischen liegenden Winkel orientiert sein.

**[0029]** Es versteht sich, dass das Material, das eingesetzt wird, um die durchgehende Röhre herzustellen, und das für die Umsetzung der Erfindung verwendet wird, verformbar und nicht spröde ist bei den Betriebsdrücken und Betriebstemperaturen für den Fluidtransport und dass das Material gasdicht in Bezug auf das Gas ist, das in der durchgehenden Röhre gespeichert ist. Es versteht sich außerdem, dass, obgleich große Abschnitte der Röhre ideal sind, es notwendig sein kann, Zwischenverbindungen zwischen langen Röhrenabschnitten vorzusehen, um die Herstellung zu vereinfachen. Die durchgehende Röhre kann aus jedem normalen Stahl hergestellt werden,

zum Beispiel X70, aber der Röhrenstahl kann auch abgeschreckt und getempert sein, um seine Belastbarkeit zu erhöhen, nachdem alle Schweißarbeiten durchgeführt worden sind. Alternativ kann die durchgehende Röhre auch mit hochgradig ziehbarem Stahldraht ummantelt werden.

**[0030]** Ein Beispiel einer Gasspeichervorrichtung **11** ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Mehrere Gasspeichervorrichtungen **11** sind in [Fig. 1](#) gezeigt.

**[0031]** Die Gasspeichervorrichtung **11** gemäß der vorliegenden Erfindung wird durch Verteilen oder Aufwickeln einer durchgehenden Röhre **10** innerhalb eines Behälters **12** in mehreren Lagen hergestellt, wobei jede Lage mehrere Windungen der Röhre umfasst. Alle Öffnungen in der durchgehenden Röhre **10**, über die Gas in die Röhre **10** hinein oder aus ihr heraus fließen kann, wie zum Beispiel die Enden der Röhre **17**, **19**, sind mit Ventilen versehen, beispielsweise den Ventilen **21** in [Fig. 1](#). Die Ventile machen es möglich, dass die durchgehende Röhre **10** für das Speichern und den Transport von Gas abgedichtet werden kann. Jeder Längsabschnitt der Röhre **10** sollte außerdem mit einem Drucksicherungsventil (nicht dargestellt) versehen sein, um das Ablassen von Gas oberhalb eines vorgegebenen Druckes zu ermöglichen.

**[0032]** Der Behälter **12** umfasst eine Basis **14**, eine äußere Behälterseitenwand **16**, eine innere Behälterseitenwand **18** und einen Deckel **20**. Die Innenbehälterseitenwand **18** bildet einen zentralen Kern, wenn der Behälter die Form einer Spule aufweist. Der Behälter **12** kann außerdem die Funktion eines Karussells haben, indem er nämlich eine Stütze darstellt, in die die durchgehende Röhre **10** in Windungen eingefügt werden kann und dann angehoben werden kann, so dass die Röhre leichter zu handhaben und zu beladen ist, beispielsweise in einem Schiffsrumpf. Außerdem verteilt der Behälter **12** die Last der durchgehenden Röhre **10** auf die Außenwände der sich darunter befindlichen Behälter **12** wie bei dem Stapel von Behältern **12**, der in [Fig. 9](#) dargestellt ist, wobei das Gewicht der durchgehenden Röhre **10** durch die Seitenwände **16** und **18** getragen wird.

**[0033]** Die Enden **17** und **19** der durchgehenden Röhre **10** erstrecken sich vorzugsweise durch eine gasdichte Öffnung in der Innenwand **18** des Behälters **12**. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, können vertikale Röhren **23A** mit den Enden **17** der durchgehenden Röhre **10** verbunden werden, um sie mit dem Hochdruck-, Mitteldruck- oder Niederdruckverteiler **25A**, **25B** bzw. **25C** zum Beschricken der durchgehenden Röhre **10** mit Gas an einem Gasversorgungsort und zum Ablassen von Gas aus der durchgehenden Röhre **10** an einer Gasverteilungseinrichtung zu verbinden. Die Verteiler **25A**, **25B** und **25C** befinden sich vorzugsweise an Deck **63** eines Schiffes, während die Behäl-

ter **12** in dem Laderaum gespeichert sind. Die Ventile **27** der Röhren **23A** können für die Steuerung des Gasflusses von den Verteilern **25A** bis **25C** zu und von den durchgehenden Röhren **10** verwendet werden. Vertikale Röhren **23B** können mit den Enden **19** verbunden sein, um diese mit Hochdruck- und Niederdruck-Fluidleitungen **29A** und **29B** zu verbinden. Die Ventile **31** auf den Leitungen **23B** können verwendet werden, um den Fluidfluss in und aus den durchgehenden Röhren **10** zu steuern. Alternativ können sich die Enden **17** und **19** durch die Außenwand **16** des Behälters erstrecken anstatt durch die Innenwand **18**.

**[0034]** Die Basis **14**, die Seitenwände **16** und **18** und das obere Ende **20** des Behälters **12** werden vorzugsweise abgedichtet, so dass sie luftdicht sind. Aufgrund dieser luftdichten Abdichtungen kann der Behälter **12** als Behälter für Fluide eingesetzt werden, die durch die durchgehende Röhre **10** oder den Behälter **12** oder beide fließen. Der Behälter **12** kann auch mit einer Trägermatrix aus einem Material gefüllt sein, wie zum Beispiel trockenem Inertpulver, einem Zement, einer Flüssigkeit wie Wasser oder konventionellem Schlamm, wie er bei Bohrstätten verwendet wird. Das Material der Trägermatrix kann ein spezifisches Gewicht von mehr als 1 aufweisen, um zum Tragen der Last der durchgehenden Röhre **10** beizutragen. Das Auffüllen des Behälters **12** mit der Trägermatrix kann besonders vorteilhaft sein, wenn das spezifische Gewicht der Röhre und des gespeicherten Gases zusammen etwa gleich dem spezifischen Gewicht der Trägermatrix ist. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass mehrere Lagen von der durchgehenden Röhre **10** aufeinander gestapelt werden können, ohne dass das Risiko von außergewöhnlichen Belastungen auf den inneren Wänden der durchgehenden Röhre zunimmt.

**[0035]** Alternativ können in Fällen, in denen die durchgehende Röhre **10** keine Unterstützung braucht, die Container **12** mit einem trockenen Inertgas wie zum Beispiel Stickstoff, Luft oder Abgasen gefüllt werden. Vorzugsweise kann ein Ventilator oder dergleichen (nicht dargestellt) vorgesehen werden, um die Atmosphäre innerhalb des Behälters **12** durch (nicht dargestellte) Röhren zirkulieren zu lassen, die in und aus dem Behälter **12** über (nicht dargestellte) abgedichtete Öffnungen führen. Außerdem ist es von Vorteil, wenn die Atmosphäre in dem Behälter **12** in Bezug auf Gaslecks periodisch getestet wird.

**[0036]** Beispielsweise können akustische Überwachungsgeräte in den Behältern **12** angeordnet werden. Derartige akustische Überwachungsgeräte erfassen entweder die Geräusche, die durch Leckgas entstehen, oder den Klang von kristallinem Metall in der durchgehenden Röhre **10** bei Auftreten eines Fehlers, der in dem Röhrenstahl anschließend weiter

wächst. Außerdem kann die Atmosphäre innerhalb des Behälters und außerhalb der durchgehenden Röhre **10** mit kommerziell erhältlichen Geruchseinrichtungen erfasst werden, um Leckgas festzustellen.

**[0037]** Es wird davon ausgegangen, dass Lecks in der durchgehenden Röhre **10** zunächst klein sind. Sobald sie erkannt worden sind, wird die entsprechende Spule der durchgehenden Röhre **10** sofort geleert und das Leck repariert. Sollte das Leck sehr schnell größer werden, bis es eine signifikante Größe erreicht hat, wird der Druck in dem Behälter **12** steigen. Die Wände des Behälters **12**, beispielsweise die obere Wand des zentralen Kerns, sollten mit konventionellen Bruchscheiben oder kollabierbaren Platten **33** versehen sein, die sich öffnen, bevor der Druck in dem Behälter **12** einen Pegel erreicht, bei dem andere Teile der Wände des Behälters **12** beschädigt werden können. Der Gasfluss aus einem derartigen schnellen Leck wird durch Ventilationsröhren **35** abgeleitet und über einen Abzug mit geeigneter Höhe abblasen. Es wird davon ausgegangen, dass ein derartiges doppeltes Behältnis für Druckgas, wie es auch durch die Regulierungsbehörden anerkannt ist, als außerordentlich angesehen werden kann, so dass mit behördlicher Genehmigung niedrigere Werte für den Sicherheitsfaktor der Röhre in Bezug auf das Brechen angesetzt werden können.

