



⑫

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑬ Anmeldenummer: 78200013.7

⑮ Int. Cl.<sup>2</sup>: F 28 D 15/00, F 24 J 3/04

⑭ Anmeldetag: 01.06.78

⑩ Priorität: 02.09.77 DE 2739689

⑪ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
20.12.78 Patentblatt 78/1

⑫ Benannte Vertragsstaaten:  
BE CH FR GB NL SE

⑬ Anmelder: EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT  
[EURATOM],  
Bâtiment Jean Monnet, Plateau du Kirchberg  
Boite Postale 1907,  
Luxembourg (LU)

⑭ Erfinder: Busse, Claus Adolf, Dr.,  
22, Via Piaggio,  
I-21038 Arolo di Leggiuno (Varese) (IT)

⑮ Vertreter: Wey, Hans-Heinrich, Dipl.-Ing. et al.,  
Patentanwälte Müller-Börner,  
Wey & Körner, Widenmayerstrasse 49,  
D-8000 München 22 (DE)

### ⑩ Thermische Wärmepumpe

⑪ Die Erfindung betrifft eine thermische Wärmepumpe, welche aus einem Warmerohr (11) besteht, in welchem der zwischen der Wärmeübertragungszone zur Wärmezufuhr und der Wärmeübertragungszone zur Wärmeabfuhr befindliche Dampfkanal (16) einen sich über seine Länge ändernden, die Stromungsgeschwindigkeit des Dampfes zunächst erhöhenden und dann erniedrigenden Querschnitt aufweist und bei welchem sich im Bereich der erhöhten Dampfgeschwindigkeit eine weitere Wärmeübertragungszone mit Wärmezufuhr oder -abfuhr befindet. Die erhöhte Dampfgeschwindigkeit kann im Unterschallbereich oder im Überschallbereich liegen. Die Querschnittsänderung des Dampfkanals (16) im Warmerohr (11) zwischen den beiden äusseren Wärmeübertragungszonen wird vorteilhafterweise durch einen Verdrangungskörper (13) mit bestimmter Oberflächenkontur bewirkt.

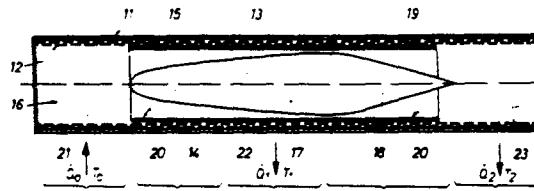


Fig. 1

A1

001

000

EP

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT  
(EURATOM)

Thermische Wärmepumpe

Um Wärme von einem tieferen auf ein höheres Temperatur-niveau zu heben, muß ein Kompensationsprozeß Anwendung finden, so daß die Gesamtentropie aller beteiligten Stoffe nicht abnimmt. Bei den bisher allgemein üblichen Wärmepum-5 pen wird ein Kompensationsprozeß mit Arbeitsverbrauch ange-wandt; der Arbeitsverbrauch beruht auf dem Betrieb eines Kompressors.

Überlegungen haben dazu geführt, den Kompensationsprozeß 10 auch durch Wärme anzutreiben, und zwar derart, daß bei einer mittleren Temperatur  $T_0$  Wärme eingespeist wird und diese sowohl bei einer tieferen Temperatur  $T_1$ , als auch bei einer höheren Temperatur  $T_2$  wieder abgegeben wird. Eine der-15 artige thermische Wärmepumpe, die Gegenstand der Erfindung ist, wird somit durch das Temperaturgefälle zwischen  $T_0$  und  $T_1$  angetrieben, wobei der thermische Wirkungsgrad sich aus folgender Beziehung errechnen läßt:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_o} \frac{1 - \frac{T_1}{T_o}}{1 - \frac{T_1}{T_2}}$$

5

wobei  $\dot{Q}_o$  der aufgenommene Wärmestrom und  $\dot{Q}_2$  der Nutzwärme-  
strom bei der Temperatur  $T_2$  ist.

