



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**15.08.2007 Patentblatt 2007/33**

(51) Int Cl.:  
**F17C 1/16 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **07090008.9**

(22) Anmeldetag: **26.01.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK YU**

(30) Priorität: **09.02.2006 DE 102006006902**

(71) Anmelder: **Gräfenthaler Kunststofftechnik GmbH**  
**98743 Gräfenthal (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Gunzenheimer, Uwe**  
**98743 Gräfenthal (DE)**  
• **Stürmer, Oskar**  
**15517 Fürstenwalde (DE)**

(74) Vertreter: **Hannig, Wolf-Dieter**  
**Cohausz Dawidowicz Hannig & Sozien**  
**Friedlander Strasse 37**  
**12489 Berlin (DE)**

(54) **Druckbehälter aus Kunststoff und Verfahren zu seiner Herstellung**

(57) Die Erfindung betrifft einen Druckbehälter aus Kunststoff, insbesondere Druckluftbehälter für Bremskraftanlagen und pneumatische Hilfseinrichtungen an Lastkraftwagen, Trucks, Omnibussen, Schienenfahrzeugen oder an Feuerlöschanlagen und eine Verfahren zu seiner Herstellung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Composit-Druckbehälter der eingangs genannten Art so zu verbessern, dass die komplexe Eigenschaftsgewährleistung von Bremsluftbehältern wie hohe Zähigkeiten auch bei niedrigen Temperaturen, hohe Schlag- und Bruchfestigkeit bei dynamischer Beanspruchung im Überdruckbereich von 8,5 bis 20 bar, eine hohe Lebensdauer von mindestens 15 Jahren trotz ständiger Lastwechselbeanspruchung und Korrosionsfestigkeit erreicht wird. Gelöst wird diese Aufgabe dadurch, dass der

Druckbehälter (1) mit Polkappen (9) aus einen aus Kugelabschnitten zusammengesetzter oder als Rotationsellipsoid (11) geformter mehrlagiger Körper ausgebildet ist, wobei das Verhältnis aus Polkappenradius (RP) und Radius (RM) des Mantelmittenbereichs (10) des Druckbehälters (1) ein Verhältnis von mindestens 1:2,5 bis 1:5 erreicht, wobei die Wand der Polkappen (9) und die Wand des Mantelmittenbereichs (10) unter gleicher Krümmung ansatzlos ineinander übergehen.

Dieser Druckbehälter wird zu einem Körper aus zusammengesetzten Kugelabschnitten oder als Rotationsellipsoidkörper mit einem Polkappenradius-/Mantelradius-Verhältnis von mindestens 1:2,5 bis 1:5 in den Arbeitsschritten Spritzen des Liners, Aufschweißen der Armierungsschichten beim Bewickeln auf den Liner und Umspritzen des armierten Liners geformt wird.

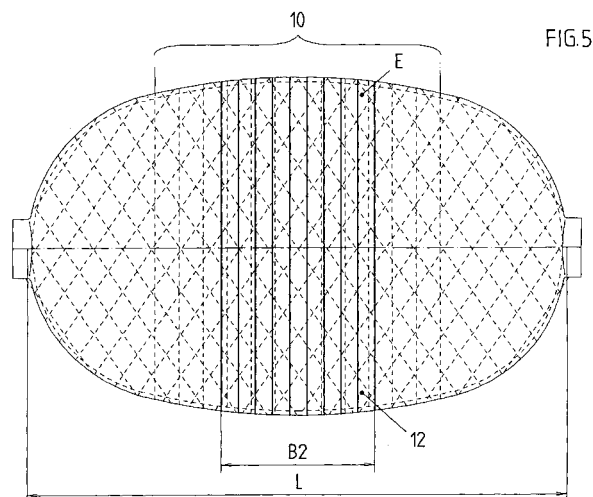


FIG. 5

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Druckbehälter aus Kunststoff, insbesondere Druckluftbehälter für Bremskraftanlagen und pneumatische Hilfseinrichtungen an Lastkraftwagen, Trucks, Omnibussen, Schienenfahrzeugen oder an Feuerlöschanlagen, mit einem Behältermantel aus einem spritzgußgeformten, aus Linerteilen zusammengesetzten Linerkörper aus faserverstärktem Polyethylen, Polypropylen, oder Polyamid, in dessen Polkappen Anschlussmuffen unverlierbar eingeformt sind, einer auf dem Linerkörper angeordneten Armierungsschicht aus Glasfaserband und einer auf letzterer angeordneten spritzgußgeformten unverlierbaren Umhüllung aus faserverstärktem Polyethylen, Polypropylen, oder Polyamid.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Druckbehälters aus Kunststoff, insbesondere Druckluftbehälter für Bremskraftanlagen und pneumatische Hilfseinrichtungen an Lastkraftwagen, Trucks, Omnibussen, Schienenfahrzeugen oder an Feuerlöschanlagen, bei dem zunächst Linerteile mit Polkappen aus glasfaserverstärktem Polyethylen-, Polypropylen- oder Polyamidgranulat mittels Spritzgießen in einem Spritzgießwerkzeug gespritzt werden, wobei im Zentrum der Polkappen eingebrachte Anschlussmuffen vom Kunststoff eingebettet werden, die Linerteile durch Fügen in einer Fügmaschine zu einem Linerkörper miteinander verbunden werden, der gefügte Linerkörper mit einer Armierungsschicht aus Glasfasern in einer Wickelmaschine bewickelt wird und der so armierte Linerkörper mit einer Umhüllung aus faserverstärktem Polyethylen, Polypropylen, oder Polyamid umspritzt wird.

## Stand der Technik

**[0003]** Die Verwendung von Linern aus thermoplastischem Kunststoff bei der Herstellung von Druckbehältern ist hinreichend bekannt (siehe u.a. EP 0 635 672 A1, DE 197 51 411 C1, DE 198 32 145 A1, DE 100 00 705 A1, EP 0 147 042, EP 0 666 450 A1, WO 84/03065 A1, WO 95/22030 A1).

**[0004]** So ist aus EP 0 635 672 A1 ein Druckbehälter, insbesondere Druckspeicherbehälter für Bremskraftanlagen und pneumatische Hilfseinrichtungen an Lastkraftwagen, Trucks, Omnibussen, Schienenfahrzeugen u.ä. oder für Feuerlöschanlagen bekannt, der aus einem flüssigkeitsdichten spritzgußgeformten Liner bzw. Grundkörper aus Thermoplast wie Polypropylen, Polyethylen, Polyamid u.ä. besteht, in dem Öffnungen für Anschlußmuffen vorgesehen sind und einer auf dem Liner angeordneten Armierungsschicht. Der Liner besteht aus einem als verlorene Form ausgebildeten Körper aus mit kurzen Glasfasern verstärktem Thermoplast und ist allseitig von einer einstückigen unverlierbaren Hülle umgeben. Die Hülle besteht aus mit kurzen Fasern, vorzugsweise Glasfasern, verstärkten und mit Füllstoffen versetzten Polypropylen oder Polyamid oder modifizierten Polypropylenether oder Polyphenylsulfid oder Polyetherimid. Die Armierungsschicht setzt sich aus im Kreuzverbund unter etwa 55° zueinander gewickelten Glasfasern oder Metalldrähten oder Drahtgeflechten zusammen.

**[0005]** In der DE 198 32 145 A1 und der DE 199 37 470 A1 sind Behälter zur Speicherung fester, flüssiger und/oder gasförmiger Medien unter einem Betriebsdruck oberhalb des Atmosphärendrucks offenbart, wobei der Behälter einen zur Speicherung des Mediums vorgesehenen Hohlraum umschließt und wobei mindestens ein Anschluß zum Be- und/oder Entladen vorgesehen ist. Der Druckbehälter besteht wenigstens teilweise aus einem Rohr, welches wiederum aus faserverstärktem, thermoplastischem Kunststoff hergestellt ist, wobei das Material des Rohrs zu mehr als 10 Vol.-% aus Fasern mit einer durchschnittlichen Faserlänge von mehr als 50 mm besteht. Der Boden ist als separates Teil ausgebildet und besteht ebenfalls aus einem Faser-Kunststoff-Verbundmaterial mit Kurz-, Lang- oder Endlosfasern. Der Boden ist dabei nach innen gewölbt in den Behälterraum ausgebildet. Am Boden ist ein umlaufender Kragen angeordnet, der an der Innenwandung des Mittelteils anliegt und mit diesem verbunden ist.

**[0006]** Bei dem Stand der Technik nach DE 198 32 145 A1 handelt es sich um einen Composit-Druckbehälter zur Speicherung von gasförmigen Medien unter Druck mit einem Liner aus Kunststoff und zwei im Halsbereich angeordneten Halsstücken sowie mit einer den Liner verstärkenden Wicklung eines Faserverbundwerkstoffes, von denen mindestens eines zur Aufnahme eines einschraubbaren, ein Gewinde aufweisenden Ventils ausgebildet ist und beide Halsstücke in dem dem Druckbehälter zugewandten Eckbereich mit einem flach verlaufenden kegelstumpffartigen Kragen versehen sind, der innenseitig vom Liner und außenseitig von der verstärkenden Wicklung umgeben ist. Die Polkappen des Druckbehälters sind mit einer schlagabsorbierenden Schicht versehen.

**[0007]** Die DE 100 00 705 A1 beschreibt einen mit einem Faserkunststoffverbund verstärkten Kunststoffkernbehälter zur Speicherung von flüssigen und/oder gasförmigen Medien unter Druck, der ein oder mehrere Anschlußstücke im Hals und/oder Boden und/oder zylindrischen Behälterteil aufweist, von denen mindestens ein Anschlußstück zur Aufnahme einer einschraubbaren zylindrischen oder konischen Gewinde aufweisenden Druckleitungszuführung wie z.B. ein Ventil oder Rohrleitungsanschluß ausgebildet ist. Im Anschlußzapfen des Kunststoff-Kernbehälters ist ein zylindrisches Insert mit einem am Anschlußzapfenende einhüllendes bzw. umlaufendes Kragenende montiert, wobei mindestens zwei Dichtungen in der Weise angeordnet sind, dass mindestens eine Dichtung zwischen Insert und Innenoberfläche des Kunststoffanschlußzapfens des Kunststoffkernbehälters sowie mindestens eine weitere Dichtung zwischen Insert und Druckleitungszuführung angeordnet ist.

**[0008]** Nach der EP 0 147 042 A1 ist ein Behälter zur Lagerung und zum Transport von Fluiden unter Druck bekannt, der einen thermoplastischen inneren blasgeformten bzw. Liner aus Polyethylen, Polyethylentertaphlat, Polypropylen, Polyvinylchlorid oder Polyvinylidenchlorid besitzt, welcher mit einer äußeren Schicht aus Kohlenstoff-Fasern, Polyamidfasern, Glasfasern, glasfaserverstärkten Polyesterfasern oder glasfaserverstärkten phenolischen Epoxidharz umwickelt wird.

**[0009]** Des weiteren ist aus der EP 0 518 272 A1 ein Behälter bekannt, der ein unter Druck stehendes Fluid aufnehmen soll, mit einem Mantel von in wesentlichen zylindrischer Form und zwei im wesentlichen sphärischen Böden, die den Mantel an seinen Enden verschließen. Der Behälter weist eine äußere Hülle aus Verbundmaterial, eine mit der äußeren Hülle fest verbundene innere Hülle, eine erste Öffnung, die die innere und äußere Hülle durchstößt und ein Verstärkungselement der äußeren Hülle um die erste Öffnung herum auf, das sich im Inneren der äußeren Hülle befindet und ebenfalls eine Öffnung enthält, die mit der zweiten Öffnung zusammenwirkt. Die erste Öffnung befindet sich im Mantelbereich und ist mit Mitteln zur Befestigung des Behälters versehen. Das Verstärkungselement ist zwischen der inneren und äußeren Hülle eingefügt. Es weist eine zur Innenseite des Behälters ausgerichtete ebene Seite und einen derart angepassten Umriss auf, dass die Außenoberfläche des Behälters beibehalten wird. Das Verstärkungselement nimmt mindestens die gesamte Länge des Mantels ein.

Die innere Hülle wird gegossen, wobei die Form so gewählt wird, dass das Einfügen des Verstärkungselements nicht das für den Behälter vorgesehene Profil stört. Die äußere Hülle besteht aus einem Fasermaterial, das auf die mit dem Verstärkungselement versehenen inneren Hülle aufgewickelt wird. Anschließend wird eine Wärmebehandlung des Behälters vorgenommen.

**[0010]** Der in der EP 0 666 450 A1 beschriebene Druckbehälter umfasst einen aus Kunststoff bestehenden Liner mit einem zylindrischen Mittelteil, zwei kalottenförmigen Endteilen und einen den Liner umfüllenden Außenmantel mit einer Mehrzahl in radialer Richtung übereinander angeordneten Tangentialwicklungen und Axialwicklungen aus einem faserverstärktem Kunststoff, wobei die unterste Wicklung als Tangentialwicklung ausgebildet ist und sich in axialer Richtung im wesentlichen über den zylindrischen Mittelteil des Liners erstreckt. Die unterste Wicklung im Mittelbereich weist eine erste Dicke auf und geht an beiden Enden in einen Wicklungsrand über, welcher eine zweite Dicke aufweist, die größer ist als die erste Dicke.

**[0011]** Ebenso ist es bekannt, den Liner mit glasfaserverstärkten Bändern sowohl in Längs- als auch in Querrichtung zur Linerachse zu bewickeln (siehe DE 2 152 123 A1, DE 2 423 497 A1, DE 2 516 395 C2, DE 38 21 852 A1, EP 0 147 042 A1, EP 0 588 836 A1, EP 0 635 672 B1, EP 0 666 450 A1, WO 90/01649 A1, US 3 112 234 A, US 4 905 856 A).