**[0038]** In [Fig. 2A](#) kann die durchgehende Röhre auf der Basis **14** des Behälters **12** in alternierenden Lagen von außen nach innen und von innen nach außen aufgewickelt werden. Die Lage **11A** in [Fig. 2A](#) ist von innen nach außen aufgewickelt, während die Lage **11B** von außen nach innen oben auf der Lage **11A** aufgewickelt ist. Auf diese Art kann die durchgehende Röhre **10** in dem Behälter **12** eingebaut werden, indem die Röhre um den zentralen Kern aufgewickelt wird, der durch die Innenwand **18** definiert ist, vorzugsweise indem man innen beginnt und außen endet. Viele Lagen der durchgehenden Röhre **10** können auf den Kern aufgewickelt werden, da die unteren Lagen der Röhre **10** dazu geeignet sind, die oberen Lagen der Röhre zu stützen, ohne dass das Risiko besteht, dass die Röhre **10** erheblich größeren Belastungen ausgesetzt wird als denen, die durch den Innendruck des Druckgases bedingt sind. Die maximale Anzahl der Lagen der Röhre, die auf jeder gegebenen Lage von Röhren getragen werden, bestimmt sich ohne weiteres durch Berechnungen der Röhrenstärke. Als Beispiel kann eine Röhre mit 15 cm (6 Zoll) Außendurchmesser in einen 12,2 Meter (40 Fuß) breiten Container bei 3,1 Meter (10 Fuß) Höhe aufgewickelt werden, das heißt mit etwa 20 Lagen und etwa 30 Windungen (jede Windung ist in diesem Fall eine 360°-Windung der Röhre), was zu einer Länge der durchgehenden Röhre in der Größenordnung von 14,5 km (9 Meilen) führt. Der zentrale Kern kann in der Größenordnung von 3,1 m (10 Fuß) Breite bei einer Röhre mit 15 cm (6 Zoll) liegen. Die Au-

ßendurchmesser der Röhre liegen vorzugsweise zwischen 2,54 cm (1 Zoll) und 25,4 cm (10 Zoll). Die Größe des Innenkerns des Behälters **12** hängt von der minimalen Biegung der Röhre ab, die ihrerseits von der Temperatur abhängt, bei der die durchgehende Röhre gebogen wird, und dem Material, aus dem die durchgehende Röhre hergestellt wird. Beispielsweise erreicht man bei Kaltbiegung der durchgehenden Röhre aus geschmiedetem Plattenstahl X70 einen minimalen Radius von etwa 10 D (Durchmesser der Röhre). Durch Heißbiegen kann man den minimalen Radius auf 3 D absenken.

**[0039]** Das Wickeln der durchgehenden Röhre in der Art, die in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, führt teilweise zum kubischen und teilweise hexagonalen Packen, wie es in [Fig. 3](#) gezeigt ist, die einen Querschnitt durch die Lagen der durchgehenden Röhre darstellt. Beim kubischen Packen stößt jeder Röhrenabschnitt an vier andere Röhrenabschnitte, einer oben, einer unten und einer auf jeder Seite. Beim kubischen Packen füllt die Röhre **10** etwa 78,5% des Raumes in dem Behälter **12** aus. Beim hexagonalen Packen hat jeder Röhrenabschnitt sechs Punktkontakte mit der benachbarten Röhre. Dies führt zu einer etwa 90,7%-igen Füllrate des Raumes des Behälters **12**. Das hexagonale Packen ist dem kubischen Packen sowohl in Bezug auf die Raumfüllung als auch in Bezug auf das Reduzieren der Auswirkung der transversalen Druckkräfte auf die Umfangsbelastung der unteren Teile der Röhre **10** überlegen. In dem Fall der Spule in den [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) erhält man eine perfekte kubische und perfekte hexagonale Packung entlang der Linien, die 90° zueinander stehen. Wenn die Achsen der perfekten hexagonalen Packung langsam um die Spule gedreht werden, dann wird davon ausgegangen, dass es möglich ist, eine mittlere Packungsdichte von 84,6% zu erreichen.

**[0040]** Wie in der Ausführungsform in [Fig. 2A](#) gezeigt, kann sichergestellt werden, wenn die Achse der Spule im Betrieb vertikal orientiert ist, dass Fluide in der durchgehenden Röhre **10** zu einem Ende der Röhre ablaufen, beispielsweise zu dem Ende **13** in der Darstellung. Die Basis **14** des Behälters **12** muss nicht flach sein, sondern kann in der Mitte angehoben oder abgesenkt werden, beispielsweise, um entweder eine pyramidale oder eine konische Form zu geben, um das Abfließen der Fluide aus der durchgehenden Röhre zu erleichtern. Im Fall eines angehobenen zentralen Abschnitts der Basis **14** des Behälters **12** sollte sich das mit Ventilen versehene Ende der Röhre **10** außerhalb des Behälters **12** befinden.

**[0041]** In der Ausführungsform in [Fig. 2B](#) ist die Röhre **10** auf einem Kern **22** aufgewickelt. Die Wicklung erstreckt sich axial von einer Endplatte **24** zu der anderen Endplatte **26**. Damit ergibt sich eine Aufwicklung, die ähnlich einer Garnspule ist. Der Kern **22** und die Endplatten **24** und **26** bilden zusammen ei-

nen Träger für die durchgehende Röhre **10**. Dieselben Wicklungsbetrachtungen gelten für die Ausführungsform in [Fig. 2B](#) wie in [Fig. 2A](#).

**[0042]** In der Ausführungsform in [Fig. 4](#) wechseln sich gerade Abschnitte **32** mit Biegungen **34** ab, so dass sich in diesem Fall ein Quadrat ergibt, aber es könnten auch Rechtecke, Sechsecke oder andere polygonale Formen erzeugt werden. Dieselben Überlegungen in Bezug auf die Windungen gelten für die Ausführungsform nach [Fig. 2A](#). Eine derartige Ausführungsform könnte verwendet werden, um den gesamten Laderaum eines Schiffes auszufüllen. Jedoch lässt sich eine Konfiguration mit geraden und gebogenen Abschnitten schwieriger wickeln, und daher wird sie bevorzugt, wenn dies durch eine erheblich verbesserte Packung der Spulen in dem Laderaum des Schiffes gerechtfertigt ist.

**[0043]** Man erreicht eine perfekte hexagonale Packung mit Röhre, die beispielsweise in einem rechteckigen Behälter, wie zum Beispiel dem Laderaum eines Schiffes, in der Art untergebracht ist, wie sie in [Fig. 5](#) dargestellt ist. Jede Lage von der Röhre **42** ist aus Windungen **44** geformt, die U-förmig sind, mit geraden Abschnitten **46**, die sich mit Biegungen **48** abwechseln. Die Röhre wird an den Biegungen verdünnt, indem man die Röhre auf konventionelle Art und Weise rollt und dann in 180°-Biegungen biegt. Zusätzliche Lagen können auf die Art geformt werden, wie sie mit dem Ende **49** der durchgehenden Röhre dargestellt ist, die über der darunter liegenden Lage in einem hexagonalen Packmuster liegt. Das Ende **47** ist an ein (nicht dargestelltes) Ventil angeflanscht. Während bei dieser Ausführungsform der Vorteil der hexagonalen Packung erreicht wird, wird der Gasfluss in der durchgehenden Röhre an den Biegungen eingeschränkt, so dass eine bevorzugte Ausführungsform beim Beladen und Entladen von Gas in die durchgehende Röhre eine relativ niedrige Rate aufweist.

**[0044]** Die durchgehende Röhre, die in einem Behälter mit einer Spule aufgewickelt ist, wie es zum Beispiel in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, wo die Spule eine vertikale Achse aufweist, kann in einem Laderaum **60** eines Schiffes **62** transportiert werden, wie es in den [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) gezeigt ist. Ein Schiffsladeraum kann beispielsweise etwa 30,5 Meter (100 Fuß) breit sein und 213,4 Meter (700 Fuß) lang sein, und er ist vorzugsweise in einer kontrollierten Atmosphäre abgedichtet worden, ähnlich der Abdichtung der Behälter **12**. Die Behälter **12** können Seite an Seite in einem kubischen Muster, wie in [Fig. 6](#) gezeigt, angeordnet sein. Dies führt zu einer Raumausnutzung von etwa 75,4% bei 28 Behältern **12** mit einem Durchmesser von 5,2 Metern (**50** Fuß). Die Behälter **12** können außerdem in hexagonalen Mustern in zwei Reihen oder drei Reihen angeordnet sein, wie es in den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) gezeigt ist. Die Laderäume **60**

in den [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) sind durch hexagonale Schotten **64** und **66** voneinander getrennt. In [Fig. 7](#) beträgt die Raumausnutzung bei 26 Behältern mit 16,3 Metern (53,6 Fuß) etwa 81,25%, und in [Fig. 8](#) beträgt bei 57 Behältern mit 11,2 Metern (36,603 Fuß) dieser Wert etwa 79,81%. Vorzugsweise werden die Behälter **12** in dem Schiffsladeraum wie in [Fig. 9](#) gezeigt gestapelt, beispielsweise in einem Stapel mit fünf Behältern **12**, die jeweils etwa 3,4 Meter (11 Fuß) hoch sind, so dass sich eine Gesamthöhe von etwa 16,8 Metern (55 Fuß) ergibt. Die Gesamthöhe des Stacks aus Behältern **12** wird durch die Stabilität des Schiffes begrenzt. Alternativ können die Behälter **12** so orientiert werden, dass ihre Achsen horizontal verlaufen. In einer weiteren Alternative können die Schiffsladeräume so geformt werden, dass sie eine zylindrische Basis darstellen, bei der eine Spule oder Spulen mit horizontaler Achse parallel zu der Längsachse des Schiffes abgelegt werden können. Während eine einzelne Spule von Vorteil sein kann, die sich über die gesamte Länge des Schiffes erstreckt, kann dies für einige Werften schwierig zu bauen sein. Das Einbauen von mehreren kleineren Spulen, die in Reihe verbunden sind, wobei jede mehrere Lagen aufweist und eine horizontale Achse hat, kann für einige Werften einfacher zu bewerkstelligen sein, ohne dass die durchgehende Röhre **10** beschädigt wird.

