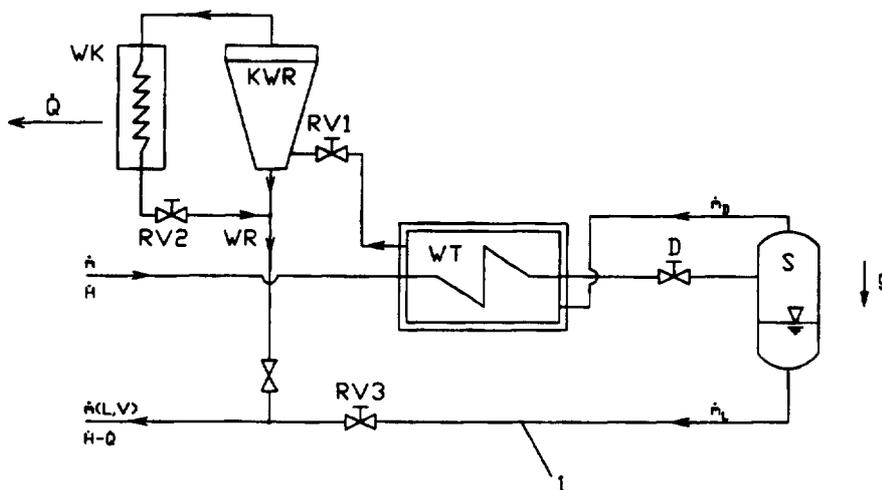




(51) Internationale Patentklassifikation⁶ : F25B 1/00, 9/04	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/24808 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 15. August 1996 (15.08.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE96/00194 (22) Internationales Anmeldedatum: 7. Februar 1996 (07.02.96)	(81) Bestimmungsstaaten: CA, DE, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(30) Prioritätsdaten: 195 04 014.7 7. Februar 1995 (07.02.95) DE	Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(71)(72) Anmelder und Erfinder: KELLER, Jürgen [DE/DE]; Universität Siegen, Paul-Bonatz-Strasse 9, D-57076 Siegen (DE).		
(74) Anwalt: MÜNICH, Wilhelm; München, Rösler, Steinmann, Wilhelm-Mayr-Strasse 11, D-80689 München (DE).		

(54) Title: COOLING SYSTEM

(54) Bezeichnung: KÜHLANLAGE



(57) Abstract

The system comprises a heat exchanger (WT), a pressure-relief valve (D), a separator (S) and a cooling vortex tube (KWR), i.e. a Ranque and Hilsch vortex tube supplemented by a separate hot flow cooler (WK) and a hot flow return line (WR) with a regulating valve (RV2). These components are arranged relative to one another such that a flow of compressed fluid, i.e. liquid, mixed liquid-vaporized or vaporized, working medium which arrives at ambient temperature is expanded exothermically, i.e. releasing heat into its environment, forming a liquid-vapour mixture or a vapour. The working medium can be a pure substance or a mixture of substances.

(57) Zusammenfassung

Die Anlage besteht aus einem Wärmetauscher (WT), einem Entspannungsventil (D), einem Separator (S) und einem Kühlwirbelrohr (KWR), d.h. einem durch einen gesonderten Warmstromkühler (WK) und eine Warmstromrückführung (WR) mit Regulierventil (RV2) ergänzten Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch. Diese Elemente sind so miteinander verschaltet, dass ein mit Umgebungstemperatur ankommender Strom eines komprimierten fluiden, d.h. flüssigen, flüssigdampfförmig gemischten oder dampfförmigen Arbeitsmediums exotherm, d.h. unter Wärmeabgabe an seine Umgebung, unter Bildung eines Flüssigkeit-Dampf-Gemisches oder eines Dampfes entspannt wird. Das Arbeitsmedium kann ein reiner Stoff oder ein Stoffgemisch sein.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LV	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

Kühlanlage

B e s c h r e i b u n g

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf eine Kühlanlage, in der ein Arbeitsmittelstrom einem exothermen Entspannungsprozeß unterzogen wird.

Stand der Technik

Allgemein sind Kältemaschinen und Wärmepumpen bekannt, die mit Kompressions-, Absorptions- oder Adsorptions-technik arbeiten. Bei diesen Kältemaschinen bzw. Wärmepumpen werden Entspannungselemente wie Drosseln oder Entspannungsventile verwendet. Dies ist notwendig, um die Temperatur eines in der Regel als Flüssigkeit vorliegenden Arbeitsstoffes (auch als Arbeitsmittel bezeichnet) unter ein gewisses, im allgemeinen durch die Umgebung vorgegebenes Niveau abzusenken.