- Derart arbeitende thermische Wärmepumpen sind von großem  
10 Interesse zur Ausnutzung der durch Sonneneinstrahlung her-  
vorgerufenen Temperaturdifferenzen, insbesondere zum Zwecke  
des Aufheizens von Wasser oder anderen Medien für Heizungs-  
zwecke, zur Bereitstellung von Warmwasser u.dgl.
- 15 Die erfindungsgemäß ausgebildete thermische Wärmepumpe be-  
steht aus einem Wärmerohr, in welchem der zwischen der  
Wärmeübertragungszone zur Wärmezufuhr und der Wärmeüber-  
tragungszone zur Wärmeabfuhr befindliche Dampfkanal einen  
20 sich über seine Länge ändernden, die Strömungsgeschwindig-  
keit des Dampfes zunächst erhöhenden und dann erniedrigen-  
den Querschnitt aufweist und sich im Bereich der erhöhten  
Dampfgeschwindigkeit eine weitere Wärmeübertragungszone mit  
Wärmezufuhr oder -abfuhr befindet.
- 25 Bei einer Ausführungsform des Gegenstands der Erfindung be-  
steht die thermische Wärmepumpe aus einem Wärmerohr, in  
dessen Dampfkanal zwischen dem Wärmezufuhr- bzw. Verdamp-  
ferbereich und dem Wärmeabfuhr- bzw. Nutzkondensatorbereich  
ein die Dampfgeschwindigkeit ändernder Verdrängungskörper  
30 angeordnet ist.

Der vor dem Verdrängungskörper befindliche Bereich ist der  
Verdampferbereich "V", in welchem bei einer mittleren Tem-  
peratur  $T_o$  der Wärmestrom  $\dot{Q}_o$  zugeführt wird. Der Bereich in  
35 etwa in der Mitte des Verdrängungskörpers ist der sogenann-  
te Treibkondensatorbereich "TK", in welchem bei einer mitt-

leren Temperatur  $T_1$ , die unterhalb der Temperatur  $T_o$  liegt, ein Teil des Dampfes kondensiert, wobei der Wärmestrom  $\dot{Q}_1$  abgeführt wird. Hinter dem Verdrängungskörper befindet sich der Nutzkondensatorbereich "NK", in welchem bei einer mittleren Temperatur  $T_2$  der Restdampf kondensiert und der Nutzwärmestrom  $\dot{Q}_2$  abgegeben wird. Das im Treibkondensatorbereich "TK" und im Nutzkondensatorbereich "NK" anfallende Kondensat wird durch eine geeignete, an sich bekannte Kapillarstruktur, mit welcher die Innenwand des Wärmerohres 10 in üblicher Weise ausgekleidet ist, zum Verdampferbereich "V" zurückgeführt.

Auch kann die Betriebsweise der vorbeschriebenen Ausführungsform der Wärmepumpe gemäß der Erfindung derart abgeändert werden, daß sie thermodynamisch umgekehrt wird, was dazu führt, daß der Treibkondensatorbereich dann zu einem zweiten Verdampferbereich wird. Dadurch kann eine relativ große Wärmemenge von einer tiefen Temperatur zu einer mittleren Temperatur transportiert werden.

20 Weitere Merkmale der erfindungsgemäßen thermischen Wärmepumpe gehen aus der nachfolgenden Beschreibung zweier bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie den Unteransprüchen hervor. Die beiden Figuren 1 und 2 der Zeichnungen zeigen in 25 schematischer Darstellung eine thermische oder Dampfstrahl-Wärmepumpe mit Unterschallströmung im einen Falle und mit Überschallströmung im zweiten Falle.