**[0045]** Die Behälter **12** werden vorzugsweise gestapelt, so dass beispielsweise etwa fünf Behälter **12** einen Stapel bilden, wie es in [Fig. 9](#) gezeigt ist, wobei die Wände **16**, **18** der unteren Behälter **12** die oberen Behälter stützen. Die Behälter **12** können auf eine beliebige unter mehreren Arten gebaut werden, so lang, dass sie in der Lage sind, die durchgehende Röhre **10** zu tragen und zu umgeben. Wie in den [Fig. 10](#) bis [Fig. 12](#) gezeigt, können die Behälter **12** aus 24 vertikalen Spalten **52** innen und 24 vertikalen Spalten **53** außen aufgebaut werden, wobei die vertikalen Spalten **53** außen mit einem Kastenring **54** überstülpt werden und einen Abstand haben von 36 Zoll von Mitte zu Mitte. Die Basis oder der Boden **14** des Behälters **12** wird durch 24 Doppel-T-Träger **56** getragen, die mit Platten **58** bedeckt sind. Die Doppel-T-Träger **56** verbinden jeweils die inneren Spalten **52** und die äußeren Spalten **53**. Als ein Beispiel können die äußeren Spalten **53** aus einem 12 × 4-Netz mit 8 × 6-Flanschen geformt werden, wobei die inneren Spalten **52** etwas kleinere Flansche haben. Die Doppel-T-Träger **56** am Boden können ein 12 × 3-Netz und 8 × 7 Flansche aufweisen. Die Wände **16**, **18** und der Boden **14** werden mit flachen Platten **58**, **59** bedeckt und abgedichtet, so dass sie un durchdringlich für das Fluid in dem Behälter sind. Die Behälter **12**, die so geformt sind, werden vorzugsweise mit einem Deckel **20** ausgestattet, wie es in [Fig. 3](#) gezeigt ist, und sie werden für den Einsatz abgedichtet. Außer bei dem obersten Behälter kann der Deckel des nächsten niedrigeren Behälters **12** in Gestalt

der Basis des Behälters **12** darüber gebildet werden.

**[0046]** Wo mehrere durchgehende Röhren **10** zusammen transportiert werden, können sie in Reihe miteinander verbunden werden, so dass alle durchgehenden Röhren **10** in einem Schiffsladeraum zur gleichen Zeit beispielsweise von Gas durchströmt werden können und dass ein Rohrreiniger sie in einem Durchgang für Inspektion und Reinigung durchlaufen kann. Die durchgehende Röhre **10** in dem Schiffsladeraum kann mit einer kontrollierten Atmosphäre und mit isolierten Wänden versehen werden.

**[0047]** Nach der Durchführung des Transports können die durchgehenden Röhren **10** in einem Schiffsladeraum dann mit einem landseitigen oder seeseitigen Bojen-Terminal über Hochdruck-, Mitteldruck- oder Niederdruckverteiler **25A**, **25B** und **25C** ([Fig. 1](#)) verbunden werden, wie es auch in der ebenfalls anhängigen Anmeldung 08/550080 vom 30. Oktober 1995 beschrieben ist, auf deren Inhalt hiermit in vollem Umfang Bezug genommen wird.

**[0048]** Gas, das in die Röhren **10** geleitet wird, kann gekühlt werden, bevor es in die durchgehenden Röhren **10** gepumpt wird. Für den gekühlten Transport werden die Behälter **12** vorzugsweise mit einer Isolierung **41** isoliert, die an allen äußeren Wänden der Behälter **12** angebracht wird.

**[0049]** Für die Verwendung beim Transport von Gas, beispielsweise Erdgas, von einem Gasversorgungspunkt, beispielsweise einem landseitigen Terminal oder einer seeseitigen Boje, zu einer entfernten Gasverteilerstation, zum Beispiel einem weiteren landseitigen Terminal oder einer seeseitigen Boje, muss eine Gasversorgung zunächst an dem Gasversorgungspunkt vorgesehen sein. Beispielsweise kann Gas über eine Pipeline zu dem landseitigen oder seeseitigen Gasversorgungspunkt transportiert werden. Das Gas wird dann komprimiert in die durchgehenden Röhren **10** gefüllt und beispielsweise in einem Schiff **62** gespeichert, wie es in den [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) oder [Fig. 8](#) gezeigt ist, und zwar mittels der Verteiler **25A**, **25B** und **25C** ([Fig. 1](#)) bei einem Druck von beispielsweise etwa 3000 psi. Dieser Druck kann abgestuft werden, beispielsweise von 800 psi bis 1500 psi und dann von 1500 psi bis 3000 psi, um die Kompression effektiver zu machen. Die durchgehenden Röhren **10** werden dann beispielsweise durch das Schiff **62** bis zu der entfernten Gasverteilungsstation transportiert, an der das Gas über die Verteiler **25A**, **25B** und **25C** entladen wird.

**[0050]** Vorzugsweise wird das Gas an der Gasverteilungsstation in der Art entladen, dass die durchgehende Röhre **10** gekühlt wird. Dies kann man beispielsweise dadurch erreichen, dass es dem Gas ermöglicht wird, auf eine rollende Art und Weise aus den Röhren **10** zu expandieren, wobei eine erste

Röhre **10** zunächst durch den Hochdruckverteiler **25A**, dann den Mitteldruckverteiler **25B** und dann den Niederdruckverteiler **25C** geleert wird. Wenn die erste Röhre **10** durch den Mitteldruckverteiler **25B** geleert wird, kann die nächste Röhre **10** durch den Hochdruckverteiler **25A** geleert werden und so weiter, bis alle Röhren **10** geleert worden sind. Die Expansion des Gases in den durchgehenden Röhren **10** kühlt die durchgehende Röhre beispielsweise bis auf 0°F hinab, aber nicht niedriger als die Temperatur, bei der die Röhre selbst brüchig wird. Die gekühlte Röhre kann dann zu dem entfernten Gasversorgungspunkt zurückgebracht werden, wo die Röhren wieder mit Gas gefüllt werden. Da die Röhren bereits gekühlt sind, kann beim Füllen der Röhren an dem Gasversorgungspunkt ein größeres Gasgewicht bis zu einem gegebenen Druck geladen werden. Um den größten Vorteil bei dieser Betriebsart zu erreichen, können die Röhren **10**, die Behälter **12** und der Schiffsladeraum **60** mit einer Isolierung **41** abgedeckt werden. Das Abkühlen der durchgehenden Röhre **10** kann verstärkt werden durch das Absenken des Druckes in einem Wärmetauscher an Deck des Schiffs entweder gegenüber Inertgas, das durch die Behälter **12**, aber außerhalb der Röhren **10** zirkulieren kann, oder durch Mitteldruckgas, das expandiert und zirkuliert durch die durchgehenden Röhren **10**, die bereits geleert wurden. Außerdem kann gekühlt werden, um das Gas vor dem Einlass in die durchgehenden Röhren **10** abzukühlen.

**[0051]** Das Gas in den durchgehenden Röhren **10** kann durch Injizieren eines nicht korrodierenden, nicht wässrigen, inkompressiblen Fluids, das sich nicht mit dem Gas mischt (beispielsweise ein flüssiger Kohlenwasserstoff mit mehr als etwa 7 Kohlenstoffatomen im Fall von Erdgasspeicherung und Transport), an einem Ende der durchgehenden Röhre **10** und Herausdrängen von Gas aus dem anderen Ende abgelassen werden. Eine derartige Flüssigkeit kann in einem Flüssigspeicherbehälter **80** gespeichert werden und in die Röhren **10** über Hochdruck- und Niederdruckfluid-Versorgungsleitungen **29A** und **29B** mit der Pumpe **82** gepresst werden. Der Speicherbehälter **80** kann über die Leitung **81** verbunden werden, um die (nicht dargestellte) Brennstoffversorgung des Schiffes zu verbessern, da das Fluid nach dem Einsatz gelöstes Gas enthalten wird, das in den Behälter **80** austritt.

**[0052]** Auf ähnliche Art können die Röhren **10** beschickt werden, indem die Röhre mit einem Hochdruckgas an einem Ende beispielsweise über den Verteiler **25A** gefüllt wird und die inkompressive Flüssigkeit aus den Röhren **10** bei konstantem Druck an dem anderen Ende ausgestoßen wird. Die ausgestoßene Flüssigkeit unter Druck kann dann eine Einheit **86** für die Energierückgewinnung durchlaufen, wie zum Beispiel eine Turbine zur Erzeugung von Elektrizität oder Kühlleistung auf einer Leitung **88**, un-

ter Steuerung durch das Ventil **90**, das die Hochdruck- und Niederdruckfluid-Versorgungsleitungen **29A** und **29B** verbindet, und kann dann verwendet werden für das Füllen der nächsten in einer Reihe von durchgehenden Röhren **10** durch Injizieren in das untere Ende der nächsten Röhre. Sobald das Füllen der durchgehenden Röhren **10** abgeschlossen ist, wird die Flüssigkeit über die Leitung **29A** und die Leitung **84** in den Flüssigkeitsspeicherbehälter **80** zurückgeführt. Beim Auffüllen der Röhre **10** wird sie zunächst mit einer inkompressiblen Flüssigkeit gefüllt. Das kontinuierliche Ausfließen der inkompressiblen Flüssigkeit sollte durch Ventile, beispielsweise die Ventile **31**, und die Einheit **86** für die Energierückgewinnung zum Aufrechterhalten des etwa konstanten Drucks im ankommenden Gas reguliert werden, womit eine unnötige Wärmezunahme auf Grund der Expansion und erneuten Kompression des Gases beim Füllen der durchgehenden Röhre **10** vermieden wird.