Einzelheiten der bekannten Prozesse sind in der folgenden Basisliteratur ausführlich erläutert:

- R. Plank, Handbuch der Kältetechnik, Springer, Berlin, 1936 ff.
- H.L. von Cube, Hsg., Lehrbuch der Kältetechnik, 2 Bde, C.F. Müller, Karlsruhe, 1981.
- Bäckström, Emblik, Kältetechnik, Verlag G. Braun, Karlsruhe, 3. Aufl., 1974.
- H.L. von Cube, F. Steimle, Wärmepumpen VDI-Verlag, Düsseldorf, 1978.
- W. Niebergall, Sorptionskältemaschinen, Handbuch der Kältetechnik, R. Plank (Hsg.), Bd. 7 Springer, Berlin, 1959.

- G. Alefeld, R. Radermacher, Heat Conversion Systems, CRC Press, Boca Raton etc., 1994.

Auf diesen Stand der Technik wird im übrigen hinsichtlich aller hier nicht näher erläuterten Begriffe ausdrücklich verwiesen.

Der Entspannungsprozeß des Arbeitsfluids in der Drossel verläuft adiabat, isenthalp und unter Verlust von Exergie bzw. unter Produktion von Entropie. Das Arbeitsfluid verdampft teilweise, steht also nach der Entspannung im gekühlten Zustand nicht mehr vollständig, sondern nur mehr teilweise als Flüssigkeit zur Kälteerzeugung bzw. zur Wärmeaufnahme zur Verfügung.

Dieser Umstand ist eine der wesentlichen Ursachen dafür, daß die Leistungszahlen der Kältemaschinen- bzw. Wärmepumpenprozesse grundsätzlich wesentlich kleiner als ihre theoretisch maximal möglichen, durch die Carnotschranken beschriebenen Werte sind. Zur Reduktion des bei der Drosselung entstehenden Dampfanteils ist es vorteilhaft, das Arbeitsfluid vorzukühlen. Dies ist aber im allgemeinen nur sehr begrenzt, bzw. ohne zusätzlichen Aufwand nur bis zur Umgebungstemperatur möglich.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die Leistungszahlen von Kältemaschinen und Wärmepumpen dadurch zu erhöhen, daß der Entspannungsprozeß des fluiden Arbeitsmittels in der Drossel so weitergebildet wird, daß der Flüssigkeitsanteil nach der Entspannung vergrößert, der Dampfanteil verkleinert, d.h. die Enthalpie des Arbeitsfluids im Vergleich zu ihrem Wert im Eintrittszustand vor der Drossel verringert und damit

die Exergieverluste bei der Entspannung reduziert werden.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Patentanspruch 1 angegeben. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 10. Die Ansprüche 11 und 12 betreffen vorteilhafte Verwendungen der erfindungsgemäß ausgebildeten Anlage.

Erfindungsgemäß wird ein thermischer Separationseffekt in einem weitergebildeten Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch verwendet: Dabei wird ein komprimierter, fluider, d.h. insbesondere ein flüssiger, ein flüssig-dampfförmiger oder ein dampfförmiger Arbeitsmittelstrom mit Umgebungstemperatur unter Ausnutzung des thermischen Separationseffektes nach Ranque und Hilsch exotherm, d.h. unter Wärmeabgabe an die Umgebung, entspannt und abgekühlt.

Erfindungsgemäß wird ein Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch durch einen gesonderten Warmstromkühler und eine Warmstromrückführung mit Regulierventil ergänzt und mit weiteren verfahrenstechnischen Elementen, nämlich Wärmetauscher, Entspannungsventil, Separator und Regulierventilen, derart versehen, daß in der erfindungsgemäßen Anlage ein in der Regel flüssiger, einen oder mehrere Stoffe enthaltender Arbeitsmittelstrom, welcher komprimiert und bei Umgebungstemperatur vorliegt, exotherm, d.h. unter Wärmeabgabe an die Umgebung, entspannt werden kann, so daß im entstehenden Naßdampf der Flüssigkeitsanteil größer ist als beim direkten Entspannen in einer adiabaten Drossel.

Bei Wärmepumpenanlagen kann die abgegebene Wärme zumindest teilweise als Nutzwärme verwendet werden. Bei Kälteanlagen wird durch die Reduktion des Dampfgehaltes des entspannten Arbeitsfluids die Kälteleistung des Prozesses vergrößert.