Die Wärmepumpe für Unterschallströmung nach Fig. 1 besteht 30 aus einem Wärmerohr 11, an dessen Innenwand eine Kapillarstruktur 12 angeordnet ist. Im Innenraum des Wärmerohres 11 befindet sich in gleichmäßigem Abstand von der Kapillarstruktur 12 der Verdrängungskörper 13, der in seinem vorderen Bereich 14 eine Form besitzt, daß zwischen ihm und der 35 Kapillarstruktur 12 eine Düse 15 gebildet ist, in welcher sich der Querschnitt des Dampfkanals 16 verkleinert. Hinter

der Düse verringert sich der Querschnitt des Dampfkanals 16 zwischen dem Mittelstück 17 des Verdrängungskörpers 13 und der Kapillarstruktur 12 infolge der Form des Verdrängungskörpers geringfügig. In diesem Bereich wird durch Kühlung 5 ein Teil des Dampfes kondensiert. Der hiermit verbundene Druck- und Temperaturanstieg wird durch die Querschnittsabnahme des Dampfkanals im wesentlichen unterbunden. Der hintere Teil 18 des Verdrängungskörpers 13 ist kegelförmig 10 ausgebildet, so daß sich der Querschnitt des Strömungskanals 16 dem Öffnungswinkel des Kegels entsprechend erweitert und einen Diffusor 19 bildet.

Vorteilhafterweise ist die Kapillarstruktur 12 im Bereich des Verdrängungskörpers 13 im Hinblick auf die hohen Druckunterschiede längs der Wärmepumpe mit einer dünnwandigen 15 Abdeckung 20 versehen, die zur Vermeidung eines Abhebens infolge Unterdrucks ausreichend fest mit der Kapillarstruktur bzw. dem Rohrkörper des Wärmerohres 11 verbunden sein muß. Sie hat den Zweck, das anfallende Kondensat ver- 20 mittels der Scherwirkung des Dampfstromes auf der Abdeckung zunächst in die Nutzkondensatorzone zu treiben, in welcher der Druck höher ist als in der Verdampferzone, wo er seinerseits höher ist als in der Treibkondensatorzone.

25 Die thermische Wärmepumpe mit Überschallströmung nach Fig. 2 hat grundsätzlich den gleichen Aufbau wie diejenige nach Fig. 1. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß der Verdrängungskörper 13' derart geformt ist, daß die Düse 15' wie auch der Diffusor 19' einen konvergenten und einen di- 30 vergenten Teil aufweisen, wobei der Übergang von der Unter- schall- zur Überschallströmung an der engsten Stelle erfolgt.

Die Wirkungsweise der erfindungsgemäßen thermischen Wärme- 35 pumpe ist folgende:

Im Verdampfer 21 wird bei einer mittleren Temperatur  $T_o$  der Wärmestrom  $\dot{Q}_o$  zugeführt. In der durch den vorderen Teil des Verdrängungskörpers 13 gebildeten Düse 15 verkleinert sich der Querschnitt des Dampfkanals 16, wodurch der Dampf expandiert. Hierbei kühlt er sich ab und kondensiert teilweise im anschließenden Treibkondensator 22 bei einer mittleren Temperatur  $T_1 < T_o$ , wobei der Wärmestrom  $\dot{Q}_1$  abgeführt wird. Die kinetische Energie des kondensierten Dampfes verbleibt im Restdampf, so daß dessen spezifische kinetische Energie ansteigt. Die üblicherweise in einem Kondensator in Strömungsrichtung auftretende Kompression mit entsprechendem Temperaturanstieg wird durch die Expansion des Dampfes im Treibkondensator 22 vermieden, und zwar durch entsprechende Verkleinerung des Dampfkanalquerschnitts. Im anschließenden Diffusor 19 wird der Dampf durch die Vergrößerung des Dampfkanalquerschnitts komprimiert, wobei sich dessen kinetische Energie in Druck umwandelt und die Temperatur des Dampfes ansteigt. Im sich an den Diffusor 19 anschließenden Nutzkondensator 23 wird bei einer mittleren Temperatur  $T_2$  der Restdampf kondensiert, wobei der Nutzwärmestrom  $\dot{Q}_2$  abgegeben wird. Da die spezifische kinetische Energie des Dampfes beim Eintritt in den Diffusor 19 höher liegt als beim Austritt aus der Düse 15, können im Nutzkondensator 23 höhere Temperaturen als im Verdampfer 21 erzielt werden.