**[0053]** Beim Entladen des Gases an der Gasverteilungsstation kann, wenn das Gas zuerst entladen wird, dieses durch die Hochdruckleitung **25A** an Land gebracht werden (in Richtung A). Das Ende B der Leitungen **25A**, **25B** und **25C** kann mit anderen Behältern **12** in anderen Laderäumen des Schiffes verbunden werden. Ein Teil des Hochdruckgases in der Leitung **25A** kann durch das Ventil **43** und den Wärmetauscher **72** zur Mitteldruckleitung **25B** geleitet werden. Das Gas verliert in dem Wärmetauscher **72** adiabatisch Druck und kühlt sich dabei ab. Außerdem kann ein Teil des Hochdruckgases von der Leitung **25A** durch das Ventil **45**, den Wärmetauscher **72**, die Leitung **51** und die Leitung **29A** ohne Abnahme des Drucks zu den durchgehenden Röhren **10** zurückgeführt werden. Wenn in dem Gas, das von der Hochdruckleitung **25A** zur Leitung **25B** fließt, jedoch der Druck absinkt, beispielsweise in der Größenordnung von 1500 psi, so kühlt sich das Gas ab, das zu den durchgehenden Röhren **10** durch den Wärmetauscher **72** zurück strömt. Diese Kühlung kann erheblich sein und kann das Gas auf -50°F oder darunter abkühlen. Wenn der Druck in den Röhren sinkt, können die Leitungen **25A**, **25B** und **25C** nacheinander selektiv zum Ableßen des Gases aus den Röhren eingesetzt werden. Nach dem Kühlen kann das Schiff **62** zum erneuten Beladen mit Gas zu der Ladeeinrichtung des Gasversorgungspunktes zurückkehren, wobei die Röhren **10** kalt bleiben.

**[0054]** Man erwartet, dass die durchgehenden Röhren **10** durch das Kühlen der durchgehenden Röhren **10** mit kaltem Gas von dem Wärmetauscher **72** auf der Rückfahrt eine Temperatur in der Größenordnung von -45°C (-50°F) aufweisen. Nach dem Beladen der Röhren **10** mit Gas und der Rückkehr zu der Entladestation wird die Temperatur des Gases in den Röhren **10** auf etwa -17°C (0°F) steigen. Es ist wünschenswert, diese Kälte beim Entladen des Gases an der Gasverteilungseinrichtung zurückzugewinnen.

Zu diesem Zweck sei auf [Fig. 13](#) verwiesen, wo das Gas aus den durchgehenden Röhren **10** durch die Leitungen **25A**, **25B** oder **25C** entladen wird und Verbindungen zwischen Schiff und Land mit landseitigen Kompressoren **90** vorgesehen sind, um das Gas durch einen Wärmetauscher **72** gegen einen Strom, vorzugsweise gegenströmig, eines geeigneten transportierbaren Fluids, wie zum Beispiel Seewasser, zu leiten. Das Seewasser wird durch den Wärmetauscher **92** mit beispielsweise einer Pumpe **94** gepumpt. Beim Entladen des Gases wird das Seewasser von der See bei **93** durch den Wärmetauscher **92** und die Leitung **95** in die Speichertanks an Bord des Schiffes gepumpt, die beispielsweise isolierte Ballastanks **96** sein können, die innerhalb der Doppelhülle oder des Doppelbodens des Schiffes angeordnet sind. Auf diese Art wird das Seewasser gekühlt, aber nicht bis zu dem Punkt, an dem sich Eis bildet, und es bildet einen Speicher mit einem kalten Fluid mit einer hohen Wärmekapazität. Beim nachfolgenden Auffüllen der Röhren **10** an der Ladestation kann wieder unter Verwendung der landseitigen Kompressoren das kalte Seewasser von den Ballastanks **96** durch den Wärmetauscher **92** und zurück in die See gepumpt werden. Damit wird jedes Gas, das durch die Leitungen **25A**, **25B** und **25C** in die Röhren **10** fließt, gekühlt. Ein Schiff kann in der Größenordnung von 17.000 Tonnen Gas für die Lastfahrt zu der Gasverteilungseinrichtung laden und kann in seinen Ballastanks 10.000 bis 15.000 Tonnen gekühltes Seewasser auf der Rückreise zurück zu dem Gasversorgungspunkt laden.

**[0055]** Dieser Aspekt der Erfindung kann besonders vorteilhaft genutzt werden mit den durchgehenden Röhrenspulen **10**, kann aber auch mit anderen Gaspeicherbehältern genutzt werden, wie zum Beispiel geraden Zylindern, wie sie in unserer vorher eingereichten Patentanmeldung offenbart sind. Ein Kaltgasspeicherbehälter bedeutet in diesem Zusammenhang einen Behälter, dessen Temperatur unter den Umgebungstemperaturen liegt (die Temperatur der Luft, durch die sich das Fahrzeug, zum Beispiel das Schiff, bewegt), aber sie ist vorzugsweise viel niedriger als die Umgebungstemperaturen. Wo große Volumina von Gas über Land transportiert werden, kann darüber hinaus die Technik im Prinzip ebenfalls angewendet werden, obgleich das kalte Speicherfluid in diesem Beispiel ein anderes Fluid als normales Wasser sein kann.

**[0056]** Schiffe, die für den Transport von Gas gemäß dieser Erfindung eingesetzt werden, sollten eine Doppelhülle aufweisen und allen Sicherheitsanforderungen für den Transport von Gefahrgütern entsprechen.

**[0057]** Es ist zu erwarten, dass bei dem Transport von Erdgas etwa 95% des Gases entladen werden kann, während der Druck in den durchgehenden

Röhren **10** auf etwa 150 psi sinkt. Diese Gasmenge sorgt dafür, dass Tankrückstände zurück bleiben oder nicht entladenes Gas zurück bleibt, das als Treibstoff für die Schiffsmotoren auf der nächsten Fahrt der Schiffsroute zurück zu dem Gasversorgungspunkt genutzt werden kann.

**[0058]** Jedes sicher transportierbare Gas kann mit der Gasspeichervorrichtung gemäß der Erfindung transportiert werden, wie zum Beispiel Erdgas, Stadtgas, Chlor, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Argon, Ethan und Ethylen.

**[0059]** Bei einer weiteren Ausführungsform kann die Speichervorrichtung gemäß der Erfindung in einer Schute eingesetzt werden und nahe einer Stadt zusammen mit einem Kompressor festgemacht werden und mit der Hauptgasversorgungspipeline verbunden werden, um die Gasversorgung in Spitzenzeiten des Bedarfs sicherzustellen. In einer Phase mit niedrigem Bedarf kann die Speichervorrichtung wieder aufgefüllt werden. Die Speichervorrichtung könnte auch in einem Gebäude an Land oder unterirdisch eingesetzt werden, um eine ähnliche Funktion zu erfüllen, zum Beispiel für die Speicherung von Erdgas für ein Elektrizitätswerk oder von Stadtgas für eine Stadt. In kleineren Größen kann die Speichervorrichtung gemäß der Erfindung verwendet werden, um komprimiertes Erdgas (compressed natural gas, CNG) in einer CNG-Treibstoffstation für Fahrzeuge zu speichern.

**[0060]** Mit der obigen Offenbarung der Erfindung versteht es sich, dass ein Fachmann Modifizierungen an der offenbarten Erfindung vornehmen kann, ohne das Wesen der Erfindung zu verändern, das durch Umfang und Bedeutung der folgenden Ansprüche definiert wird.

### Patentansprüche

1. Druckgasspeichervorrichtung mit: einem Behälter (**12**) mit Decken-, Boden- und Seitenwandteilen (**20, 14, 16**), einer durchgehenden Röhre (**10**), die in dem Behälter in mehreren Lagen aufgewickelt ist, wobei jede der mehreren Lagen mehrere Windungen der Röhre umfasst, wobei die aufgewickelte durchgehende Röhre (**10**) einen größeren Teil des Innenraums des Behälters (**12**) umfasst, und Einrichtungen (**23, 25**), um die aufgewickelte Röhre kommunizierend mit einer Druckgasquelle außerhalb des Behälters zu verbinden, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Behälter (**12**) gasdicht ist und die Vorrichtung eine Druckentspannungseinrichtung zu dem Behälter (**12**) für das automatische Abblasen des Behälters in die Umgebung für den Fall enthält, dass der Druck innerhalb des Behälters und außerhalb der aufgewickelten Röhre einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1 mit einer zusätzlichen Ventileinrichtung (**27**) zu der aufgewickelten Röhre für die Steuerung des Durchflusses von Druckgas zwischen der Druckgasquelle und der aufgewickelten Röhre.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, die außerdem eine Trägermatrix in dem Behälter (**12**) umfasst, um wenigstens teilweise das Gewicht der Röhre (**10**) zu tragen, die in dem Behälter (**12**) aufgewickelt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der die Trägermatrix eine Flüssigkeit ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, die außerdem eine Einrichtung zur Herstellung einer Inertgas-Atmosphäre in dem Behälter (**12**) umfasst.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Behälter (**12**) in einem Schiff oder einem Fahrzeug eingebaut ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Behälter (**12**) der Laderaum eines Schiffes ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der der Laderaum des Schiffes isoliert ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der Druckgas über eine Ventileinrichtung (**27**) eingefüllt werden kann, die Teil der aufgewickelten Röhre ist, und anschließend durch die Ventileinrichtung (**27**) aus der aufgewickelten Röhre abgelassen wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Einrichtung für die kommunizierende Verbindung einen ersten Verteiler umfasst, der mit einem Anschluss kommunizierend verbunden werden kann.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, die außerdem einen zweiten Verteiler umfasst, wobei der zweite Verteiler Einrichtungen umfasst, die dazu dienen, eine kommunizierende Verbindung mit dem Anschluss herzustellen, und wobei die Einrichtung für die kommunizierende Verbindung und die Ventileinrichtung dazu dienen, außerdem mit dem zweiten Verteiler zusammenzuwirken, so dass die Wicklungen (**10**) selektiv mit dem ersten bzw. zweiten Verteiler kommunizierend verbunden werden können.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, die außerdem eine Quelle (**80**) für Druckflüssigkeit, eine Einrichtung (**29A, 29B**) für die kommunizierende Verbindung jeder der Röhrenwicklungen (**10**) mit der Quelle für Druckflüssigkeit und eine Ventileinrichtung für das selektive Steuern des Durchflusses von Druckflüssigkeit von der Quelle für Druckflüssigkeit zu jeder der Röhrenwicklungen umfasst, so dass Druckflüssigkeit verwendet werden kann, um die Röhrenwicklungen zu fluten, wenn Druckgas daraus abgepumpt wird,