**[0012]** Aus der DE 2 152 123 A ist ein Druckbehälter, insbesondere Druckgasbehälter bekannt, der aus einem formstabilen, rotationssymmetrischen, gasdichten und in seinem mittleren Bereich zylindrischen Innenbehälter, zwei von außen auf die Böden des Innenbehälters koaxial aufgesetzten Polstücken und einem auf den Innenbehälter unter Erfassung der Polstücke gewickelten, aus Endlosfäden und ausgehärtetem Kunststoff laminierten Außenmantel besteht, wobei ein Boden des Innenbehälters und das darauf aufgesetzte Polstück mit einer Öffnung zum dichten Anschluss eines Ventils o. dgl. vorgesehen sind.

**[0013]** In dem bekannten Stand der Technik nach DE 2 423 497 A1 wird ein Verfahren zur Herstellung eines faserverstärkten kunstharzgetränkten Hohlkörpers im Wickelverfahren mit einem im Fertigteil verbleibenden Dorn beansprucht, wobei als Dorn ein den Aufbau der Struktur des Hohlkörpers mitbewirkender faserverstärkter Stützkörper geformt und ausgehärtet wird. Der Stützkörper hat zwei Endkappen und ist mit mindestens einer den Stützkörper und die Endkappen erfassenden Wickelschicht versehen. Die Wickelschichten werden in Form von Längswicklungen mit spitzem Wickelwinkel und in Form von Umfangswicklungen von annähernd 90° aufgebracht.

**[0014]** Die DE 2 516 395 A1 offenbart einen Druckbehälter, der als ein Aluminiumgefäß ausgebildet ist, das einen zylinderförmigen Teil und an jedem Ende des zylinderförmigen Teils ein haubenförmiges Endteil besitzt, wobei das zylinderförmige und die haubenförmige Teile im wesentlichen eine gleiche Dicke haben. Um das Aluminiumgefäß ist eine Wicklungsanordnung aus abwechselnd in polar orientierten und in Umfangsrichtung orientierten Glasfasergewebe vorgesehen. Mindestens eine in Umfangsrichtung orientierte Wicklungsanordnung ist über die Verbindungsstellen zwischen dem zylinderförmigen und den haubenförmigen Endteilen gewickelt. Die Umwicklung befindet sich in einem vorbelasteten Zustand, so dass Druckkräfte auf die äußere Oberfläche des Gefäßes ausgeübt werden.

**[0015]** Nach der DE 38 21 852 A1 ist eine Druckgasflasche für hohen Gasdruck bekannt, die aus einem Aluminiumliner und aus einer umfangsseitigen Schicht aus glasfaserverstärktem Kunststoff besteht, wobei der Liner einen zylindrischen Bereich und sphärisch geformte Polkappen mit Anschlußstutzen aufweist. Der Liner einschließlich seiner Polkappen ist mit einer ersten Schicht von Glasfasern in Kreuzwicklung versehen. Eine zweite Schicht ist hauptsächlich im zylindrischen Teil des Liners vorgesehen, wobei die Glasfasern in einer Umfangswicklung vorliegen.

**[0016]** Die WO 01/57429 A1 beschreibt einen faserverstärkten Druckbehälter, dessen gas- oder flüssigkeitsdichter Körper mit Faserband vollständig umwickelt ist, wobei die Faserbänder nicht in einer Matrix eingebettet und zumindest eine Zahl von Faserbändern zueinander frei beweglich sind. Die Faserbänder sind so gewickelt, dass sobald der Druckbehälter unter inneren Druck steht, die Faserbänder exakt in ihrer Längsrichtung belastet werden.

**[0017]** Aus der EP 0 588 836 A1 ist ein Kunststofftank bzw. Behälter bekannt, der mit Glasfasern oder entsprechenden

Verstärkungsfilamenten verstärkt ist und aus bevorzugterweise zylindrischen Tankhälften zusammengesetzt ist, wobei jede einen Boden und einer der beiden Böden eine Verbindungsöffnung hat. Die offenen Enden der Tankhälften sind konisch angeschrägt und ineinander als ein Einfügeteil in ein Aufnahmeteil eingesetzt und durch einen Kleber zusammengehalten. Die Tankhälften enthalten äußere und innere Schichten, die im wesentlichen quer verlaufende Verstärkungsstränge sind, wobei die innere Schicht des Einfügeteils und die äußere Schicht des Aufnahmeteils jeweils eine Schicht aus dicht angeordneten Verstärkungssträngen in einer Anzahl von Lagen aus flach liegenden Rovings enthält. Dieser bekannte Stand der Technik offenbart auch ein Verfahren zum Herstellen eines Verstärkungskörpers aus Fasersträngen zum Einsetzen in eine Gießform zum Gießen eines faserverstärkten Zylinders mit einem geschlossenen Ende, auf dem längs- und querverlaufende Verstärkungsstränge aufgewickelt sind, die durch Erhitzen schmelzbaren Harzpulvers miteinander verbunden werden.

**[0018]** Des weiteren ist aus der US 3 112 234 A ein Verfahren zur Herstellung eines faserbewickelten Druckbehälters aus Stahl bekannt, bei dem zunächst der zylindrische Behälter annähernd in seiner Längsrichtung und anschließend in Querrichtung mit Fasersträngen bewickelt wird.

**[0019]** Auch für die Integration von Anschlußmuffen oder sonstigen Bauteilen in Composite-Behälter ist eine Vielzahl von Lösungen bekannt (DE 25 38 433 A1, DE 195 26 154 A1, DE 196 31 546 C1, DE 197 51 411 C1, DE 100 00 705 A1, EP 0 550 951 B1, EP 0 553 728 A1, WO 94/23240 A1, US 4 685 589, US 4 905 856, US 5 287 988 A).

**[0020]** So offenbart die DE 25 38 433 A1 einen Druckbehälter, der aus einem formstabilen, gasdichten und in seinem mittleren Bereich zylindrischen Innenbehälter, zwei von außen auf die Böden des Innenbehälters koaxial aufgesetzten Polstücken und einem unter Erfassung der Polstücke auf den Innenbehälter gewickelten Außenmantel aus glasfaserverstärktem Kunststoff, wobei ein Boden des Innenbehälters und das mit einem flanschförmigen Teil darauf aufgesetzte Polstück mit einer Öffnung zum dichten Anschluß eines Anschlussstückes versehen sind und der Innenbehälter an seinem Öffnungsrand einen angeformten axial nach außen gerichteten und zylindrischen Hals aufweist, dessen Kontur mit der des Polstücks und des Anschlussstückes übereinstimmt und der durch das mit dem Polstück durch Schraubverbindungen zusammenhängenden Anschlussstück radial gegen das Polstück gepresst wird.

Der Innenbehälterhals, die Innenkontur des Polstücks und die Außenkontur des Anschlussstückes sind konisch nach außen verengend ausgebildet.

**[0021]** Beim bekannten Composite-Behälter nach DE 195 26 154 A1 zur Speicherung von gasförmigen Medien unter Druck besteht der Liner aus Kunststoff und hat zwei im Halsbereich liegende Öffnungen, in denen je ein die Öffnung verschließendes und/oder abdichtendes Halsstück angeordnet ist, von denen mindestens eines zur Aufnahme eines einschraubbaren Ventils ausgebildet ist. Beide Halsstücke sind mit einem in dem Druckbehälter zugewandten Endbereich mit einem flachverlaufenden, kegelstumpfförmigen Kragen versehen, der von den Elementen des Liners und/oder der verstärkenden Wicklung umgeben ist sowie mit einer die Mittelachse als Symmetrieachse einschließenden und von der Innenseite her sich erstreckenden Ausnehmung, die im Fall des Ventilhalsstücks in die Bohrung des Ventilschraubbereichs übergeht.

**[0022]** Bei einem weiteren bekannten Composite-Druckbehälter (DE 196 31 546 C1) zur Speicherung von gasförmigen Medien unter Druck mit einem Liner aus Kunststoff und zwei im Halsbereich angeordneten Halsstücken sowie mit einer den Liner verstärkenden Wicklung eines Faserverbundwerkstoffs, von denen mindestens eines zur Aufnahme eines einschraubbaren, ein zylindrisches Gewinde aufweisenden Ventils ausgebildet ist und beide Halsstücke in dem dem Druckbehälter zugewandten Endbereich mit einem flachverlaufenden kegelstumpfförmigen Kragen versehen ist, dessen Rand stark abgerundet und dessen Neigung dem Konturverlauf des Liners im Übergangsbereich vom zylindrischen Mantelbereich zum Halsbereich angepasst ist, kommt die verstärkende Wicklung im am Halsstück angrenzenden Bereich der Oberseite des Kragens und im Randbereich der Oberseite sowie der Unterseite des Kragens der Liner zur Anlage.

**[0023]** Alle diese bekannten Druckbehälter aus Kunststoff weisen einen, aus dem Metallbehälterbau übernommenen zylindrischen Mittel- oder Mantelteil auf, der durch entsprechende Böden beiderseits verschlossen wird. Vor allem bei kalottenförmigen oder auch nach innen gewölbten Böden entstehen im Übergang vom Mantel- in den Bodenbereich Spannungsspitzen, die häufig zum Bruch an diesen Übergängen oder zum Lösen des Bodenteils vom Mantelteils führen. Es gilt die Grundregel, je kleiner der Übergangsradius um so größer ist die Gefahr eines Spannungsbruchs trotz Verstärkungsmaßnahmen unterschiedlichster Art.

Selbst der Übergang von einem zylindrischen Mantelbereich in einen sphärischen Polbereich mit einem etwas größeren Radius vermag die Bruchgefahr, insbesondere bei an- und abschwellender Dauerbeanspruchung wie sie insbesondere in Bremskraftanlagen auftritt, nicht genügend zu reduzieren (DE 38 21 852 A1). Die im Behältermantel verlaufenden Spannungslinien der Spannungsrésultanten werden im Biegebereich (Übergang) vom zylindrischen Mantel in den Bodenbereich durch die sehr hohen Lastwechsel so verstärkt, dass zwangsläufig ein Überschreiten der Bruchspannung eintritt. Deshalb haben sich die bekannten Druckbehälter vor allem für Bremsluftanlagen im LKW- und Schienenfahrzeugbau bisher nicht durchsetzen können. Es kommen deshalb nach wie vor metallische, insbesondere Druckbehälter aus Stahl mit all ihren Nachteilen wie hohes Gewicht, erhebliche Fertigungsaufwendungen und Korrosionsanfälligkeit zum Einsatz.

**[0024]** Bei diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Composit-Druckbehälter der

eingangs genannten Art so zu verbessern, dass die komplexe Eigenschaftsgewährleistung von Bremsluftbehältern wie hohe Zähigkeiten auch bei niedrigen Temperaturen, hohe Schlag- und Bruchfestigkeit bei dynamischer Beanspruchung im Überdruckbereich von 8,5 bis 20 bar, eine hohe Lebensdauer von mindestens 15 Jahren trotz ständiger Lastwechselbeanspruchung und Korrosionsfestigkeit erreicht wird.

#### Aufgabenstellung

**[0025]** Diese Aufgabe wird durch einen Druckbehälter der eingangs genannten Gattung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 18 gelöst.

**[0026]** Vorteilhafte Ausgestaltungen des Druckbehälters und des Verfahrens sind den Unteransprüchen entnehmbar.

**[0027]** Die erfindungsgemäße Lösung zeichnet sich dadurch aus, dass der Mantel- und Bodenbereich des Druckbehälters in eine für eine gleichmäßigere und damit gefahrlosere Verteilung der Axial- und Radialspannungen geeignete Konstruktionsform gebracht wird, die nicht mehr aus einem zylindrischen Mantelteil und einem sphärischen Bodenteil besteht, sondern die Form eines Rotationsellipsoids aufweist, wodurch eine weitgehende Annäherung an die Kugelform ermöglicht wird. Der Linerkörper besitzt demzufolge eine annähernd ellipsoide Körperform, so dass keine scharfen Übergänge zwischen Boden- und Mantelbereich entstehen. Durch die weitgehend gleichmäßige Krümmung in Längsrichtung der Behälterwandung auch im ursprünglich zylindrischen Mantelbereich verteilen sich die Zug- und Radialbeanspruchungen sehr gleichmäßig auf alle Wandbereiche und eine Spannungskonzentration im Wandübergang vom Mantel zum Boden wird merklich vermindert.

**[0028]** Eine besonders für die Vergleichmäßigung der Zug- und Druckspannungen geeignete Körperform wird erreicht, wenn das Verhältnis aus dem Radius der Polkappen zum Radius der Linerteile 1:2,5 bis 1:5 beträgt. Die Wand der Polkappen und die Wand im Mittelbereich des Druckbehälters sind gleichmäßig gekrümmt und gehen ansatzlos ineinander über.

**[0029]** Die Körperform des Rotationsellipsoids wird auch beim Aufbringen der kunststoffummantelten Armierungsschicht aus Glasfaserband und der Kunststoffummantelung auf dem Liner beibehalten, so dass ein Druckbehälter entsteht, der erstmals mit der aus dem Stahlbehälterbau übernommenen zylindrischen Körperform bricht und nicht mehr mit letzterer vergleichbar ist.

Die Kunststoffummantelung des Glasfaserbands ermöglicht es, die Glasfaserbänder mit dem Liner und die nebeneinander- bzw. übereinander liegenden Glasfaserbänder während des Wickeln stoffschlüssig miteinander zu verbinden.