Das im Treibkondensator 22 und im Nutzkondensator 23 anfallende Kondensat wird über die Kapillarstruktur 12 an der Innenwand des Wärmerohres 11 zum Verdampfer 21 zurückgeführt.

Für eine thermische Wärmepumpe mit einer Wärmezufuhr von  $\dot{Q}_o = 1 \text{ kw}$  ist folgende Dimensionierung vorzusehen:

Wärmeträger:  $H_2O$

Wandmaterial: Cu

$T_o: 30^\circ C$  ---  $T_1: 25^\circ C$  ---  $T_2: 35^\circ C$

Dampfkanal-Querschnitt im Verdampfer:  $6,7 \text{ cm}^2$

5 Dampfkanal-Querschnitt am Ausgang Düse:  $1,9 \text{ cm}^2$

Dampfkanal-Querschnitt am Ausgang Treib-  
kondensator:  $1,0 \text{ cm}^2$

Machzahl am Ausgang der Düse: 0,69

Machzahl am Ausgang des Treibkondensators: 0,97.

10

Die mit Unterschallströmung erreichbaren Temperaturdifferenzen betragen nur wenige Prozent der Absoluttemperatur, wie sich aus den vorstehenden Daten ergibt. Mit der thermischen Wärmepumpe mit Überschallströmung lassen sich größere Temperaturdifferenzen erzielen.

15 Es ist auch eine Ausführungsform der thermischen Wärmepumpe möglich, bei welcher eine Unterschalldüse nach Fig. 1 verwendet wird, der Übergang zur Überschallströmung im Treib-  
20 kondensator erfolgt und anschließend ein Überschalldiffusor nach Fig. 2 benutzt wird.

25 Das Kondensat wird in bekannter Weise mittels der Kapillarstruktur an der Innenwand des Wärmerohres zum Verdampfer zurückgeführt. Die Rückführung erfolgt im wesentlichen aufgrund der Kapillarkräfte, die gegebenenfalls durch die Schwerkraft unterstützt werden können. Es ist aber auch möglich, wie erwähnt, zum Antrieb der Flüssigkeitsströmung in der Kapillarstruktur zusätzlich den höheren Druck im  
30 Nutzkondensator auszunutzen.

35 Weiterhin ist es möglich, den abgedeckten Teil der Kapillarstruktur im Inneren des Wärmerohres durch ein oder mehrere Röhrchen, Kanäle od.dgl. zu ersetzen, die gegebenenfalls auch auf der Außenseite des Wärmerohres angeordnet sein

können, um die Dampfströmung möglichst wenig zu beeinträchtigen.

Zweckmäßigerweise wird der Verdrängungskörper im Innenraum 5 des Wärmerohres auf einem axial angeordneten Tragstab gelagert, der vorzugsweise thermisch isoliert ausgebildet ist oder aus Wärme schlecht leitendem Material besteht.

Weiterhin kann es vorteilhaft sein, in der Nutzkondensatorzone 10 und gegebenenfalls auch in der Verdampferzone in etwa kegelförmige Verdrängungskörper anzuordnen, deren Grundflächen den Stirnflächen des Wärmerohres zugekehrt sind.

Vorteilhafterweise verwendet man ein zylindrisches Wärmerohr 15 mit Kapillarstruktur-Auskleidung und Abdeckung, in welchem ein Verdrängungskörper mit der gewünschten Querschnittsform angeordnet ist. Man kann selbstverständlich auch einen Verdrängungskörper verwenden, der zumindest in seinem mittleren Teil zylindrisch ausgebildet ist, so daß man die Querschnitte 20 des Dampfkanals in den verschiedenen Bereichen durch die Wände des Wärmerohres bestimmt sind. Diese Lösung ist jedoch weniger vorteilhaft. Die beschriebenen und dargestellten Ausführungsformen haben wesentliche Vorteile, da Verluste durch Grenzschichtablösung im Treibkondensator und 25 Diffusor und Temperaturverluste durch eine größere Wärmeübertragungsfläche im Treibkondensator vermieden werden; überdies sind die konstruktive Form und die Herstellbarkeit wesentlich einfacher sowie stabiler.