und aus den Röhrenwicklungen beseitigt werden kann, wenn Druckgas zugeführt wird, so dass die Expansion von Gas in den Röhrenwicklungen emittiert wird, soweit Druckgas daraus entfernt und zugeführt wird.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, die außerdem umfasst:  
 eine Wärmetauschereinrichtung (72), durch die ein erster und ein zweiter Durchflusspfad hindurchgehen,  
 einen isolierten Tank (96) für die Aufnahme von einem Wärmetauschermedium,  
 eine Einrichtung für das selektive kommunizierende Verbinden des isolierenden Tanks mit einem von dem ersten und zweiten Durchflusspfad durch den Wärmetauscher und  
 eine Einrichtung (95) zum selektiven kommunizierenden Verbinden dem ersten Verteiler (25A) mit dem anderen von dem ersten und zweiten Durchflusspfad des Wärmetauschers,  
 so dass Druckgas, das aus den Windungen (10) abgepumpt wird, durch den Wärmetauscher geleitet werden kann, um das Wärmetauschermedium zu kühlen, und das gekühlte Wärmetauschermedium dann in dem isolierten Tank gespeichert werden kann und nachfolgend verwendet werden kann, um Druckgas zu kühlen, das in die Druckgasspeicherzellen geleitet wird.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der beim Abpumpen von Druckgas aus dem Ende der Röhrenwicklung (10) eine Flüssigkeit an dem anderen Ende der Röhrenwicklung verwendet werden kann, wobei die Flüssigkeit aus dem anderen Ende der Röhrenwicklung entfernt werden kann, so dass dadurch die Expansion des Gases in der Röhrenwicklung beschränkt wird, wenn Druckgas entfernt und zugeführt wird.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der jede der Lagen der Röhre (10) aus einer durchgehenden Spirale besteht, zu der die Röhre in einer radialen Richtung gewickelt wurde, um eine Röhrenwicklung zu bilden.

16. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die durchgehende Röhre (10) derart orientiert und angeordnet ist, dass sich Flüssigkeit an einem ihrer Enden sammelt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die durchgehende Röhre (10) in einem Muster mit hexagonalem Querschnitt aufgewickelt ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die durchgehende Röhre (10) in einem Muster mit einem quadratischen Querschnitt aufgewickelt ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der jede der

Windungen der Röhre (10) in Form einer Folge von u-förmigen Abschnitten geformt ist, wobei jeder der u-förmigen Abschnitte eine Biegung zwischen seinen geraden Abschnitten aufweist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die durchgehende Röhre (10) einen gleichmäßigen Innendurchmesser aufweist, um die Untersuchung von innen mittels eines aufpumpbaren Röhenschweins zu vereinfachen.

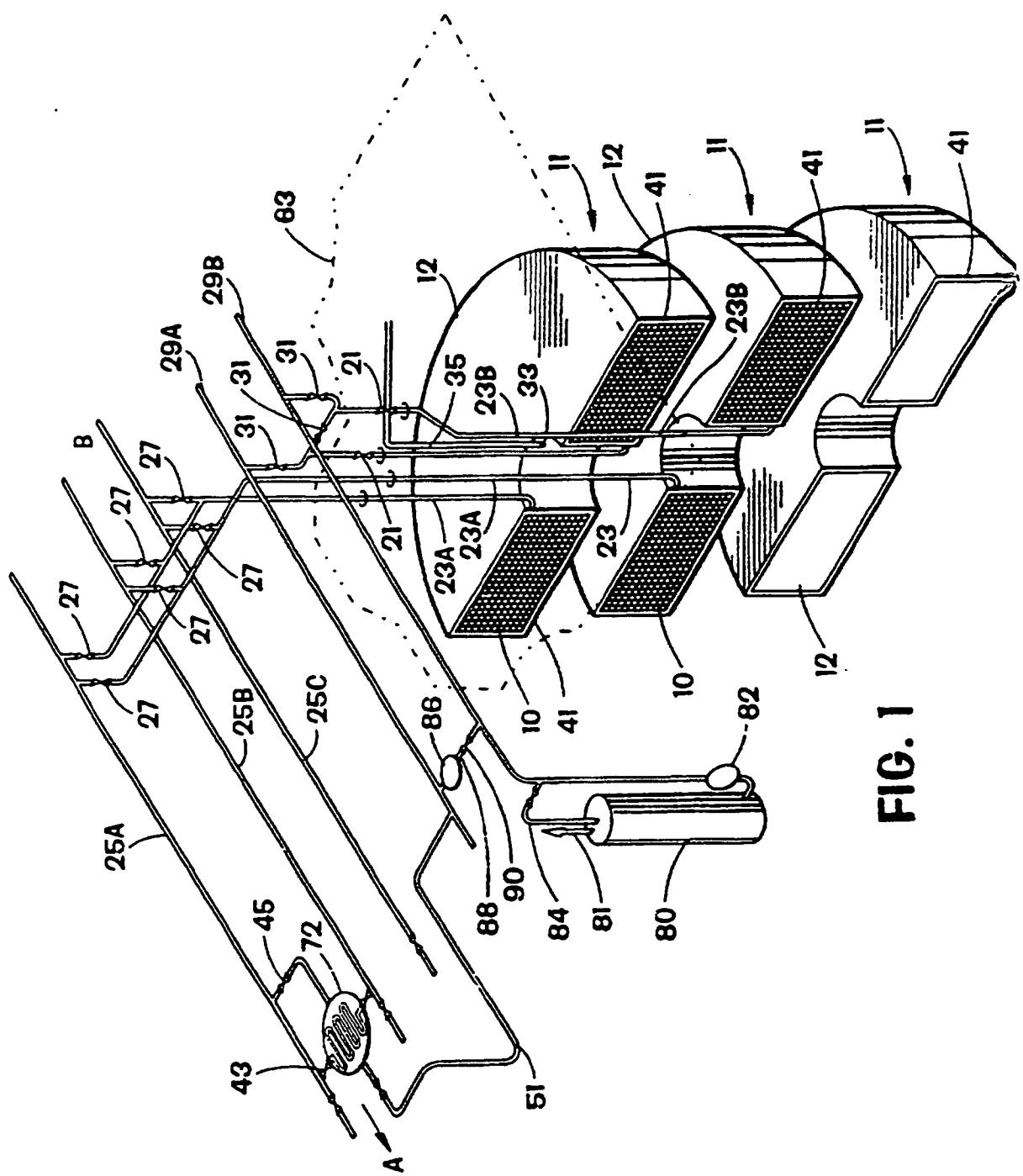
21. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die durchgehende Röhre (10) einen Außendurchmesser hat, der größer als 2,54 cm (ein Zoll) ist, sowie einen Innendurchmesser, der kleiner als 25,4 cm (zehn Zoll) ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Lagen der Röhre (10) aneinander stoßen.

23. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Windungen der Röhre (10) aneinander stoßen.

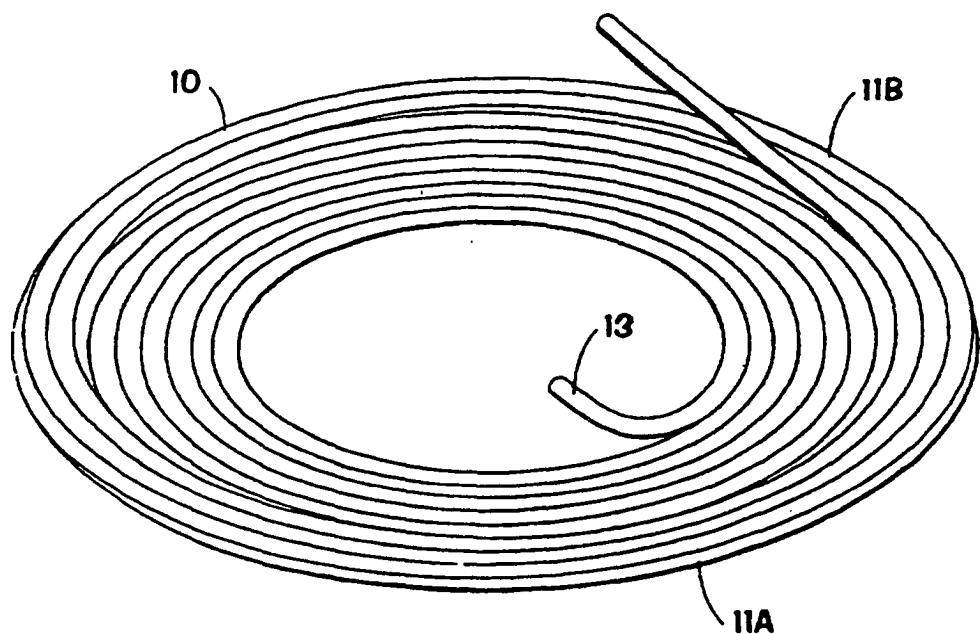
Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

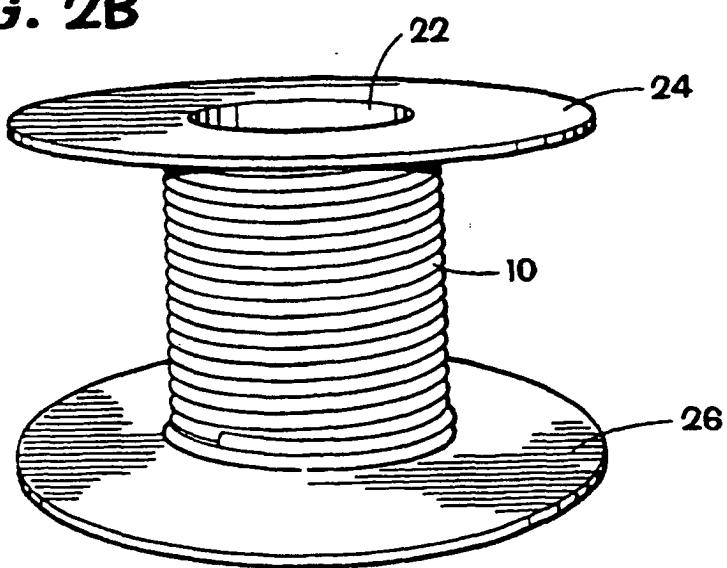


—  
FIG.