Es hat sich gezeigt, dass besonders mit dem Laserschweißen die erforderlich hohen Geschwindigkeiten beim Fügen erreicht werden können. Da gewissermaßen die Verstärkung auf dem Liner aufgeschweißt wird, kann die aus Kugelabschnitten gebildete Körperform bzw. die Körperform des Rotationsellipsoids auch beim Armieren des Liners problemlos eingehalten werden. Der Liner ist zweckmäßigerweise mit Wasser gefüllt, mit dem die entstehende Wärme abgeführt wird.

**[0030]** Der erfindungsgemäße Druckbehälter erreicht eine äußerst hohe Lastwechselfestigkeit von weit mehr als 25000 Lastwechseln, hat ein gegenüber den Druckbehältern aus Stahl oder Behältern mit bewickelten Metall-Linern wesentlich geringeres Gewicht, ist durch seine als Dämmschicht ausgeführte Umhüllung schlagzäh, bruchstabil und unterliegt keiner äußeren Korrosion. Durch die besondere Formgebung der Umhüllung erhält der erfindungsgemäße Druckbehälter eine spezifische äußere Befestigungsstruktur, die es ermöglicht, die an Lastkraftwagen, Trucks Omnibussen oder Schienenfahrzeugen vorhandenen Befestigungselemente zur Befestigung weiterhin zu nutzen.

**[0031]** Das erfindungsgemäße Verfahren gestattet es ferner, den Automatisierungsgrad bei der Herstellung der Druckbehälter durch den Einsatz von Baukastenwerkzeugen und die Integration der Prüftechnologie in den Fertigungsablauf erheblich zu steigern.

**[0032]** Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Druckbehälter haben eine Wiederholgenauigkeit von 100%, wodurch keine Volumenschwankungen im Luftvolumen auftreten.

**[0033]** Es ist weiterhin von besonderem Vorteil, dass in die Umhüllung Typen-, Hinweis und Firmenschilder unverlierbar eingebracht werden können, so dass die Behälter direkt mit erzeugnispezifischen Prüfangaben entsprechend den Abnahmebedingungen versehen werden können, wobei eine separate, nachträglich aufwendige Kennzeichnung der Behälter entfallen kann.

**[0034]** Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen.

#### Ausführungsbeispiel

**[0035]** Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

Es zeigt

**[0036]** Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Druckbehälter in Schnittdarstellung,

[0037] Fig. 2 einen Liner in Schnittdarstellung mit eingespritzten Muffen,

[0038] Fig. 3 einen mit einer ersten Verstärkungswicklung in Längsrichtung des Linerkörpers in schematischer Darstellung,

[0039] Fig. 4 eine Darstellung der auf der ersten Verstärkungswicklung nach Fig. 3 aufgetragenen zweiten Verstärkungswicklung in Umfangsrichtung des Liners,

[0040] Fig. 5 einen Liner mit einer dritten Verstärkungswicklung aus kunststoffummantelten Glasfaserband auf der zweiten Lage im Mantelmittelbereich des Linerkörpers in Umfangsrichtung in schematischer Darstellung,

[0041] Fig. 6 einen mit Armierungsschicht verstärkten, in ein Spritzgießwerkzeug eingelegten Liner zum Umspritzen mit einer Umhüllungsschicht,

[0042] Fig. 7a eine Darstellung der Umhüllung mit einer Befestigungsvariante als Teilansicht,

[0043] Fig. 7b eine Vorderansicht der Befestigungsvariante nach Fig. 7a,

[0044] Fig. 8a eine weitere in die Umhüllung eingeformte Befestigungsvariante als Teilansicht,

[0045] Fig. 8b eine Vorderansicht der Fig. 8a und

[0046] Fig. 9 eine Ansicht der Anschlußmuffe im Druckbehälter.

[0047] Der in Fig. 1 gezeigte erfindungsgemäße Druckbehälter 1 für eine nicht dargestellte Bremsluftanlage eines Lastkraftwagens soll einen Inhalt von 10 l haben und somit dem Nenninhalt eines herkömmlich aus Stahl hergestellten Druckbehälters mit zylindrischen Mittelabschnitt und Klöpperböden entsprechen.

[0048] Der Druckbehälter 1 besitzt einen inneren Linerkörper 2 (siehe Fig. 2), der sich aus zwei Linerteilen 3 und 4 zusammensetzt, eine mehrlagige, mit dem Linerkörper 2 stoffschlüssig durch Schweißen verbundene Armierungsschicht 5 und eine Umhüllung 6. Die beiden Linerteile 3 und 4 bestehen aus mit Glasfasern kurzer Länge verstärkten Polyethylen und werden auf einer herkömmlichen Spritzmaschine in einem Spritzgießwerkzeug hergestellt. Jeweils an ihren offenen Stirnseiten 7 werden die Linerteile 3 und 4 durch Spiegelschweißen stoffschlüssig und gasdicht miteinander verbunden. Die Anschlußmuffe 8 des Druckbehälters 1 sind aus korrosionsbeständigem Metall, beispielsweise Messing, und werden beim Spritzgießen an den Polkappen 9 bis auf den inneren axialen Durchgang allseitig vom Polyethylen umschlossen, so dass die Muffen 8 unverlierbar und gasdicht im Zentrum der Kappen 9 festliegen.

Die Spritzgießwerkzeuge zur Herstellung der Linerteile 3 und 4 sind Baukastenwerkzeuge, bei denen durch Kern- und Manteleinsätze das Volumen entsprechend vergrößert oder verkleinert werden kann (Fig. 6). Somit sind die erfindungsgemäßen Linerteile 3 und 4 in den üblichen Durchmesserbereichen für Druckbehälter in der Länge variabel und damit auch im Volumen variabel herstellbar.

[0049] Die bei Innendruck auftretenden Kräfte auf den Druckbehälter 1 äußern sich in axialen und tangentialen Spannungen, die sich an jedem Punkt der Behälterwandung überlagern und als resultierende Spannung auftreten. Optimale Behälterdimensionierungen sind dann erreicht, wenn jeder Punkt der Behälterwandung gleiche resultierende Spannungen aufnimmt.

[0050] Behälter aus metallischen Werkstoffen oder Behälter mit scharfen Übergängen (starken Krümmungen) vom Mantel werden diesen Anforderungen nicht gerecht, so dass gerade in diesen Bereichen hohe resultierende Spannungen auftreten, die regelmäßig zum Undichtwerden des Druckbehälters bei hohen Wechselbelastungen führen.

[0051] Die Polkappen 9 und der mittlere Mantelbereich 10 des Linerkörpers 2 des erfindungsgemäßen Druckbehälters 1 haben die Form eines aus Kugelabschnitten gebildeten Körpers oder eines Rotationsellipsoids 11 (siehe Fig. 2), wobei die Polkappen 7 etwa halbkugelförmig ausgebildet sind und übergangslos in den Mantelbereich 10 übergehen. Der Druckbehälter 1 erhält ein bauchiges Design (siehe Fig. 1).

[0052] Der Radius  $R_P$  der Polkappe 7 beträgt in dem vorgestellten Beispiel 103,3 mm, der Radius  $R_M$  des Mantelbereichs 302,3 mm, so dass sich ein Verhältnis der beiden Radien zueinander von 1:2,92 ergibt. Bei diesem Verhältnis erreicht der erfindungsgemäße Druckbehälter 1 ein Optimum zwischen den der Dimensionierung zugrunde liegenden Kräfteverhältnissen und den Beanspruchungsbedingungen.

[0053] Die mehrlagige Armierungsschicht 5 besteht aus einem Endlosglasfaserband 12 mit einer Ummantelung 13 aus Polyethylen.

Während des Umwickelns des Linerkörpers 2 mit der ersten tangentialen Wickellage A (siehe Fig. 3) des Endlosglasfaserbands wird die Kunststoffummantelung 13 aus Polyethylen mittels Laser, Lichtbogen o.ä. erhitzt, örtlich aufgeschmolzen und mit der Oberfläche des Linerkörpers 2 verschweißt, so dass Linerkörper 2 und die erste Wickellage A eine stoffschlüssige Einheit bilden. Die nachfolgende zweite und dritte Wickellage B und C des Endlosglasfaserbands 12 wird ebenso aufgebracht, so dass die nebeneinander und übereinander liegenden Ränder des Bands 12 miteinander verschweißt werden. Die aufgetragene Armierungsschicht 5 erhält dadurch ebenfalls die Körperform der zuvor beschriebenen Kugelabschnitte oder des Rotationsellipsoids 11 (siehe Fig. 4 und 5).

[0054] Auf die mehrlagige Armierungsschicht 5 folgt die durch Spritzgießen aufgetragene Umhüllung 6, die aus einem kurzen Glasfasern enthaltenen Polyethylen besteht. Das Polyethylen kann auch mit Treibmitteln versetzt sein. Die Umhüllung 6 sichert die Armierungsschicht 5 in ihrer Funktion und ist zugleich als Schutzschicht ausgebildet, wobei für den Fall eines Zusatzes mit Treibmitteln auch eine Dämmung erreicht wird. In die Umhüllung 6 sind entweder Befestigungselemente integriert oder die Umhüllung 6 ist selbst zu einem spezifischen Befestigungselement 14 ausgeformt (siehe

Fig. 7a und 7b und 8a und 8b). Dieses Befestigungselement **14** kann demzufolge so ausgebildet sein, dass die bisher übliche Befestigung mittels Spannbändern (Fig. 7a und 7b) beibehalten werden kann oder durch eine direkte Verschraubung (Fig. 8a und 8b) erfolgt.

**[0055]** Entsprechende Hinweisschilder, Typenschilder, Firmenlogos oder sonstige Bezeichnungen oder Beschriftungen können vorgefertigt und unverlierbar in die Umhüllung **6** eingebracht sein. Dies bietet auch die Möglichkeit, die Hinweisschilder oder Typenschilder oder sonstigen Bezeichnungen mit digitalen Informationsträgern zu versehen, deren Informationen durch eine entsprechende RFID-Konfiguration gelesen und abgerufen werden können.

**[0056]** Die Fig. 9 zeigt die durch Umspritzen mit Kunststoff in der Polkappe **7** des Linerkörpers **2** festgelegte Anschlußmuffe **8** aus Metall, beispielsweise Messing. Auf die Anschlußmuffe **8** wirken infolge des Innendrucks im Druckbehälter **1** bzw. Linerkörper **2** Scherkräfte, die versuchen, die Anschlußmuffe **8** aus dem Kunststoffverbund herauszudrücken. Beim Ein- oder Ausschrauben von Verschlußstopfen oder Schraubstutzen in die Anschlußmuffe **8** entstehen Umfangskräfte, die versuchen, die Anschlußmuffe **8** aus dem Kunststoffverbund herauszudrehen. Schließlich wirkt im Betriebszustand des Druckbehälters noch eine ständig auf- und abschwellige Kraft auf die Anschlußmuffe **8** ein.

**[0057]** Damit all diese Kräfte aufgenommen werden können, ohne dass die Verbindung zwischen Anschlußmuffe **8** und Kunststoffverbund beeinträchtigt wird, besitzt die Anschlußmuffe **8** einen Flansch **15** und einen genügend langen zylindrischen Teil **16**, in dem zur Vergrößerung der Scherfläche Rillen, Einstiche und Absätze **17** eingebracht sind. Dies ermöglicht eine formschlüssige Verbindung zwischen Anschlußmuffe **8** und dem Kunststoffverbund mit genügend hohem Scherwiderstand.

**[0058]** Über den gesamten zylindrischen Teil **16** der Anschlußmuffe **8** ist eine feinzahnige Rändelung **18** vorhanden, die in der Lage ist, sowohl Umfangskräfte als auch Scherkräfte in ausreichender Größe aufzunehmen.

**[0059]** Um eine dauerhaft dichte Verbindung zwischen Anschlußmuffe **8** und Kunststoffverbund zu gewährleisten, wirkt bei Innendruckbelastung eine Anpresskraft des Kunststoffverbunds auf den zylindrischen Teil **16** der Anschlußmuffe **8** infolge der Hebelwirkung über den Einstich **17** der Muffe **8**. Die Anschlußmuffe **8** ist innenseitig mit einer Ausdrehung **19** versehen, in die eine eingespritzte Kunststofflippe **20** der Linerwandung **21** des jeweiligen Linerteils **3, 4** hineinragt.

**[0060]** Durch den im Betriebszustand ständig vorherrschenden Innendruck wirkt eine Anpresskraft der Lippe auf die Metallinnenfläche, die umso mehr zunimmt, je höher der Innendruck steigt. Die im Umfang der Anschlußmuffe **8** eingebrachten Rändelungen **18**, Einstiche und Absätze **17** sorgen zusätzlich für eine Vergrößerung der Oberfläche um bis zu 80%, so dass die für die Dichtheit maßgeblichen Berührungsflächen zwischen Metall und Kunststoff erheblichen zunehmen und die Dichtheit gewährleistet ist.

**[0061]** Die Herstellung des erfindungsgemäßen, aus den Lagen Linerkörper **2**, Anschlußstutzen **8**, Armierungsschicht **5** und Umhüllung **6** bestehenden Druckbehälters wird nachfolgend im Einzelnen beschrieben.

**[0062]** Die Linerteile **3** und **4** werden auf einer herkömmlichen Spritzgießmaschine gespritzt, so dass eine weitergehende nähere Beschreibung verzichtbar ist.

**[0063]** Ausgangsmaterial für das Spritzen des Linerkörpers ist ein Kunststoffgranulat aus Polyethylen, dem ein Kurzfasergehalt compounding oder als eine reine Zumischung mit einem Anteil von bis zu 30% Gewichtsanteilen zugefügt wird.