Bei einem praktischen Anwendungsbeispiel zum Zwecke optimaler Nutzbarmachung von Solarenergie könnte das Wärmerohr 30 derart angeordnet sein, daß die der thermischen Wärmepumpe im Verdampferbereich zugeführte Wärmemenge  $Q_0$  von Sonnenstrahlen stammt; die Wärmemenge  $\dot{Q}_1$  wird durch ein Kühlmittel 35 abgeführt, beispielsweise in einem den Sonnenstrahlen nicht

ausgesetzten Bereich, und die im Nutzkondensator anfallende Wärmemenge  $Q_2$  könnte zur Aufheizung eines Nutzmediums benutzt werden.

- 5 Die erfindungsgemäße thermische Wärmepumpe bietet den Vorteil geringerer Verluste, einer kleinen und einfachen Konstruktion sowie der Wartungsfreiheit, woraus sich geringe Anschaffungs- und Betriebskosten ergeben.
- 10 Schließlich kann die veränderliche Ausgestaltung des Querschnitts des Dampfkanals des Wärmerohrs auch dadurch erzielt werden, daß der Verdrängungskörper fortgelassen und statt dessen das Wärmerohr querschnittsmäßig entsprechend der erforderlichen Kanalkonfiguration veränderlich ausgebildet wird und somit die gleichen Strömungseffekt erzielt werden wie im Falle der beschriebenen Ausführungsbeispiele.
- 15

A n s p r ü c h e

1. Thermische Wärmepumpe, gekennzeichnet durch ein Wärmerohr, in welchem der zwischen der Wärmeübertragungszone zur Wärmezufuhr und der Wärmeübertragungszone zur Wärmeabfuhr befindliche Dampfkanal einen sich über seine Länge ändernden, die Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes zunächst erhöhenden und dann erniedrigenden Querschnitt aufweist und daß sich im Bereich der erhöhten Dampfgeschwindigkeit eine weitere Wärmeübertragungszone mit Wärmezufuhr oder -abfuhr befindet.  
5
2. Thermische Wärmepumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Dampfkanal des Wärmerohrs zwischen dem Verdampferbereich und dem Nutzkondensatorbereich ein die Dampfgeschwindigkeit ändernder Verdrängungskörper angeordnet ist.  
15
3. Thermische Wärmepumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Querschnittsfläche des Dampfkanals (16) längs des vorderen Teils (14) des Verdrängungskörpers (13) in Strömungsrichtung düsenartig verkleinert, längs des mittleren Teils (17) des Verdrängungskörpers (13) geringfügig verkleinert und längs des hinteren Teils (18) des Verdrängungskörpers (13) sich diffusorartig erweitert, wobei die Querschnittsänderungen des Dampfkanals derart bemessen sind, daß die Machzahl der Dampfströmung an jeder Stelle unterhalb 1,0 liegt.  
20
4. Thermische Wärmepumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Querschnittsfläche des Dampfkanals längs des vorderen Teils des Verdrängungskörpers in Strömungsrichtung düsenartig verkleinert, längs des mittleren Teils des Verdrängungskörpers geringfügig vergrößert und längs des hinteren Teils des Verdrängungskörpers sich diffusorartig erweitert, wobei die Quer-  
25
- 30
- 35

schnittsänderungen des Dampfkanals derart bemessen sind, daß die Machzahl der Dampfströmung an jeder Stelle unterhalb 1,0 liegt.