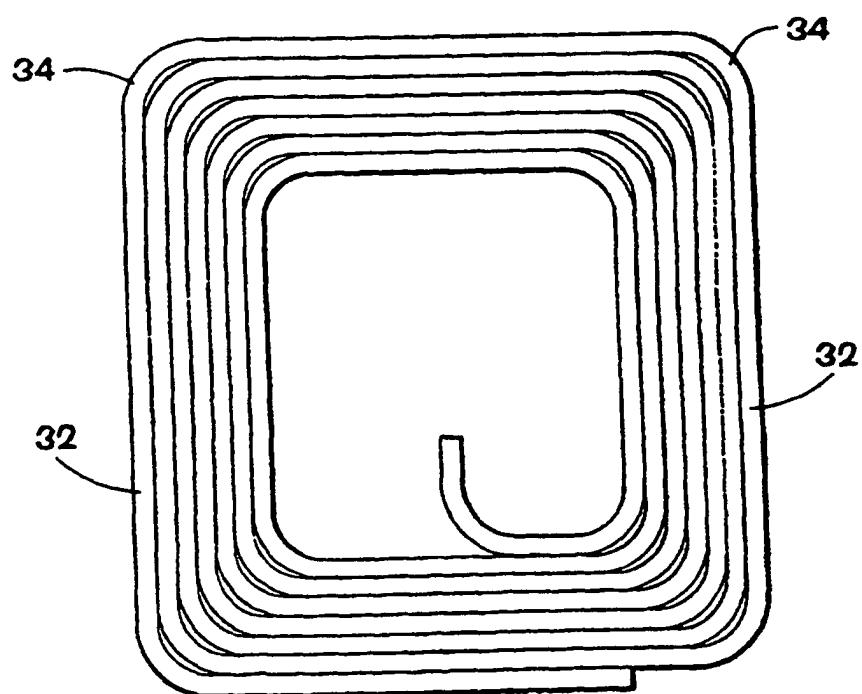
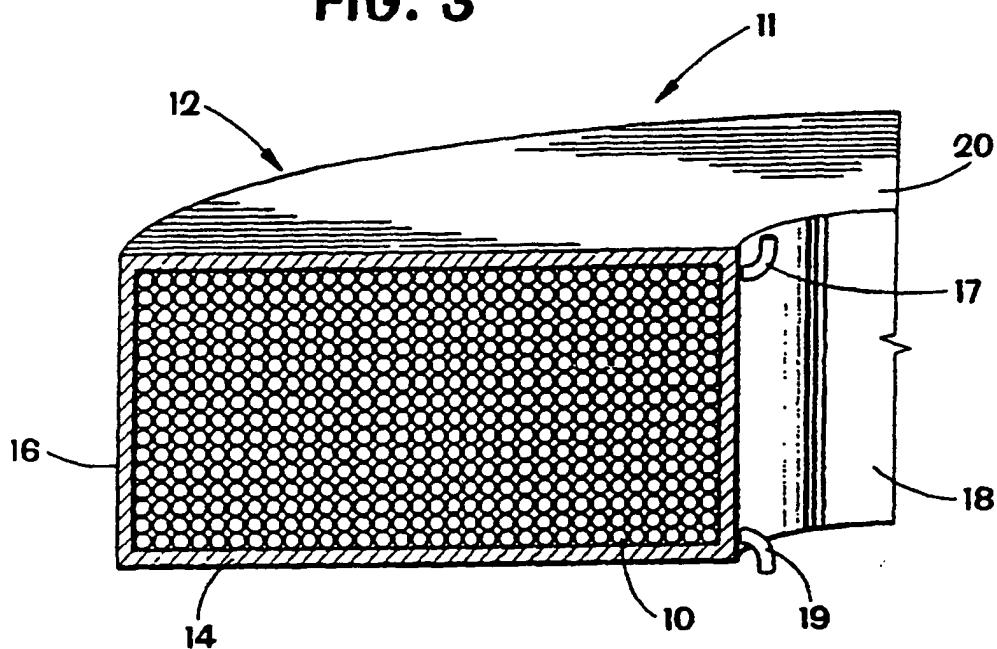
**FIG. 2A**