**[0064]** Die eingesetzten Spritzgießwerkzeuge sind Baukastenwerkzeuge, die so aufgebaut sind, dass immer zwei deckungsgleiche Linerteile **3** und **4** hergestellt werden können. Kern und Kalotte der Werkzeuge sind mit scheibenförmigen kühlfähigen Segmenten ausgerüstet, die ein Verlängern bzw. ein Verkürzen der Aktivelemente im jeweiligen Durchmesserbereich ermöglichen. Für jeden Behälterdurchmesser wird dadurch nur ein Werkzeug erforderlich. Die kühlfähigen Segmente werden entsprechend im Spritzgießwerkzeug paarweise ausgetauscht. Die Einbauteile und Anschlußmuffen werden mit an sich bekannten Handlinggeräten in das Spritzgießwerkzeug eingelegt und umspritzt.

**[0065]** Das Einspritzen der Kunststoffschmelze erfolgt über eine Heißkanaldüse immer an der Stirnseite der Linerteile. Die Heißkanaldüse hat 12 sternförmige Verteilkanäle, die die Kunststoffschmelze in linearer und radialer Richtung mit dem Effekt einer teilweisen Faserausrichtung in Fließrichtung gleichmäßig verteilen. Durch diese Maßnahme erhöht sich die Druckfestigkeit des Linerkörpers erheblich.

**[0066]** Die im Spritzgießverfahren hergestellten Linerteile **3** und **4** werden anschließend stoffschlüssig miteinander verbunden. Dies geschieht dadurch, dass die Stirnseiten **7** der Linerteile **3** und **4** zueinander ausgerichtet und mittels Spiegelschweißen miteinander verschweißt werden. Es versteht sich, dass die Schweißparameter entsprechend der gewählten Kunststoffmischung abgestimmt sind und auch andere geeignete Fügeverfahren von der Erfindung erfasst sind.

**[0067]** Nach dem Schweißen wird der gefügte Linerkörper **2** auf Gasdichtheit geprüft, in dem der Linerkörper **2** in Wasser verbracht, untergetaucht und mit Luft bei einem Prüfdruck von 2,5 bar beaufschlagt wird. Vorhandene Undichtigkeiten werden durch vom Linerkörper **2** aufsteigende Luftbläschen angezeigt.

Der Gasdichtheitsprüfung voraus geht eine Sicherheitsprüfung, bei der der Linerkörper unter einer hermetischen Abschirmung mit Luft bei einem Prüfdruck von 3,5 abgedrückt wird. Dieser Druck wird dann auf dem eingangs erwähnten Dichtheitsprüfstand auf 2,5 bar reduziert.

**[0068]** Der Sicherheits- und Dichtheitsprüfstand ist eine komplexe Baugruppe, die zusätzlich mit einer Trocknungseinrichtung zum Trocknen des Linerkörpers ausgerüstet ist. Die Bedienung dieses komplexen Prüfstandes ist nur au-

torisiertem Personal vorbehalten, das über die entsprechenden Zulassungen für Druckbehälter o.ä. verfügt.

**[0069]** Im folgenden Verfahrensschritt wird der zuvor auf Sicherheit und Dichtheit geprüfte Linerkörper **2** blasenfrei mit einem inkompressiblen Medium wie Wasser gefüllt und die Anschlußmuffen **8** mit Verschlußstopfen flüssigkeitsdicht verschlossen. Dieses Medium stabilisiert den Linerkörper, nimmt die bei den nachfolgend näher beschriebenen Verfahrensschritten eingetragene Wärme gefahrlos auf und dient damit zugleich als Kühlmittel.

**[0070]** Sofern Kunststoffe mit einem höheren Schmelzpunkt zur Anwendung kommen sollen, werden in die Anschlußmuffen Füllventile eingesetzt, die sicherstellen, dass das inkompressible Medium unter Druck gehalten im Kreislauf durch den Linerkörper **2** gefahren werden kann.

**[0071]** Die Verschlußstopfen sind mit einem konischen Zapfen versehen, die zum Einspannen und zur Lagesicherung des Linerkörpers **2** in zentrierter Lage der Wickelmaschine dienen.

**[0072]** Als Wickelmaterial kommen aus mit Polyethylen ummantelte Endlosglasfasern zum Einsatz, die zu einem Band mit rechteckigem Querschnitt gesintert sind. Anstelle von Polyethylen kann aber auch Polypropylen oder ein anderer geeigneter Thermoplast verwendet werden. Andere thermoplastische Kunststoffe sind ebenso geeignet.

**[0073]** Die Armierung des Linerkörpers **2** wird mit dem Aufbringen einer ersten Wickellage **A** eines kunststoffummantelten Endlosglasfaserbands **12** zur Aufnahme der Axialspannungen bei gleichzeitiger Aufnahme der Radialspannungen begonnen. Die Wickellage **A** wird in einem Winkel von 55° zur Längsachse aufgewickelt und dient gleichzeitig zur Verstärkung der Polkappen des Druckbehälters.

**[0074]** Die Wickellage **A** wird während des Wickelns durch Laser erhitzt, die Kunststoffummantelung aufgeschmolzen und die Ränder der einzelnen Lagen miteinander und auf dem Linerkörper verschweißt.

**[0075]** Die Spannungsspitzen als Resultante aus Axial- und Radialspannungen treten regelmäßig auch im Mantelmittelbereich auf. Deshalb wird im nächsten Arbeitsschritt in Mantelmitte des Mantelmittenbereichs **10** des Linerkörpers **2** zunächst eine zweite Wickellage **C** als Umfangswicklung auf die erste Lage aufgebracht.

Die Wickelbreite **B1** der Wickellage **C** ist von Behälterlänge **L** und dem Behälterdurchmesser **D** abhängig.

**[0076]** Für die zweite Wickellage **C** gilt die Beziehung:  $B1 = 0,6 L - 0,1 D$ ,  
worin bedeutet:

B Wickelbreite  
L Behälterlänge  
D Behälterdurchmesser.

Während des Bewickelns des Linerkörpers **2** mit der zweiten Wickellage wird letztere wiederum mittels Laser erhitzt, aufgeschmolzen und mit dem Linerkörper **2** stoffschlüssig verschweißt. Es entsteht eine innige Verbindung zwischen erster und zweiter Lage.

**[0077]** Im nächsten Schritt wird auf die zweite Wickellage **C** eine dritte Wickellage **E** aufgewickelt. Die Wickellage **E** dient in Verbindung mit der Wickellage **C** einer gleichmäßigeren Radialspannungsverteilung und bildet eine Gürtellage im Mittellagenbereich.

**[0078]** Für die Lagenbreite der dritten Wickellage **E** gilt:  $B2 = 0,3 L - 0,1 D$ ,  
worin bedeutet:

B Wickelbreite  
L Behälterlänge  
D Behälterdurchmesser.

Die dritte Wickellage **E** wird wieder während des Umwickelns mittels Laser erhitzt, die Kunststoffummantelung aufgeschmolzen und die nebeneinander zu liegen kommenden Ränder des Endlosfaserbands miteinander verschweißt, wobei auch die darunter liegende zweite Lage mit der darüber liegenden Lage verschweißt wird. Die zweite Wickellage **C** und die dritte Wickellage **E** sind somit stoffschlüssig miteinander verbunden.

**[0079]** Die Medienfüllung verbleibt im fertig armierten Linerkörper **2** genauso wie die Verschlußstopfen in den Anschlußmuffen **8**. Dieser Zustand wird im folgenden Umspritzen des armierten Linerkörpers **2** beibehalten.

**[0080]** Das Umspritzen des armierten Linerkörpers **2** erfolgt in einer separaten, entsprechend vorbereiteten Spritzgießform im Zusammenspiel einer angepassten Spritzgießformgestaltung und einem geeigneten Kunststoff und dem Druckaufbau des Spritzmediums.

**[0081]** Die Spritzgießform ist mit mehreren Angussverteilkänen ausgestattet, die eine gleichzeitige Füllung der Hohlräume zwischen Form und eingelegten armierten Linerkörper ermöglichen. Die Angüsse sind im Polkappen- und Mantelbereich verteilt. Die Anspritzung erfolgt maschinenseitig gleichzeitig an den Polen durch einen runden Filmanguss, der im Heißkanal ausbalanciert ist.

**[0082]** Der armierte, mit dem inkompressiblen Medium gefüllte Linerkörper **2** wird in die geöffnete Spritzgießform eingelegt und an den konischen Ansätzen der Verschlußstopfen zentriert und beim Schließen der Form fest eingespannt,



nach dem der Innendruck des Füllmediums im Linerkörper **2** auf etwa 8 bis 10 bar bei einer Temperatur von 10 bis 15 °C eingestellt wurde.

**[0083]** In dieser Lage bildet der armierte Linerkörper **2** den Kern, der umspritzt wird. Durch das Erhöhen des Innendrucks auf etwa 8 bis 10 bar und weiterer technologischer erzeugnispezifischer Parameter können Lageveränderungen und örtliche Verformungen des Kerns durch die erheblichen Krafteinwirkungen während des Einspritzvorgangs vermieden werden.

**[0084]** Ausgangsmaterial für die Herstellung der Umhüllung ist ein Kunststoffgranulat aus Polyethylen, dem ein Kurzfaserteil zur Erhöhung der Festigkeit und ein Treibmittel zur Aufschäumung, beispielsweise jeweils compounding oder als eine reine Zumischung, zugefügt wird. Dies ermöglicht, gewünschte Festigkeitseigenschaften der Umhüllung, beispielsweise für die Integration entsprechender Befestigungselemente in die Umhüllung, und zugleich gewünschte Dämmeigenschaften der Umhüllung, beispielsweise zur Dämpfung plötzlicher Schläge, zu erreichen.

**[0085]** Das Polyethylen kann auch des weiteren durch Zugabe von Farbmitteln eingefärbt werden, so dass eine entsprechende Farbgebung des Druckbehälters entfallen kann und zusätzlich eine Farbkennzeichnung entsprechend des technischen Einsatzgebiets des Druckbehälters problemlos möglich wird.

**[0086]** In die Spritzgussform sind auswechselbare Stempel zur Aufbringung von Beschriftungen eingearbeitet, die dann auf der Behälteroberfläche erhaben oder vertieft erscheinen. Dies ermöglicht entsprechend dem Kundenwunsch Firmenbezeichnungen, Typenschildbeschriftungen, Hinweiszeichen, Zulassungszeichen, Logos u.ä. aufzubringen. Beschriftungen, Bilder bzw. Hinweiszeichen, Zulassungen lassen sich darüber hinaus auch in Form von Folien in die Spritzgießform einlegen, mittels Vakuum in geeigneter Position fixieren und beim Einspritzen mit der Umhüllung unlösbar verschmelzen. Dies gestattet es ferner, diese Folien mit digitalen Datenträgern zu versehen, die die entsprechenden technischen Daten, Zulassungsangaben usw. gespeichert enthalten und mittels RFED-Technik abrufbar sind.

Das aufwändige Aufkleben bzw. Aufschweißen der Firmenschilder kann so entfallen.

**[0087]** Zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Fließfähigkeit und einer gleichmäßigen allseitigen Formfüllung wird die Spritzgußform mit einer Temperatur von 80 °C gefahren. In dem hier dargestellten Beispiel betrug die Spritzgeschwindigkeit 15 mm/s, der Spritzdruck lag bei <40 bar, der Nachdruck bei 15 bar, die Intrusion bei 4-6 s und die Kühlzeit bei 120 s.

**[0088]** Die so nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Druckbehälter mit einem Nenninhalt von 10 L erreichten einen Berstdruck von 50 bis 60 bar ohne Splitterwirkung, eine Lastwechselfestigkeit von mehr als 25000 Lastwechseln, was einer Lebensdauer von etwa 20 Jahren entspricht.