- 5 5. Thermische Wärmepumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (15) und der Diffusor (19) jeweils aus einem konvergenten und einem divergenten Teil bestehen, wobei die Querschnittsänderungen des Dampfkanals (16) derart bemessen sind, daß die Machzahl des in den Bereich der erhöhten Dampfgeschwindigkeit (TK) eintretenden Dampfes über 1,0 liegt.
- 10 6. Thermische Wärmepumpe nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (15) eine Unterschalldüse ist, daß die Querschnittsverhältnisse im Dampfkanal (16) derart bemessen sind, daß der Übergang von der Unterschall- zur Überschallströmung im Bereich der erhöhten Dampfgeschwindigkeit (TK) erfolgt, und daß der Diffusor (Di) ein Überschalldiffusor ist.
- 15 7. Thermische Wärmepumpe nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillarstruktur (12) längs der Innenwand des Wärmerohres (11) in etwa über die Länge des Verdrängungskörpers (13) gegen den Dampfkanal (16) mit einer Abdeckung (20) versehen ist.
- 20 8. Thermische Wärmepumpe nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in etwa im Bereich des Verdrängungskörpers (13) die Kapillarstruktur (12) ganz oder teilweise durch innerhalb oder außerhalb der Rohrwandung des Wärmerohrs (11) angeordnete Röhrchen, Kanäle od.dgl. ersetzt ist.
- 25 30

9. Thermische Wärmepumpe nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Verdrängungskörper (13) auf einem thermisch isolierten axialen Haltestab gelagert ist.

5

10. Thermische Wärmepumpe nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Nutzkondensatorberei (NK) und gegebenenfalls im Verdampferbereich (V) in etwa kegelförmige Verdrängungskörper angeordnet sind, deren Grundflächen den Stirnwänden des Wärmerohres (11) zugekehrt sind.

10

Fig. 1

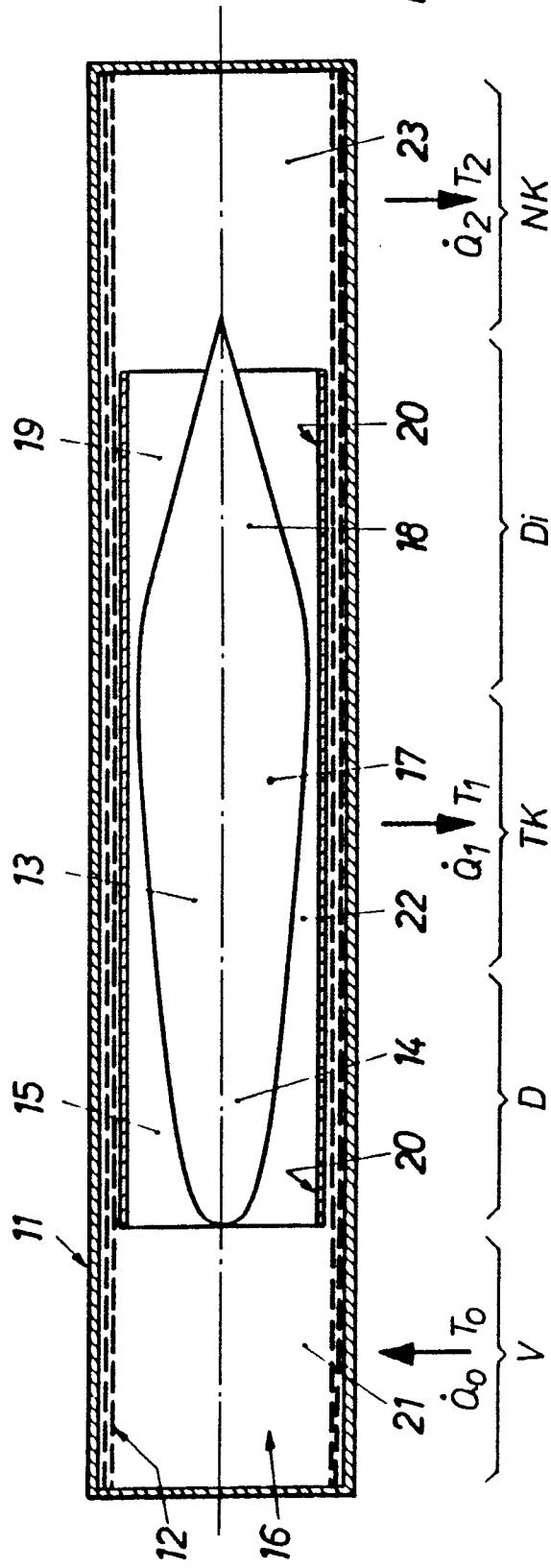
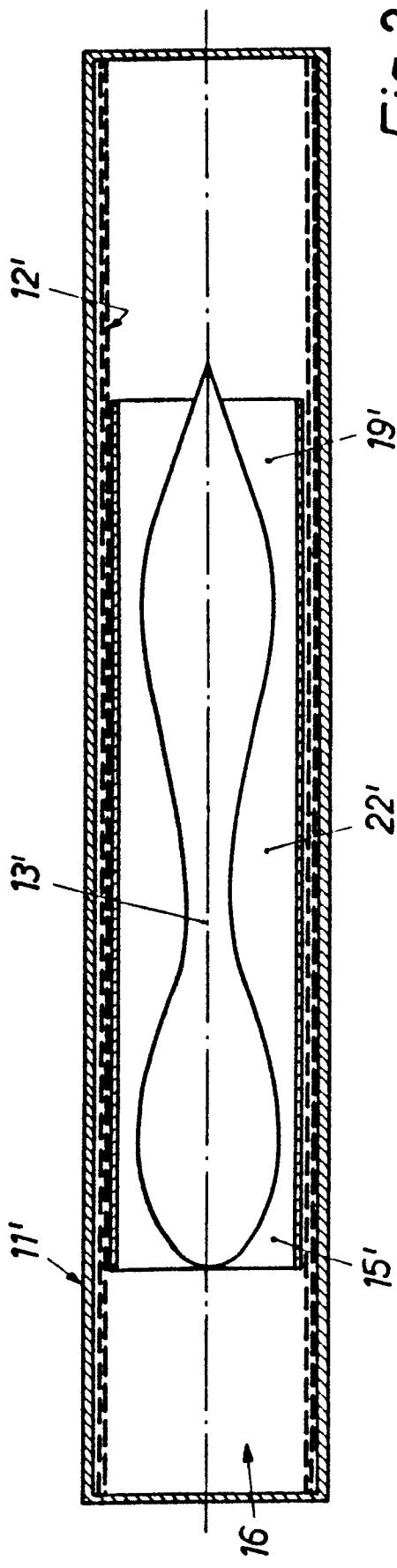