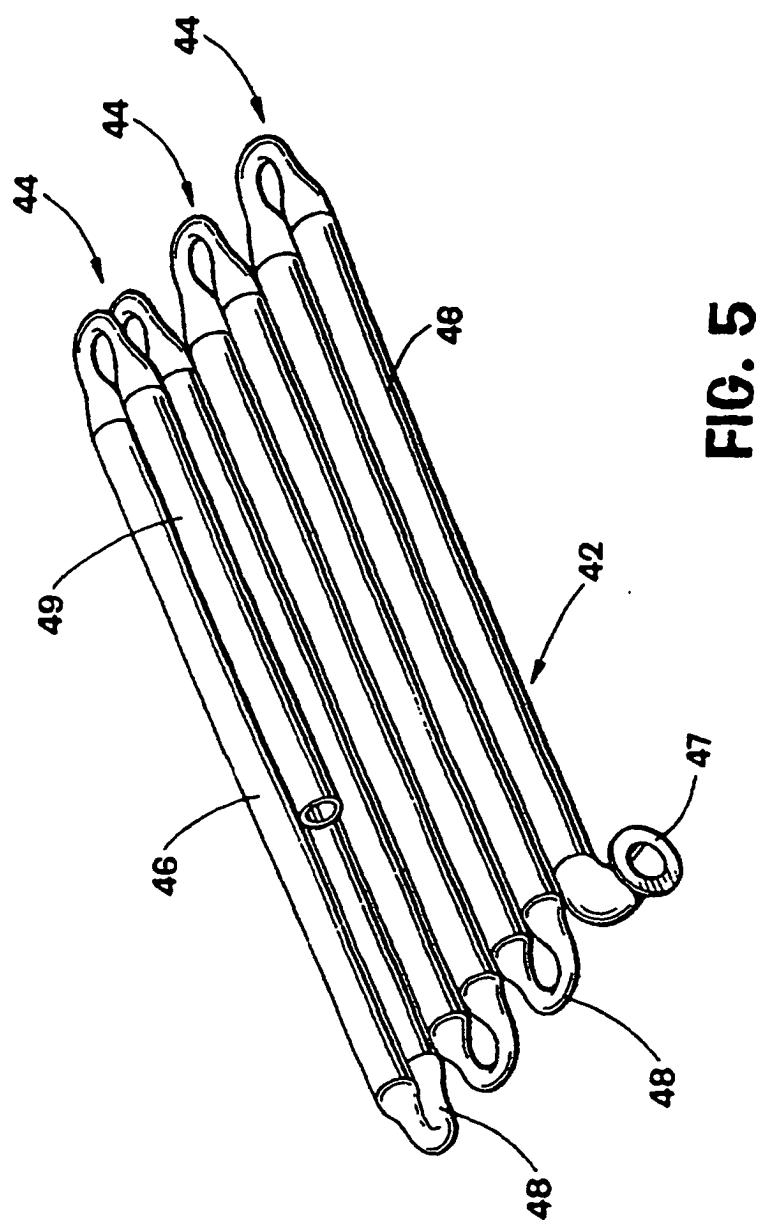
**FIG. 2B**



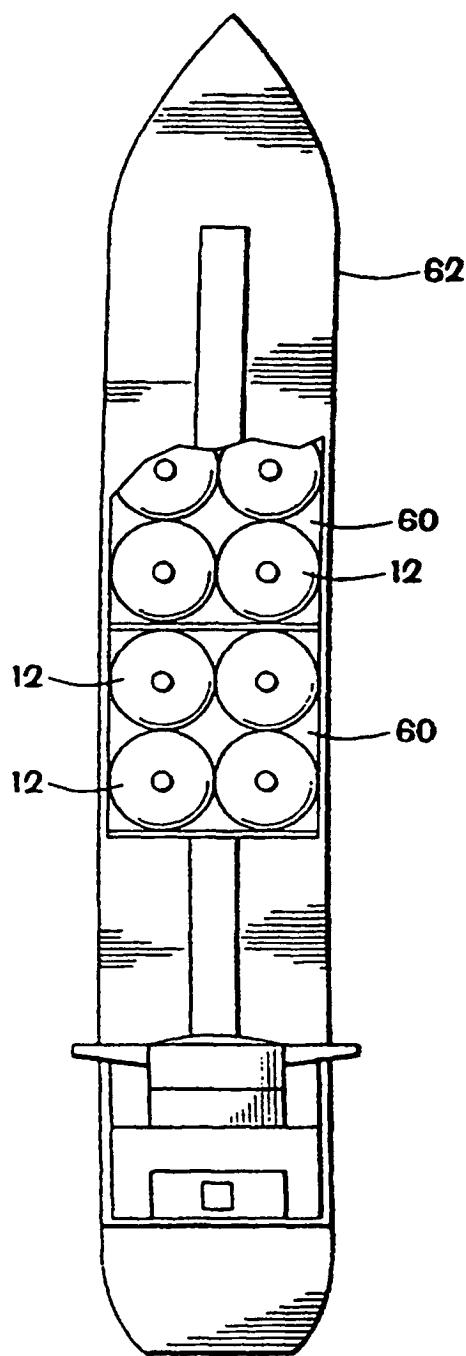
**FIG. 3**



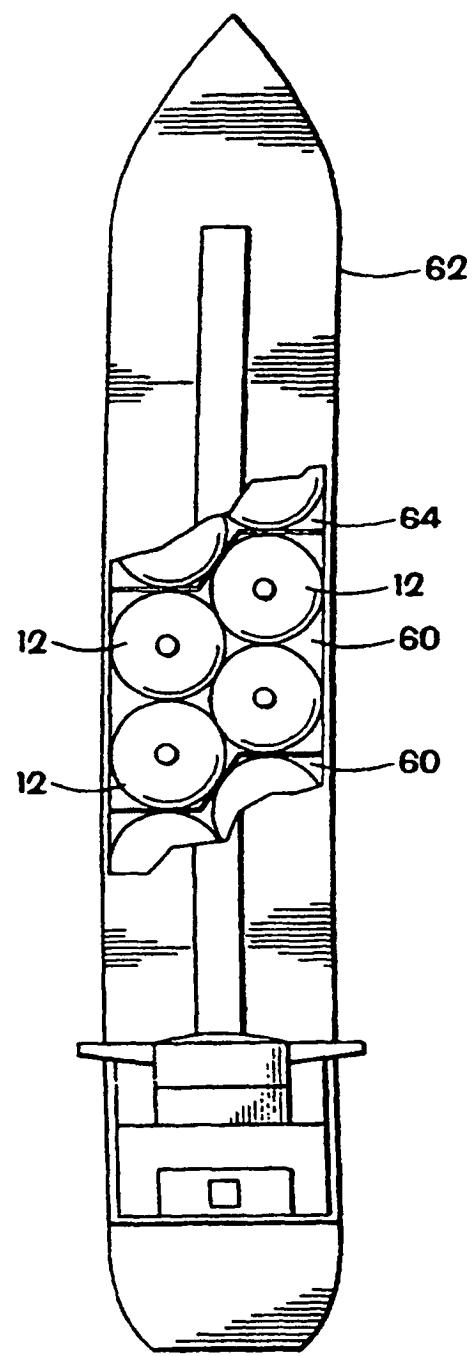
**FIG. 4**



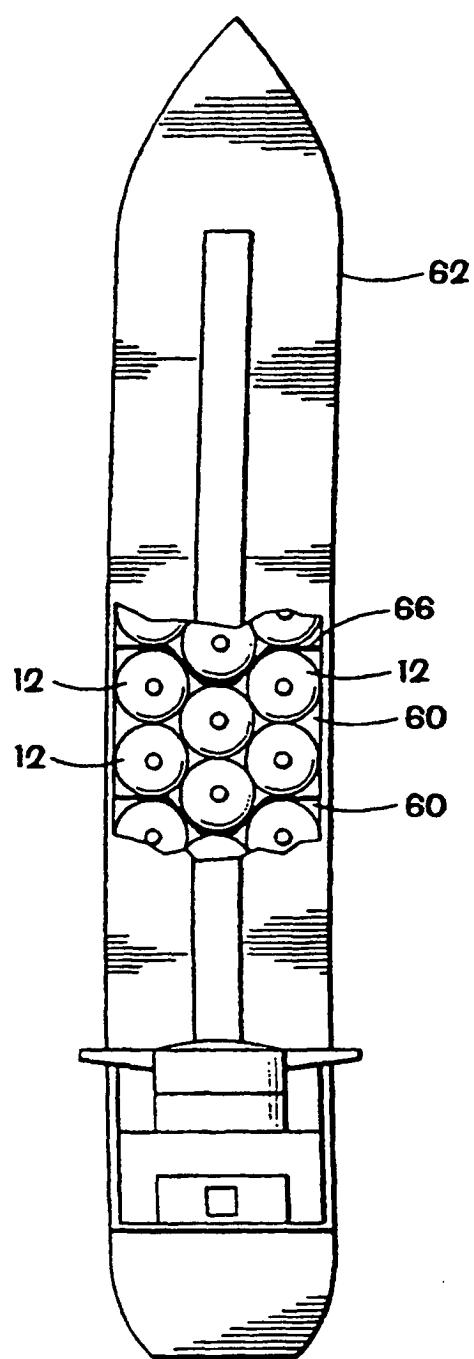
**FIG. 5**



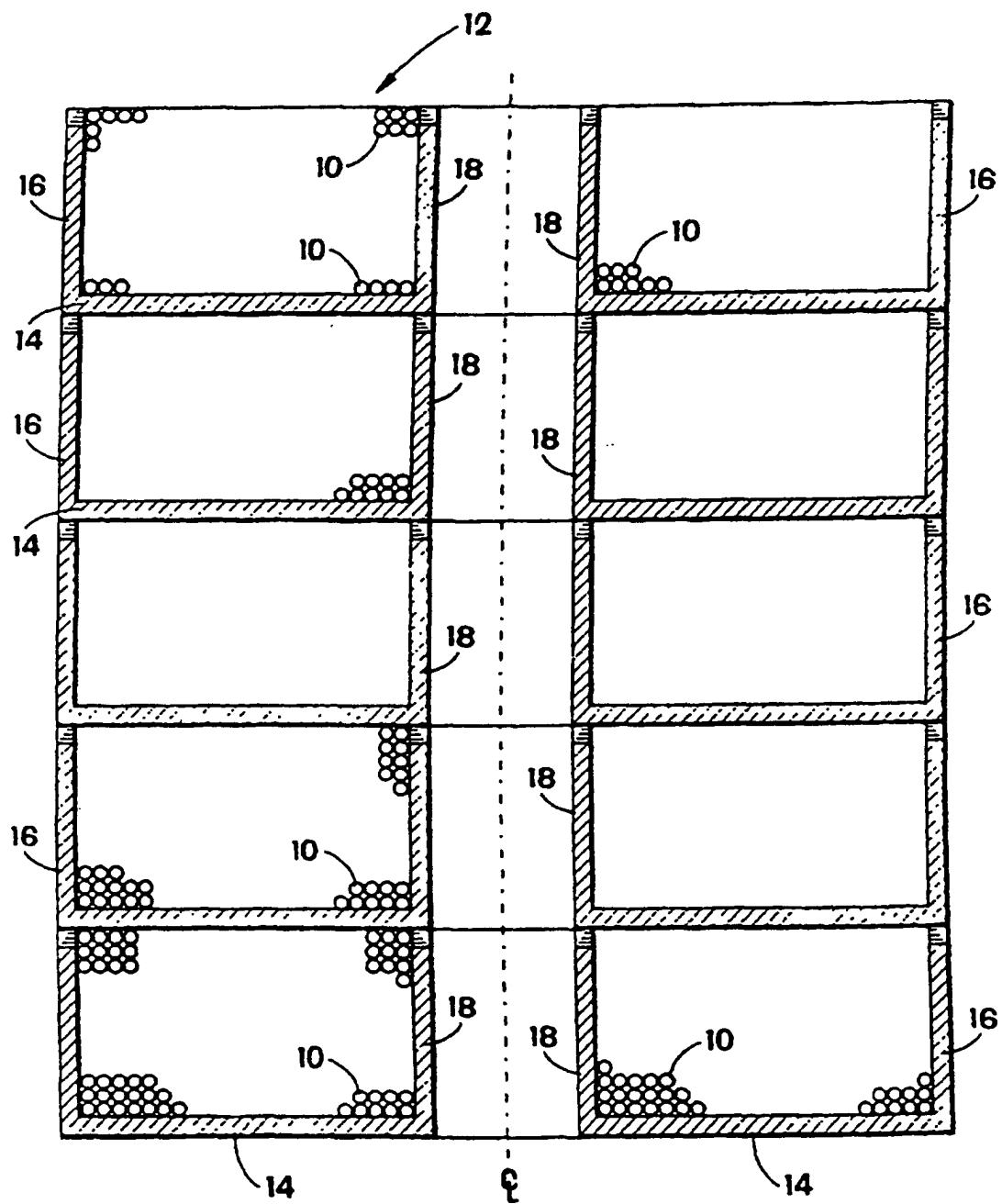
**FIG. 6**



**FIG. 7**

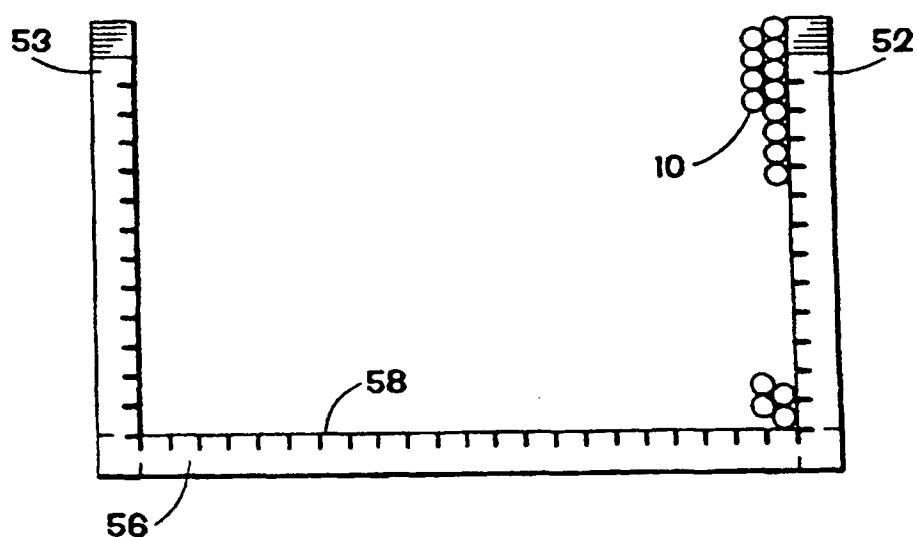