**[0089]** Bezugszeichenliste

Druckbehälter	1
Linerkörper	2
Linerteile	3, 4
Armierungsschicht	5
Umhüllung	6
Stirnseite von 3, 4	7
Anschlußmuffe	8
Polkappen	9
Mittlerer Mantelbereich	10
Rotationsellipsoid	11
Endlosglasfaserband	12
Ummantelung von 12	13
Befestigungselement	14
Flansch von 8	15
Zylindrischer Teil von 8	16
Rillen	17
Rändelung	18
Ausdrehung	19
Kunststofflippe	20
Linerwandung	21
Erste Wickellage	A
Zweite Wickellage	C
Durchmesser des Behälters	D
Dritte Wickellage	E
Länge des Behälters	L
Radius Polkappe	RP
Radius Mantel	RM

## Patentansprüche

- 5 1. Druckbehälter aus Kunststoff, insbesondere Druckluftbehälter für Bremskraftanlagen und pneumatische Hilfseinrichtungen an Lastkraftwagen, Trucks, Omnibussen, Schienenfahrzeugen oder an Feuerlöschanlagen, mit einem Behältermantel aus einem spritzgußgeformten, aus Linderteilen zusammengesetzten Linerkörper aus faserverstärktem Polyethylen, Polypropylen oder Polyamid, in dessen Polkappen Anschlußstutzen unverlierbar eingeformt sind, einer auf dem Linerkörper angeordneten Armierungsschicht aus Glasfaserband und einer auf letzteren angeordneten spritzgußgeformten unverlierbaren Umhüllung aus faserverstärktem Polyethylen, Polypropylen oder Polyamid, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckbehälter (1) mit Polkappen (9) aus einen aus Kugelabschnitten zusammengesetzten oder als Rotationsellipsoid (11) geformten mehrlagigen Körper gebildet ist, wobei das Verhältnis aus Polkappenradius (RP) und Radius (RM) des Mantelmittenbereichs (10) des Druckbehälters (1) ein Verhältnis von mindestens 1:2,5 bis 1:5 erreicht, wobei die Wand der Polkappen (9) und die Wand des Mantelmittenbereichs (10) unter gleicher Krümmung ansatzlos ineinander übergehen.
- 15 2. Druckbehälter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Linerkörper (2) mit bis zu 30% Anteil Glasfasern verstärkt ist.
3. Druckbehälter nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Glasfasern aus Kurzfasern bestehen.
- 20 4. Druckbehälter nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Linerteile (3,4) des Linerkörpers (2) an ihren zueinander gewandten Stirnseiten (7) stoffschlüssig miteinander verbunden sind.
- 25 5. Druckbehälter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Armierungsschicht (5) aus einem mit Kunststoff ummantelten Endlosfaserverband (12) besteht, das auf dem Linerkörper (2) im Verbund so angeordnet ist, dass der umhüllende Kunststoff des Glasfaserverbandes durch Erhitzen mittels Laser, Lichtbogen oder offener Flamme eine innige form- und stoffschlüssige Verbindung des gesamten Verbunds ist.
- 30 6. Druckbehälter nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kunststoffummantelung (13) des Endlosfaserverbandes der Armierungsschicht (5) aus Polyethylen, Polypropylen oder Polyamid besteht.
7. Druckbehälter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umhüllung (6) zugleich eine Schutzschicht bildet, die die Armierungsschicht (5) zusätzlich sichernd fixiert.
- 35 8. Druckbehälter nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schutzschicht zusätzlich als Dämmschicht ausgebildet ist.
9. Druckbehälter nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umhüllung (6) als ein äußeres Befestigungselement (14) für die Aufnahme von Befestigungselementen der Lastkraftwagen, Trucks, Omnibusse, Schienenfahrzeuge oder Feuerlöschanlagen ausgebildet ist, die in oder an die Umhüllung stoffschlüssig ein- bzw. angeformt sind.
- 40 10. Druckbehälter nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in die Umhüllung (6) Inserts für Typenschilder, Hinweisschilder, Beschriftungen, Firmenschilder unverlierbar eingebracht sind.
- 45 11. Druckbehälter nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Inserts einen digitalen Informationsträger enthalten.
12. Druckbehälter nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in die Umhüllung (6) Farbstoffe beigegeben sind, die eine farbliche Kennzeichnung der Hülle entsprechend den Betriebsbedingungen gewährleisten.
- 50 13. Druckbehälter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Zentrum der Polkappen (9) eingeformte Anschlussmuffe (8) aus Metall, beispielsweise Aluminium, Kupfer, Messing, Titan, Tombak besteht, die bis auf ihre äußere Anlagefläche und das Innengewinde vom Kunststoff des Linerkörpers (2) umschlossen ist.
- 55 14. Druckbehälter nach Anspruch 1 und 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anschlussmuffe (8) innenseitig eine Ausdrehung (19) aufweist, in die eine Kunststofflippe (20) des Linerkörpers (2) hineinragt, wobei durch den im Innenraum des Linerkörpers wirkenden Innendruck die Lippe an die Ausdrehfläche dichtend angedrückt wird.
15. Druckbehälter nach Anspruch 1 und 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anschlussmuffe (8) einen Flansch

(15) und einen genügend langen zylindrischen Teil (16) aufweist, der außenseitig mit Rillen, Einstichen und Absätzen (17) zur Vergrößerung der Scherfläche versehen ist.

16. Druckbehälter nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zylindrische Teil (16) der Anschlussmuffe (8) außerdem eine feinzahnige Rändelung (18) zur Aufnahme von Umfangskräften und Scherkräften aufweist.

17. Druckbehälter nach Anspruch 1 und 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anschlussmuffe als ein einstückiger Mehrfachverteiler ausgebildet ist.

18. Druckbehälter nach Anspruch 1 und 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Innengewinde der Anschlussmuffe (8) ein Füllventil eingesetzt ist.

19. Verfahren zum Herstellen eines Druckbehälters aus Kunststoff, insbesondere Druckluftbehälter für Bremskraftanlagen und pneumatische Hilfseinrichtungen an Lastkraftwagen, Trucks, Omnibussen, Schienenfahrzeugen oder an Feuerlöschanlagen, bei dem zunächst Linerteile mit halbkugelförmigen Polkappen aus glasfaserverstärktem Polyethylen-, Polypropylen- oder Polyamidgranulat mittels Spritzgießen in einem Spritzgießwerkzeug geformt, wobei im Zentrum der Polkappen eingebrachte Anschlussmuffen vom Kunststoff umschlossen werden, die Linerteile durch Fügen in einer Fügemaschine zu einem Linerkörper miteinander verbunden werden, der gefügte Linerkörper mit einer Armierungsschicht aus Glasfasern im Kreuzverbund in einer Wickelmaschine bewickelt wird und der so armierte Linerkörper mit einer Umhüllung aus faserverstärktem Polyethylen, Polypropylen oder Polyamid umspritzt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckbehälter zu einem Körper aus zusammengesetzten Kugelabschnitten oder als Rotationsellipsoidkörper mit einem Polkappenradius-/Mantelradius-Verhältnis von mindestens 1:2,5 bis 1:5 in den Arbeitsschritten, Spritzen der Linerteile, Verbinden der Linerteile, Aufschweißen der Armierungsschichten beim Bewickeln auf den Liner und Umspritzen des armierten Liners geformt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- a) Herstellen von deckungsgleichen Linerteilen des Linerkörpers **durch** ein gleichmäßiges Verteilen der Kunststoffschmelze mit einem Kurzfasergehalt von bis zu 30% im Kunststoff in axialer und radialer Richtung unter teilweiser Ausrichtung der Fasern in Fließrichtung der Schmelze und unter Einhaltung des vorgegebenen Verhältnisses,
- b) stoffschlüssiges Fügen oder Kleben der Stirnseiten der Linerteile zu einem geschlossenen, hohlen Linerkörper unter Einstellung der Füge- oder Klebparameter auf die Kunststoffmischung nach Schritt a),
- c) Abdrücken des Linerkörpers mit Luft zwecks Sicherheitsprüfung und Dichtheitsprüfung des mit Luft beaufschlagten Linerkörpers unter Wasser sowie anschließendes Trocknen des Linerkörpers,
- d) Stabilisieren des Linerkörpers **durch** ein blasenfreies Befüllen mit einem inkompressiblen Medium, Beaufschlagen dieses Mediums mit einem Überdruck von 8 bis 10 bar und Verschließen der Anschlussmuffen des Linerkörpers zum anschließenden Armieren des Linerkörpers,
- e) Armieren des Linerkörpers **durch** Umwickeln mit mehreren Lagen aus mit Kunststoff ummantelten Endlosfaserglasband, wobei die Lagen des Endlosfaserglases **durch** Aufschmelzen des umhüllenden Kunststoffes untereinander stoffschlüssig verbunden werden,
- f) Umspritzen des im Spritzgießwerkzeug eingesetzten Linerkörpers von den Polkappen aus faserverstärktem Kunststoff bei einem Spritzdruck von <40 bar zum Ausbilden einer unverlierbaren Umhüllung auf der Armierung des Linerkörpers.

21. Verfahren nach Anspruch 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperaturbeständigkeit des Linerkörpers im Bereich von -40 °C bis +80 °C durch ein Zumischen eines Polypropylen-Copolymers-Granulats zum Polypropylengranulat in einem Gewichtsverhältnis von mindestens 1:3 eingestellt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Fügeverfahren nach Schritt b) ein Spiegelschweißen, Heißgasschweißen, Heizelementschweißen, Heizdrahtwiderstandsschweißen oder Injektionsschweißen eingesetzt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Linerkörper mit einem Luftüberdruck von 3,5 bar in einem hermetischen abgeschlossenen Raum gemäß Schritt c) abgedrückt und anschließend nach einem Absenken des Überdruckes auf 2,5 bar in Wasser auf Dichtheit geprüft wird.

24. Verfahren nach Anspruch 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** Wasser, Öl oder deren Mischungen als

inkompressibles Medium zum Stabilisieren des Linerkörpers eingesetzt wird, wobei das Medium unter einem Überdruck von 8 bis 10 bar gehalten wird.

- 5 25. Verfahren nach Anspruch 19 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mit Medium befüllte Linerkörper nach seinem Einlegen, Zentrieren und Einspannen in der Wickelmaschine in folgenden Einzelschritten nach Schritt e) armiert wird:

10 e1) Bewickeln des Mantels und der Polkappen des Linerkörpers mit einer ersten Lage aus kunststoffummantelten Endlosfaserband zur Aufnahme von Axial- und Radialspannungen und Verstärkung der Polkappen unter gleichzeitigem Auf- und Verschmelzen der Ummantelung zum stoffschlüssigen Verbinden untereinander und mit dem Linerkörper;

e2) Bewickeln der ersten Lage nach e1) im Mantelmittenbereiches zur Aufnahme von Spannungsspitzen aus Axial- und Radialspannungen unter gleichzeitigem Auf- und Verschmelzen der Kunststoffoberflächen des nebeneinander liegenden Endlosfaserbandes mit einer zweiten Lage in einer Wickelbreite, die der Bedingung

15  $B1 = 0,6 - 0,1 D$  genügt, wobei

B die Wickelbreite,

L die Wickellänge und

D der Durchmesser des Linerkörpers bedeutet,

20 e3) Bewickeln der zweiten Lage im Mantelmittenbereiches zum Vergleichmäßigen der Radialspannung unter gleichzeitigem Auf- und Verschmelzen der Kunststoffoberflächen des nebeneinander liegenden Endlosfaserbandes mit einer dritten Lage in einer Wickelbreite, die der

Bedingung  $B2 = 0,3 L - 0,1 D$  genügt, wobei

B die Wickelbreite,

L die Wickellänge und

25 D der Durchmesser des Linerkörpers bedeutet,

- 30 26. Verfahren nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Aufschmelzen der Kunststoffoberflächen des Endlosfaserbandes und des Linerkörpers eine Laser-, Lichtbogen- oder Gasbrennerwärmequelle eingesetzt wird, wobei das inkompressible Medium zugleich als Kühlmittel gegen Verformungen des Linerkörpers verwendet wird.

- 35 27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, dass** das inkompressible Medium und Kühlmittel im Linerkörper verbleibt oder durch ein im Gewindestutzen gelegenes Füllventil unter Überdruck gehalten und ständig zu- und abgeführt wird.

- 40 28. Verfahren nach Anspruch 19 und 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mit Medium befüllte, nach Schritt e) armierte Linerkörper in das Spritzgießwerkzeug verbracht, zentriert und an den die Anschlussmuffen verschließenden Verschlussstopfen eingespannt und in folgenden Einzelschritten gemäß Schritt f) umhüllt wird:

45 f1) Erhöhen des Innendruckes im Linerkörper durch Beaufschlagen des inkompressiblen Mediums auf 8 bis 10 bar durch ein im Gewindestopfen gelegenes Füllventil und Einstellen der Temperatur des Füllmediums auf 10 bis 15 °C,

f2) wahlweises Einlegen von Firmenschilder, Typenschilder, Zulassungszeichen u.ä. auf die armierte Oberfläche des Linerkörpers,

f3) Temperieren der eingespritzten und verteilten Kunststoffschmelze auf mindestens 180 °C und anschließendes Kühlen auf unterhalb der Erstarrungstemperatur des Kunststoffgemisches,

f4) Halten bei einem Nachdruck von etwa 15 bar zum Verfestigen der Umhüllung,

f5) Entnehmen des Druckbehälters und dessen Entleerung.

- 50 29. Verfahren nach Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wahlweise eingelegten Typenschilder digitale Informationsträger enthalten.

30. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem faserverstärkten Kunststoff Farbstoffe zum Kennzeichnen der Umhüllung entsprechend den Betriebsbedingungen des Druckbehälters zugegeben werden.

- 55 31. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Umhüllung Treibmittel zur Herstellung einer Dämmschicht zugesetzt werden.