Fig. 2





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE		KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.2)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch
	<p><u>US - A - 3 532 159 (HAMMITT)</u>            * Spalte 3, Zeile 13-35, 42-75;            Spalte 4, Zeile 1-6, 25-39;            Figuren 1 und 2 *</p> <p>---</p> <p><u>US - A - 3 965 970 (CHISHOLM)</u>            * Spalte 1, Zeile 46-54; Spalte 2,            Zeile 60-68; Spalte 3, Zeile            1-2; Spalte 4, Zeile 35-38;            Figur 2 *</p> <p>---</p> <p><u>US - A - 3 568 762 (HARBAUGH)</u>            * Spalte 2, Zeile 30-46, 64-73;            Figuren 1 und 3 *</p> <p>---</p> <p><u>US - A - 4 018 260 (HONDA)</u>            * Spalte 4, Zeile 6-22; Figur 2 *</p> <p>---</p> <p><u>FR - A - 2 025 459 (EURATOM)</u>            * Seite 4, Zeile 20-26; Figur 2 *</p> <p>---</p> <p><u>US - A - 3 913 665 (FRANKLIN)</u>            * Spalte 2, Zeile 63-68; Spalte 3,            Zeile 1-20; Figur 1 *</p> <p>---</p> <p><u>A DE - A - 2 161 506 (G.F.K.)</u>            * Gesamt *</p> <p>-----</p>	1,2
		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.2)
		F 28 D 15/00 F 24 J 3/04 F 25 B 27/00 F 25 B 27/02
A		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE
		X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kollidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
<input checked="" type="checkbox"/>	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.	
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag	30-06-1978	HEINLEIN