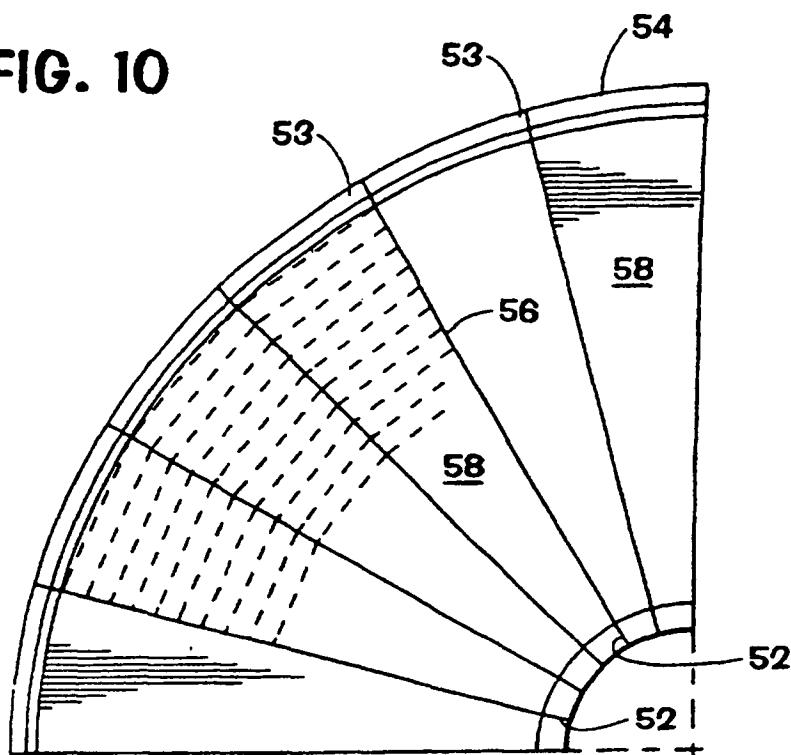


**FIG. 8**



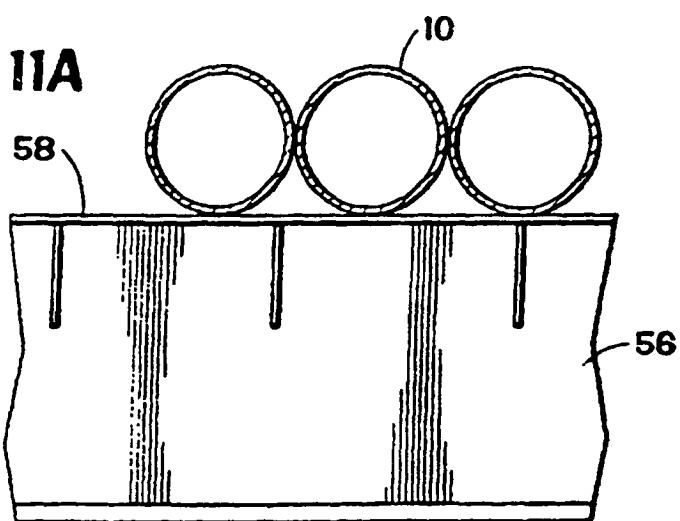
**FIG. 9**

**FIG. 10**

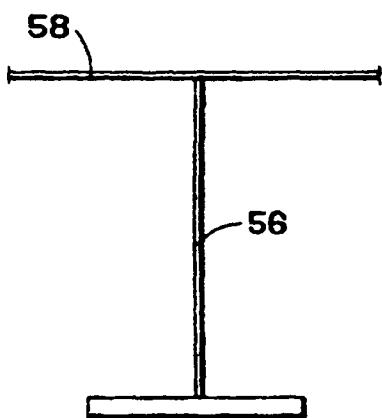


**FIG. 10A**

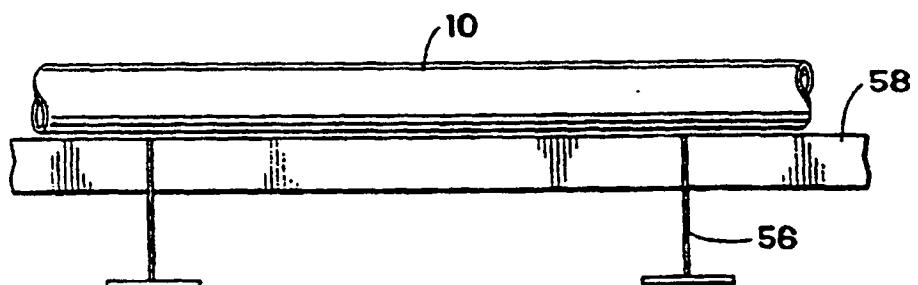
**FIG. 11A**



**FIG. 11B**



**FIG. 11C**



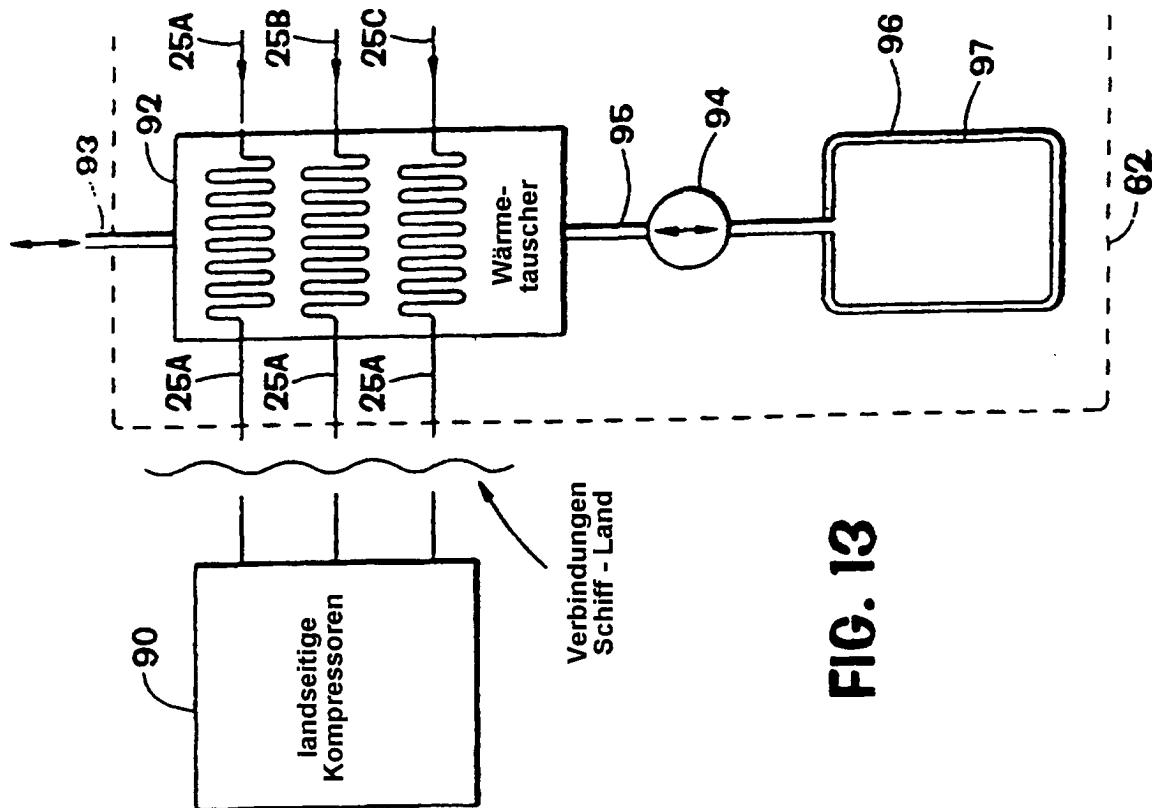


FIG. 13

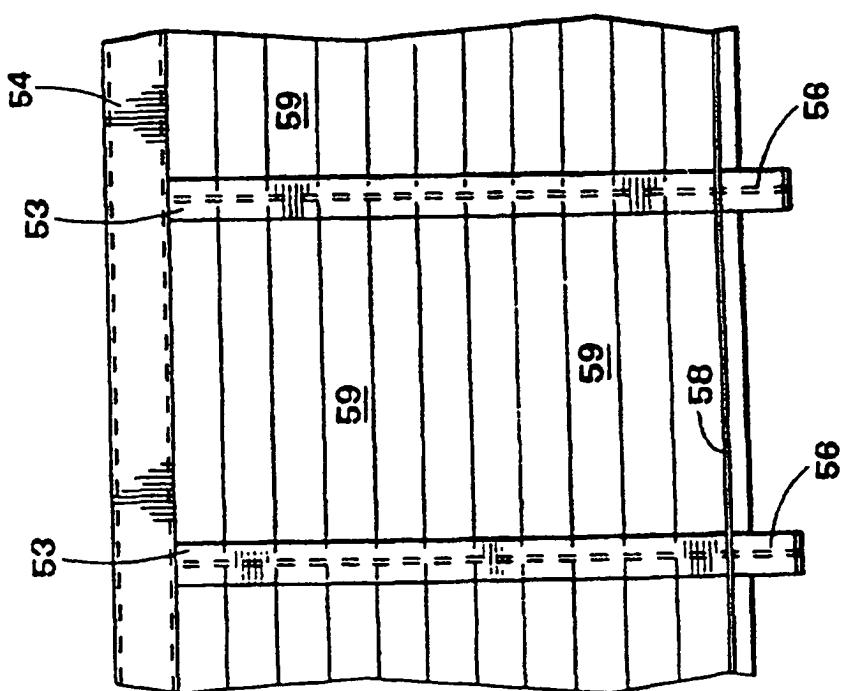


FIG. 12