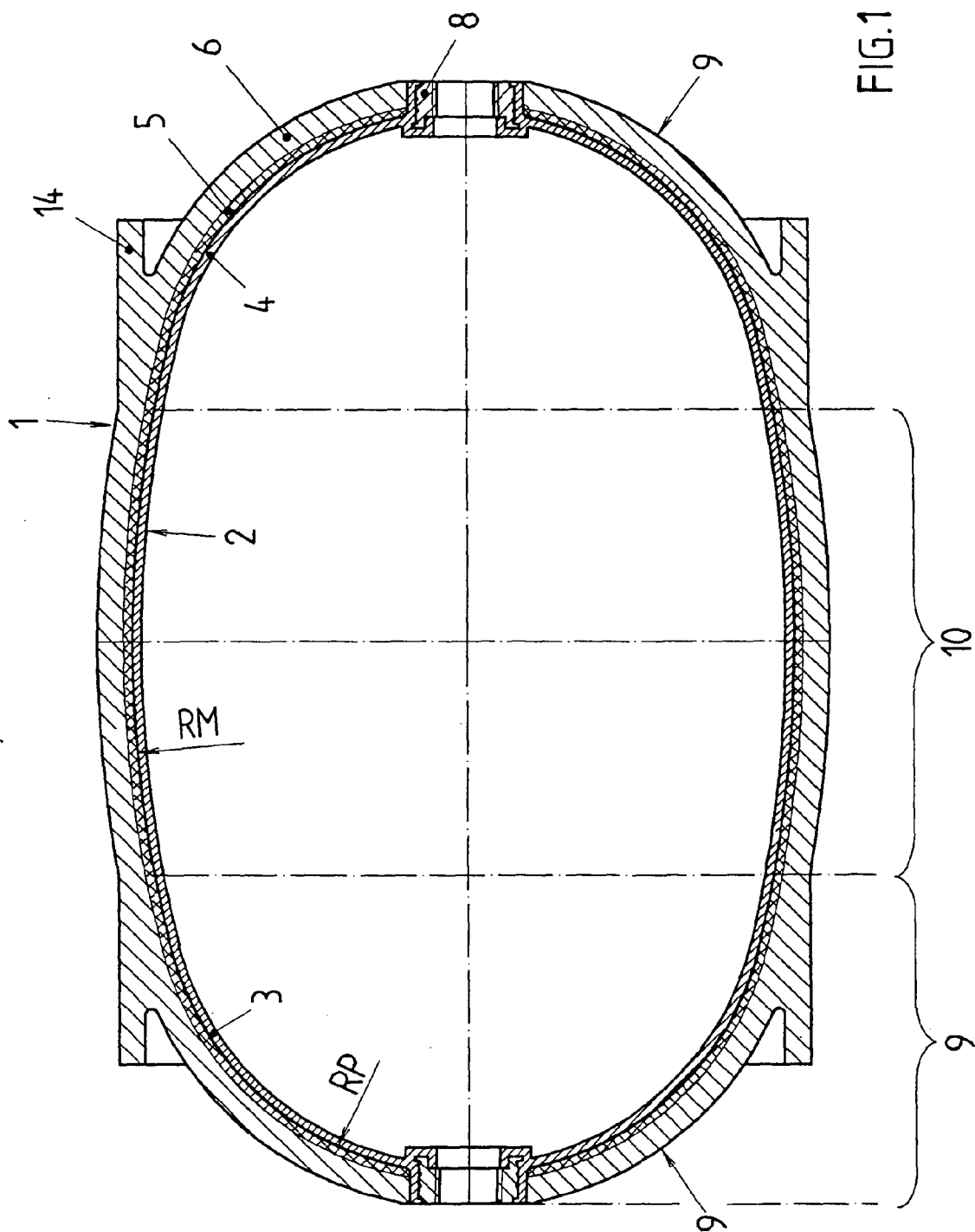
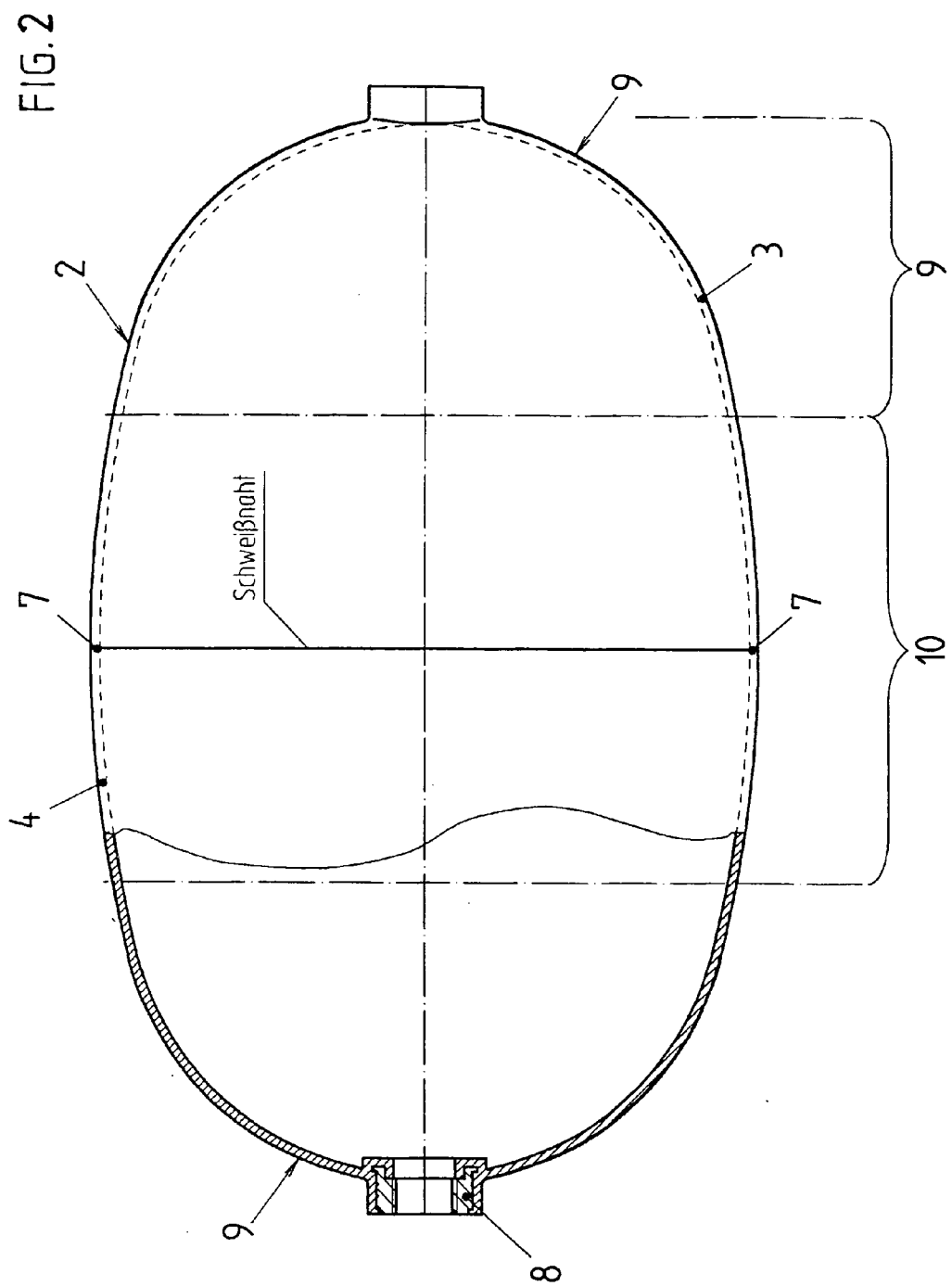


FIG.1



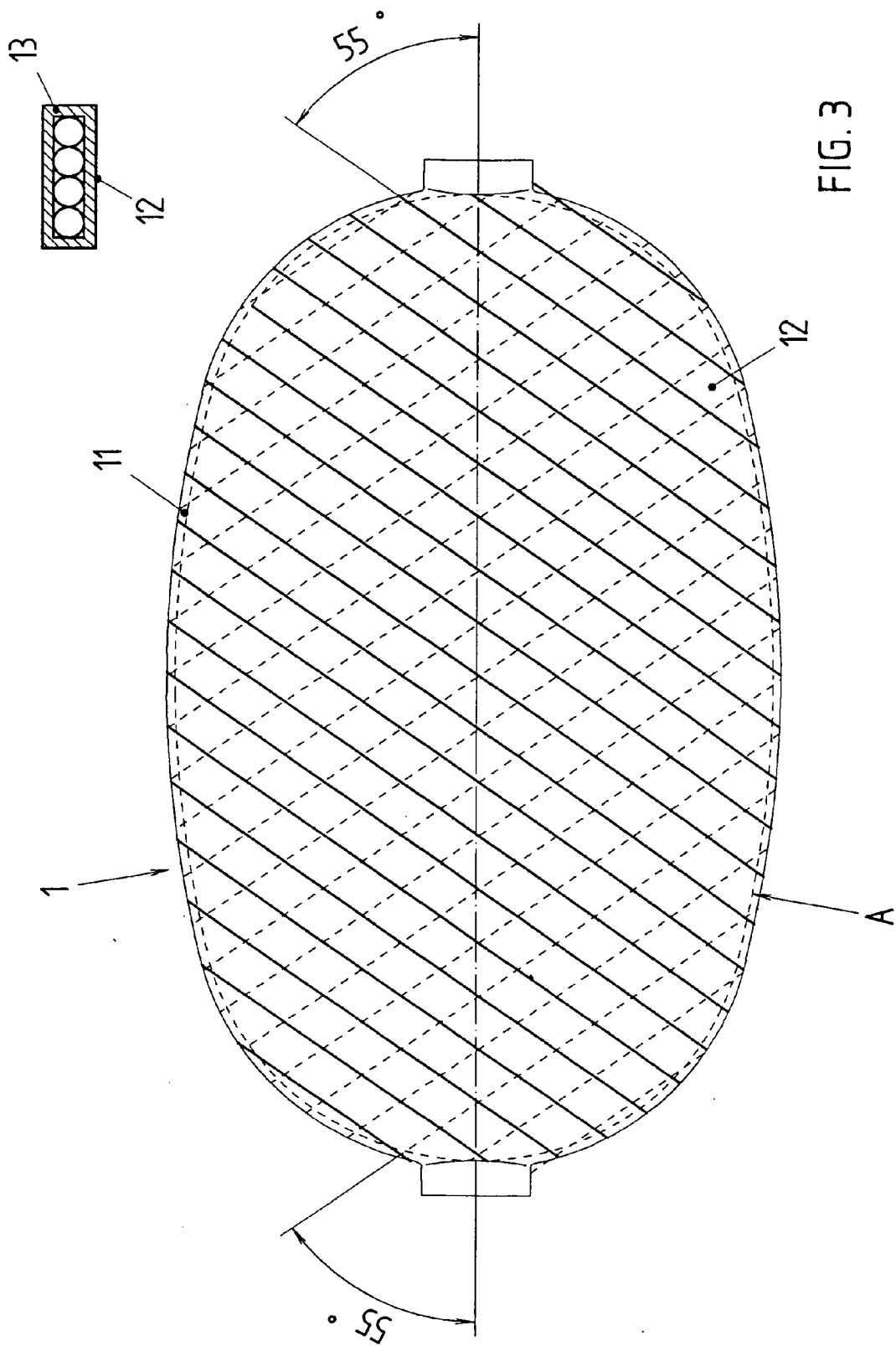


FIG. 3

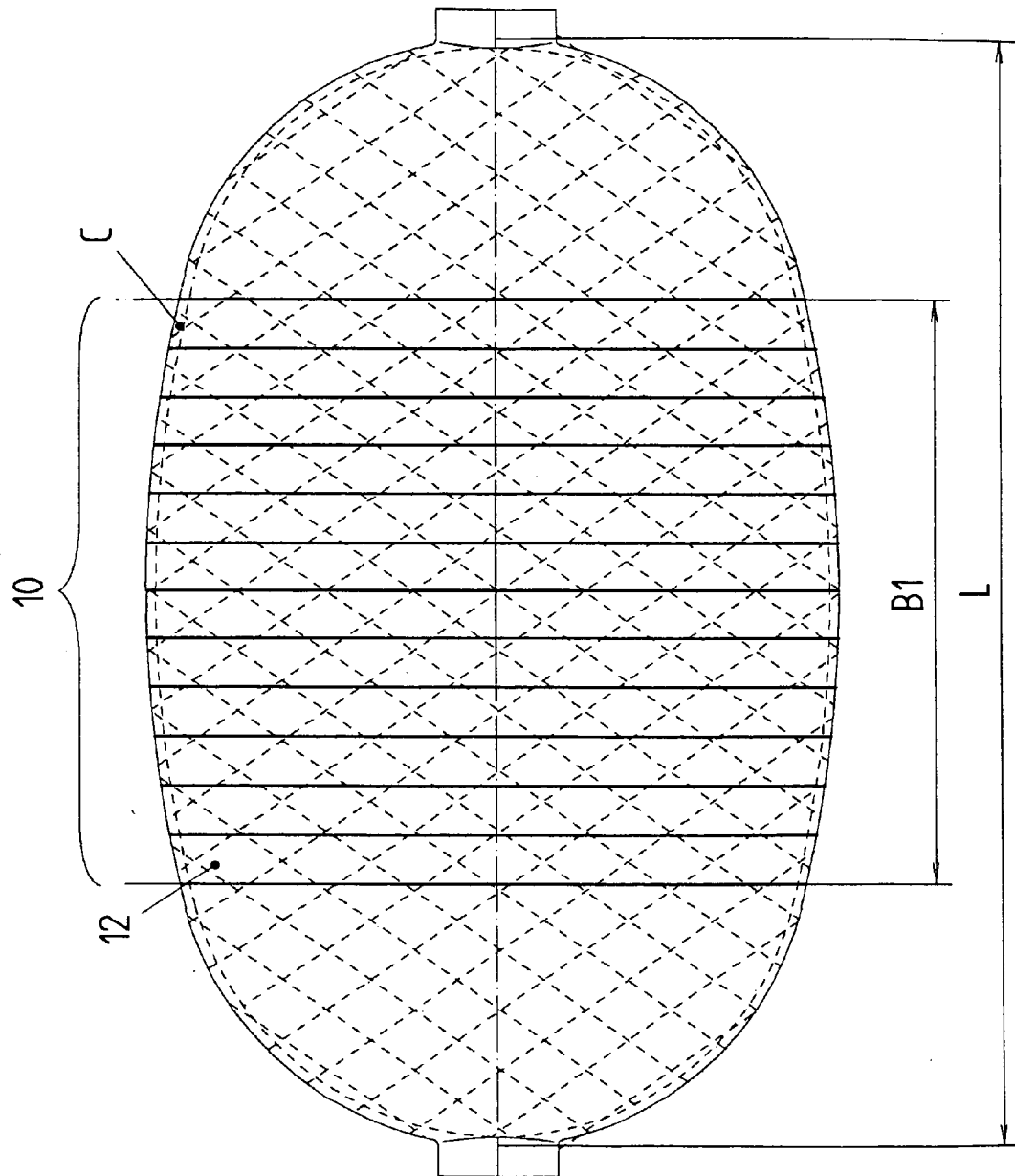
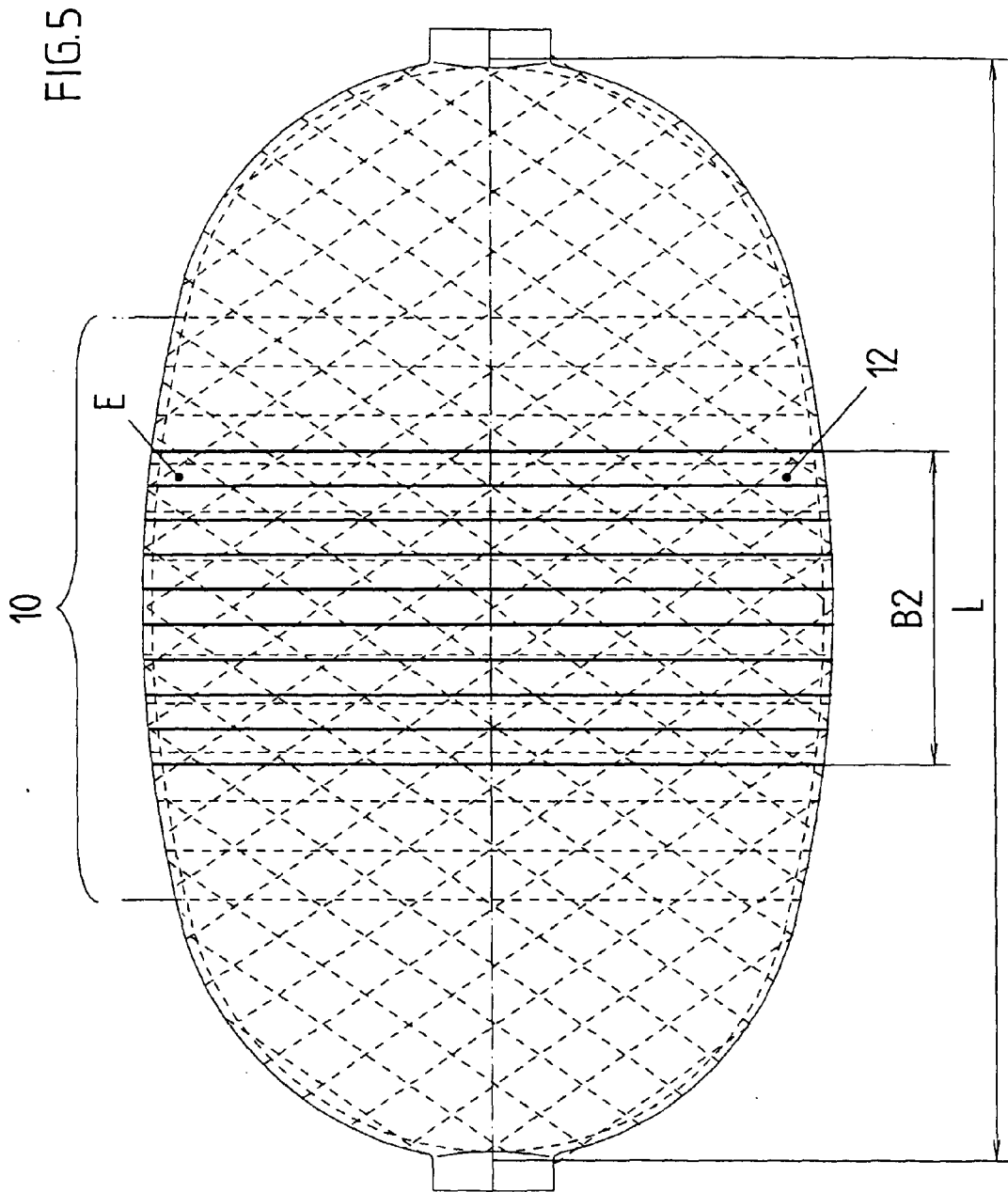


FIG. 4





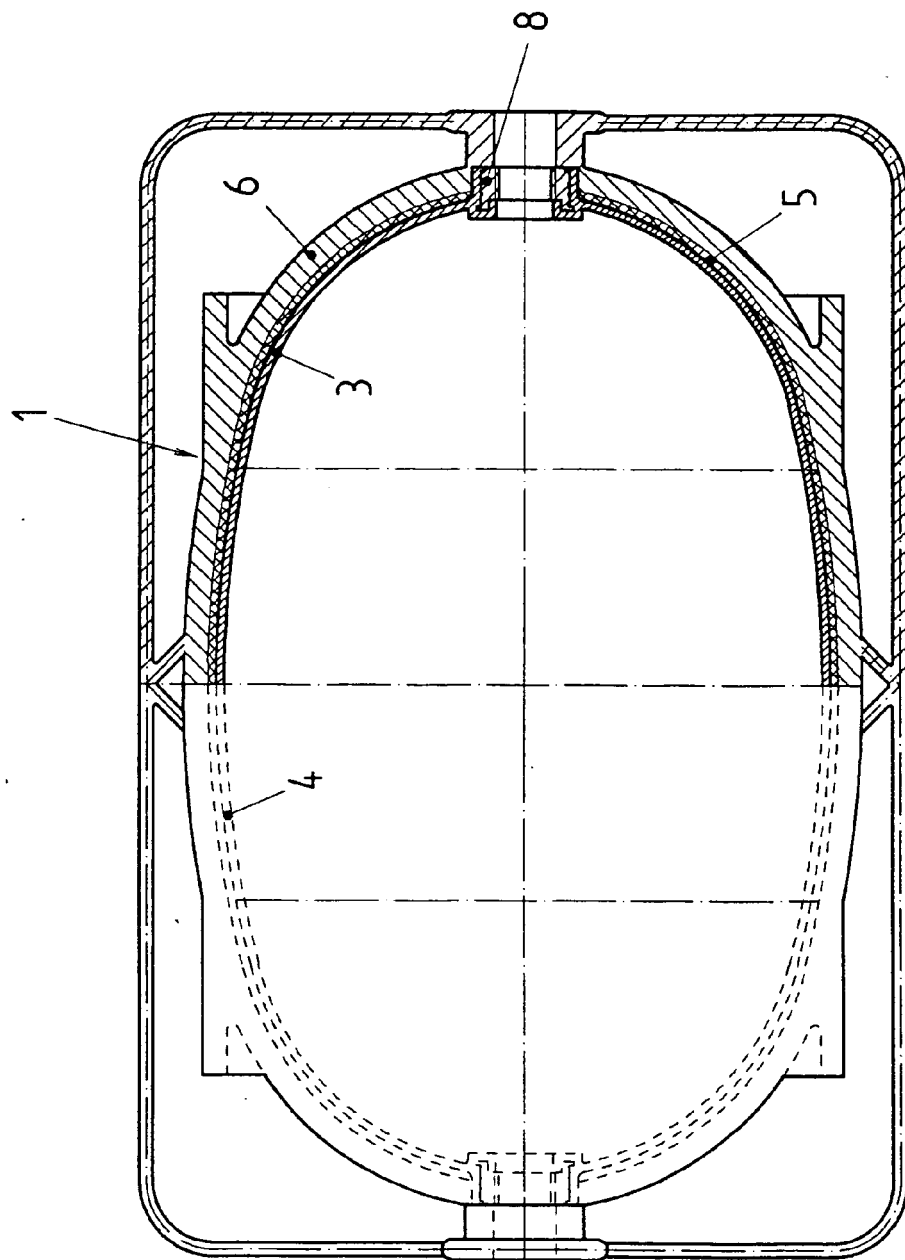


FIG. 6

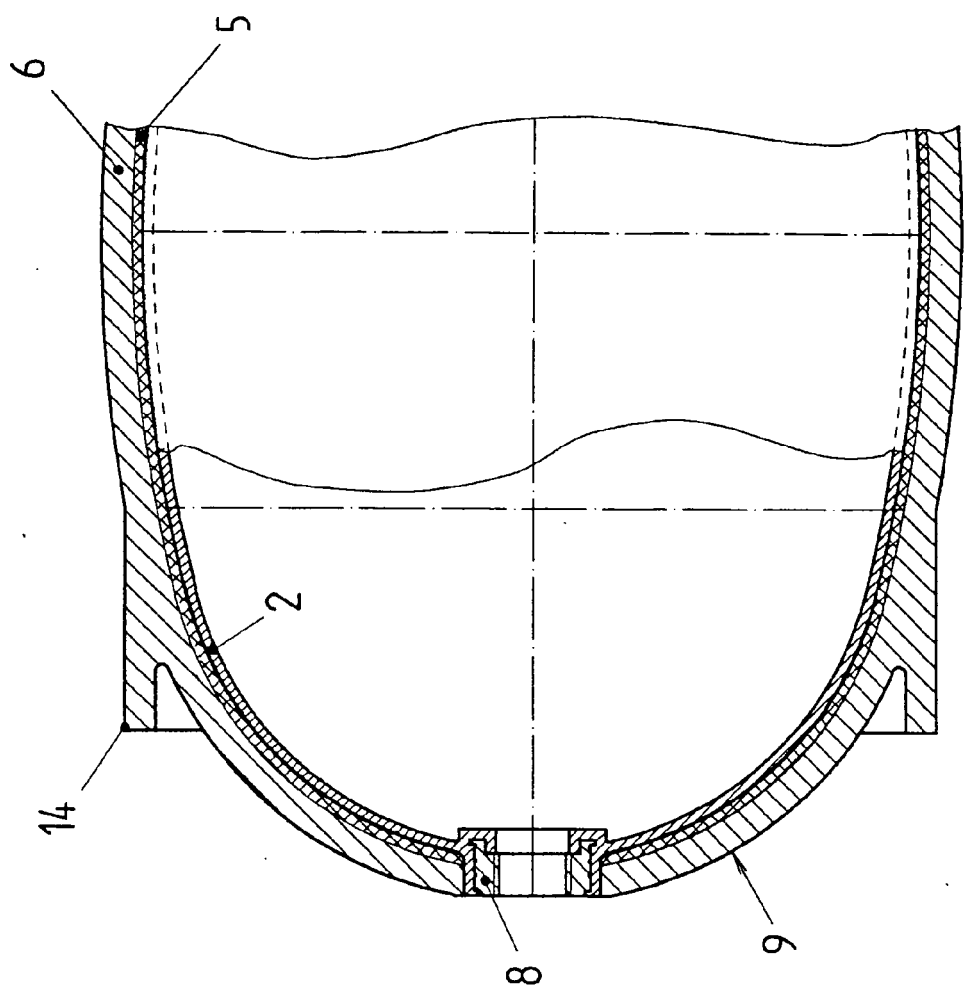


FIG. 7a

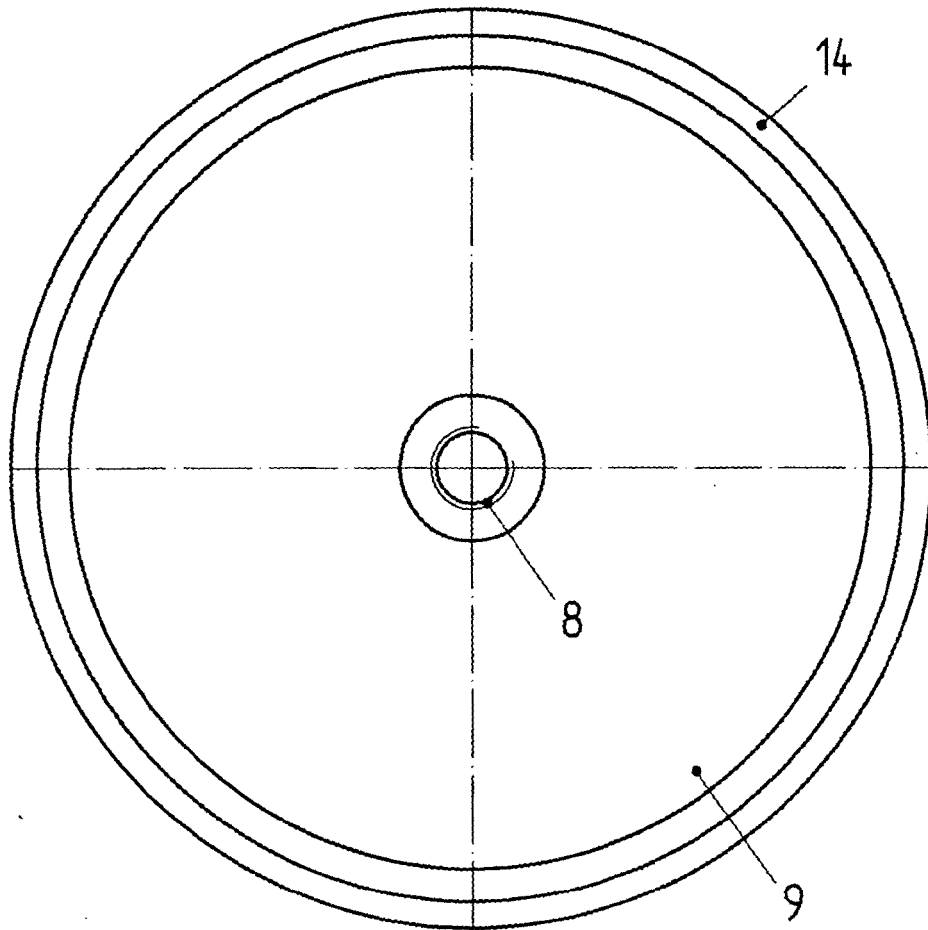


FIG. 7b

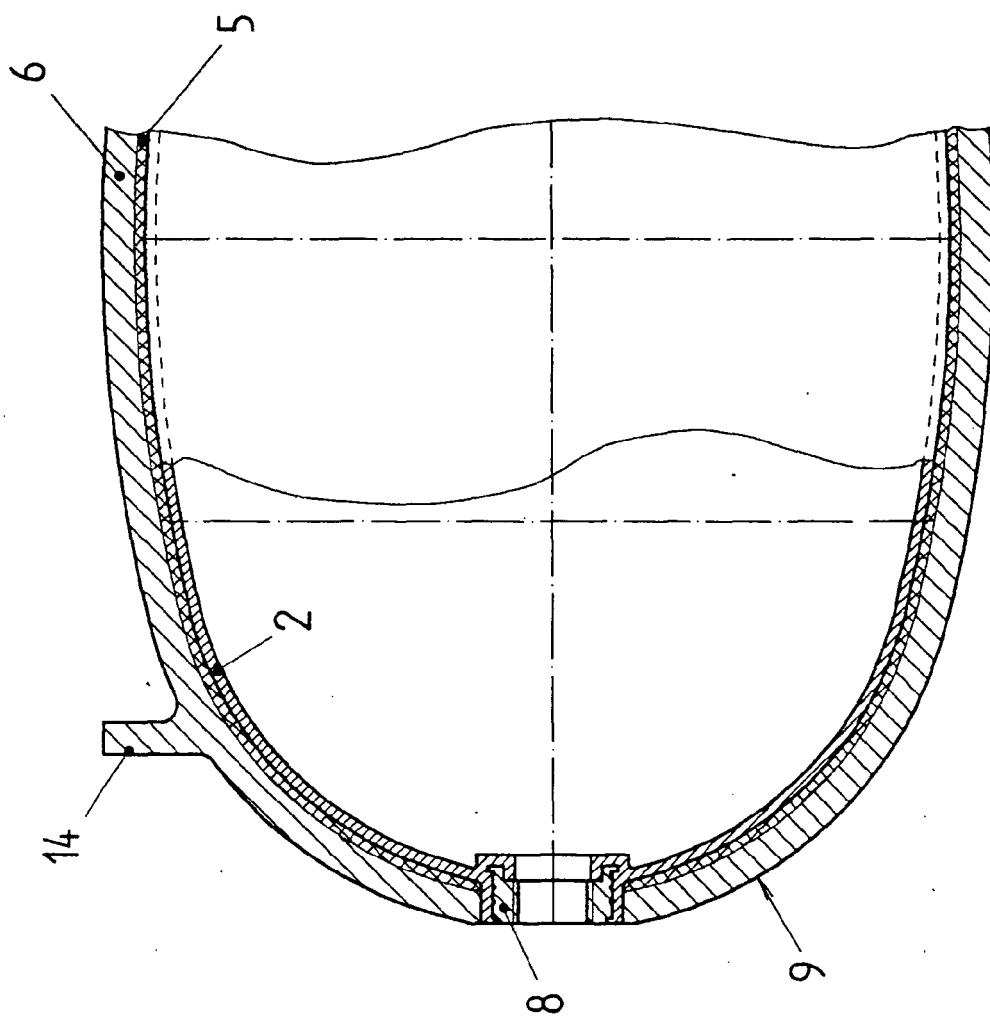


FIG. 8a

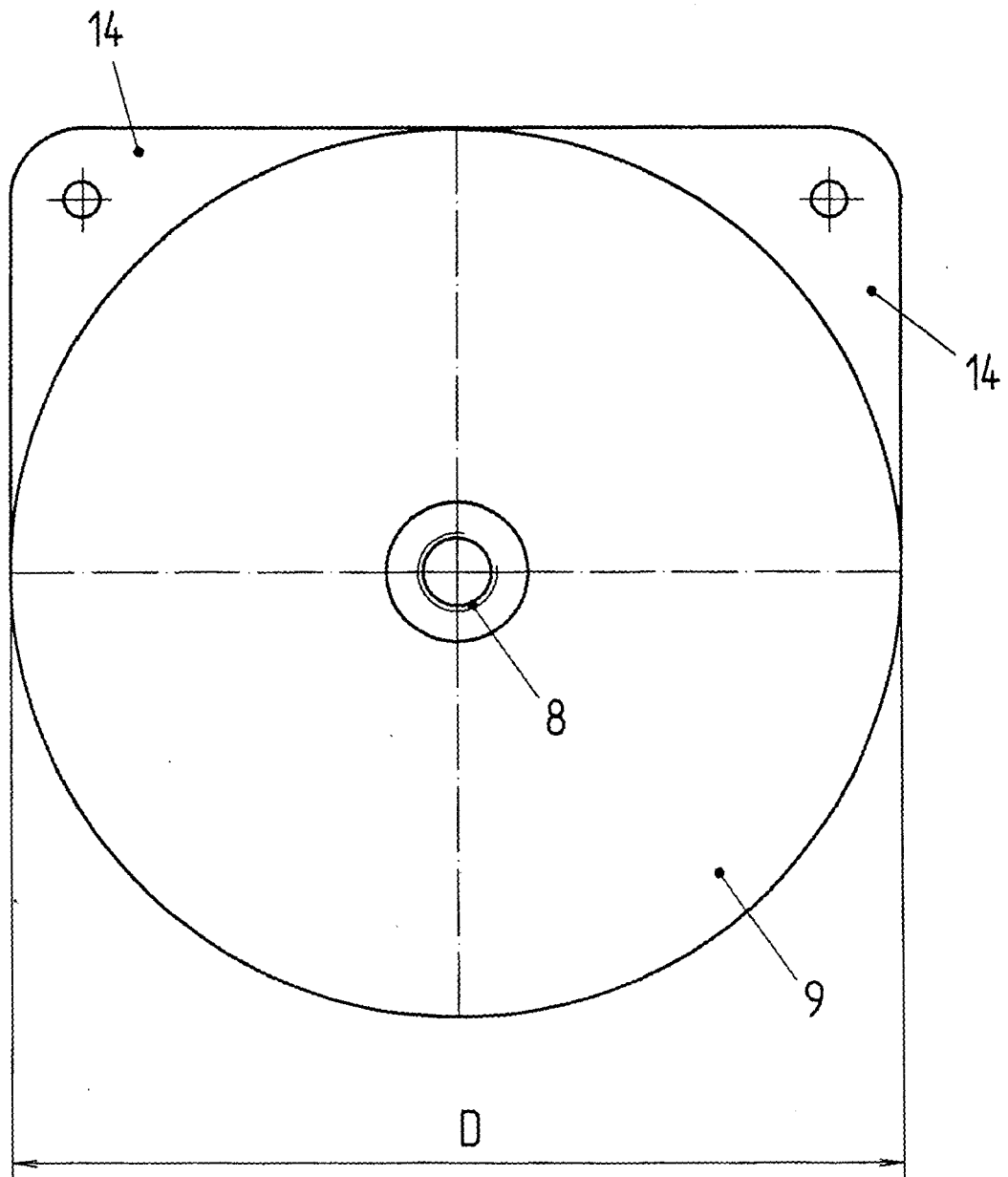


FIG. 8b

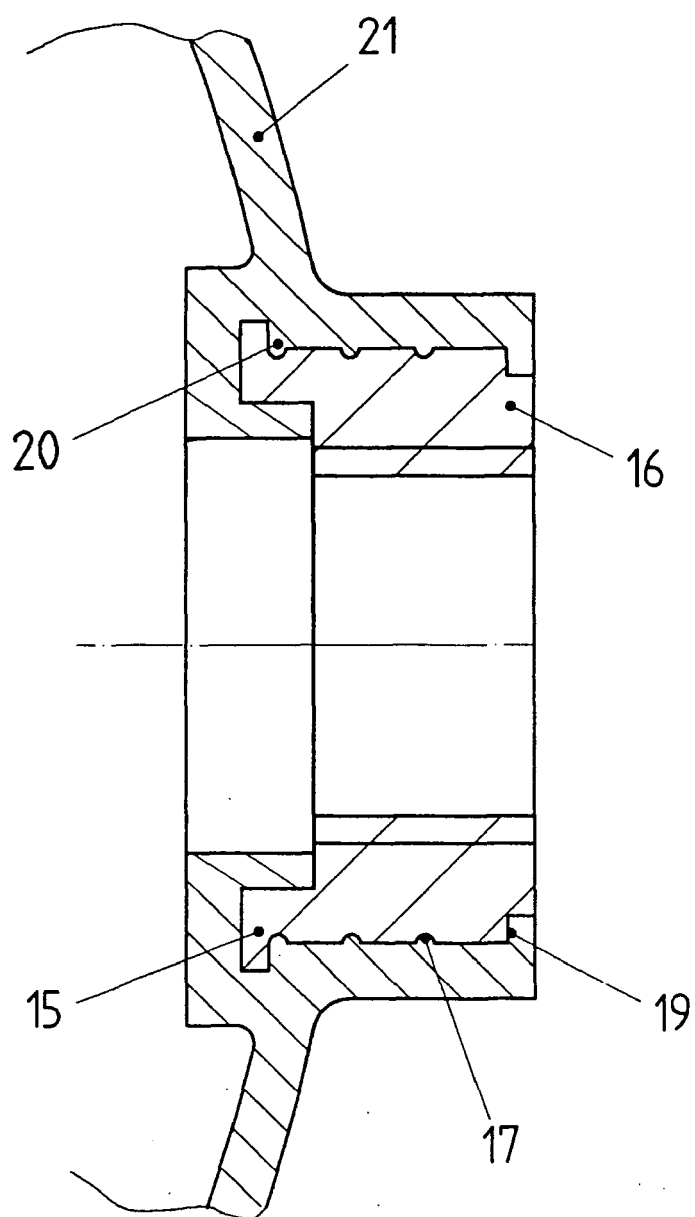


FIG. 9



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 07 09 0008

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 5 484 079 A (CARTER THOMAS G [US] ET AL) 16. Januar 1996 (1996-01-16) * Spalte 3, Zeile 15 - Spalte 5, Zeile 62 *	1-31	INV. F17C1/16
A	US 3 449 182 A (WILTSHIRE ARTHUR J) 10. Juni 1969 (1969-06-10) * Spalte 2, Zeile 34 - Spalte 4, Zeile 14 *	1-31	
A	LOSSIE H ET AL: "DESIGN PRINCIPLES IN FILAMENT WINDING" COMPOSITES MANUFACTURING, BUTTERWORTH SCIENTIFIC, GUILDFORD, SURREY, GB, Bd. 5, Nr. 1, Januar 1994 (1994-01), Seiten 5-13, XP000438199 ISSN: 0956-7143 * Seite 11, Absatz 3-10 *	1-31	
A	US 3 057 509 A (BERND JULES P) 9. Oktober 1962 (1962-10-09) * Spalte 1, Zeile 42 - Spalte 2, Zeile 72 *	1-31	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	EP 0 714 753 A2 (ESSEF CORP [US]) 5. Juni 1996 (1996-06-05) * Spalte 2, Zeile 25 - Spalte 4, Zeile 49 *	1-31	F17C
A	US 3 977 614 A (HARDWICK JOHN GORDON) 31. August 1976 (1976-08-31) * Spalte 2, Zeile 17 - Spalte 6, Zeile 30 *	1-31	
D,A	EP 0 635 672 A1 (LANDGRAF RAINER DIPL JUR DIPL [DE]) 25. Januar 1995 (1995-01-25) * Ansprüche 1,17 *	1-31	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>3. Juli 2007</b>	Prüfer <b>Stängl, Gerhard</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

3  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 07 09 0008

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-07-2007

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5484079	A	16-01-1996	KEINE		
US 3449182	A	10-06-1969	KEINE		
US 3057509	A	09-10-1962	KEINE		
EP 0714753	A2	05-06-1996	AT	212285 T	15-02-2002
			DE	69525134 D1	14-03-2002
			DE	69525134 T2	29-08-2002
			DK	714753 T3	13-05-2002
			ES	2171507 T3	16-09-2002
			PT	714753 T	31-07-2002
			US	5526994 A	18-06-1996
US 3977614	A	31-08-1976	AU	6623374 A	04-09-1975
			CA	993850 A1	27-07-1976
			DE	2410490 A1	03-10-1974
			FR	2220458 A1	04-10-1974
			GB	1467236 A	16-03-1977
			IT	1003726 B	10-06-1976
EP 0635672	A1	25-01-1995	AT	160213 T	15-11-1997
			DE	59307679 D1	18-12-1997

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0635672 A1 [0003] [0004]
- DE 19751411 C1 [0003] [0019]
- DE 19832145 A1 [0003] [0005] [0006]
- DE 10000705 A1 [0003] [0007] [0019]
- EP 0147042 A [0003]
- EP 0666450 A1 [0003] [0010] [0011]
- WO 8403065 A1 [0003]
- WO 9522030 A1 [0003]
- DE 19937470 A1 [0005]
- EP 0147042 A1 [0008] [0011]
- EP 0518272 A1 [0009]
- DE 2152123 A1 [0011]
- DE 2423497 A1 [0011] [0013]
- DE 2516395 C2 [0011]
- DE 3821852 A1 [0011] [0015] [0023]
- EP 0588836 A1 [0011] [0017]
- EP 0635672 B1 [0011]
- WO 9001649 A1 [0011]
- US 3112234 A [0011] [0018]
- US 4905856 A [0011] [0019]
- DE 2152123 A [0012]
- DE 2516395 A1 [0014]
- WO 0157429 A1 [0016]
- DE 2538433 A1 [0019] [0020]
- DE 19526154 A1 [0019] [0021]
- DE 19631546 C1 [0019] [0022]
- EP 0550951 B1 [0019]
- EP 0553728 A1 [0019]
- WO 9423240 A1 [0019]
- US 4685589 A [0019]
- US 5287988 A [0019]