Der thermische Separationseffekt bei der Expansion komprimierter Gase und Dämpfe in Wirbelrohren nach Ranque und Hilsch ist anundfürsich seit vielen Jahren bekannt. Bei diesem Effekt wird ein Dampf- oder Gasstrom unter Druckabfall in einen Warmgasstrom und einen Kaltgasstrom geteilt, deren Temperaturen jeweils über bzw. unter der Temperatur des Eingangsstromes liegen. Auf folgende Basisliteratur wird hingewiesen:

- G.J. Ranclue, "Experiences sur la detende giratoire avec production simultanes d'un echappement d'air chaud et dlun echappement d'air froid", Journal de physique et le radium, 4(1933), No.7;
- R. Hilsch, "Die Expansion von Gasen im Zentrifugalfeld als Kälteprozeß", Z.f. Naturforschung, 1(1946), 208-214.

Eine interessante technische Anwendung zur Kühlung bzw. Trocknung feuchter Gase wie z.B. feuchter Luft ist in

- R.v. Linde, Einrichtung zum Abkühlen eines verdichteten Gasstromes, DE-PS 926 729

beschrieben.

In Flüssigkeiten tritt dieser Effekt zwar grundsätzlich auch auf, ist aber meist so klein, daß er praktisch keine Bedeutung besitzt. Will man den Effekt zur Kühlung eines Flüssigkeitsstroms oder eines Flüssigkeit

enthaltenden Fluidstroms nutzen, muß zunächst reiner Arbeitsdampf erzeugt werden. Dies kann durch partielles Expandieren und Verdampfen des zu entspannenden Fluidstroms geschehen, von dem angenommen wird, daß er zunächst Umgebungstemperatur besitzt.

Die Erfindung erlaubt es, beliebige fluide und komprimierte Arbeitsstoffe der Energie- und Verfahrenstechnik exotherm, d.h. unter Wärmeabgabe zu entspannen. Damit ist es z.B. möglich, bei Wärmepumpenprozessen zusätzlich Wärme zu gewinnen bzw. bei Kälteprozessen die Kältekapazität des Arbeitsfluids um die abgegebene Wärme zu erhöhen. Beide Effekte führen zu Erhöhungen der energetischen Leistungszahlen der Prozesse, die typischerweise bei 5 % liegen, in Sonderfällen, etwa Kreisprozessen mit Kohlendioxid (CO₂) als Arbeitsmittel, aber auch bei 10% - 15% liegen können (vgl. J.U. Keller, KI Klima, Kälte, Heizung, 21(1993), 300-304.)

Kurze Beschreibung der Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben, auf die im übrigen bezüglich der Offenbarung aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich verwiesen wird. Es zeigen:

Fig. 1 ein Fließbild einer Thermodrosselanlage,

Fig. 2 ein Fließbild der Thermodrosselanlage gemäß Fig. 1 mit Prozeßdaten,

Fig. 3 ein Kältediagramm des Thermodrosselprozesses

(p,h),

- Fig. 4 ein Enthalpiestrom/Temperatur - Diagramm des Thermodrosselprozesses ($\dot{H} = h\dot{m}$, T).
- Fig. 5 eine Kältediagramm des Thermodrosselprozesses mit R22 als Arbeitsmittel,
- Fig. 6 einen Längsschnitt durch ein Kühlwirbelrohr,
- Fig. 7 ein Fließbild einer Thermodrosselanlage mit Zusatzverdampfung, und
- Fig. 8 und 9 die Schaltung einer ausgeführten Versuchsanlage,

Darstellung von Ausführungsbeispielen

Fig. 1 zeigt ein Fließbild einer erfindungsgemäß aufgebauten Thermodrosselanlage. Die verwendeten Bezugszeichen haben folgende Bedeutung:

WT	Wärmetauscher	
D	Entspannungsventil oder Drossel	
S	Phasenseparator	
RV1, RV2, RV3	Regulierventile	
KWR	Kühlwirbelrohr	
WK	Warmstromkühler	
WR	Warmstromrückführung	
\dot{m}	Arbeitsfluidstrom	(kg/s)
\dot{m}_D	Dampfstrom	(kg/s)
\dot{m}_L	Massenstrom siedender Flüssigkeiten	(kg,s)
$\dot{m}(L,V)$	Naßdampfstrom	(kg/s)
\dot{Q}	abgegebene Wärmeleistung	(Watt)
\dot{H}	Enthalpiestrom	

Bezüglich der Verschaltung der einzelnen Elemente wird ausdrücklich auf die Darstellung in Fig. 1 verwiesen.

Der Arbeitsfluidstrom \dot{m} wird über den Wärmetauscher WT in die Drossel D geleitet. Der bei der Entspannung in der Drossel D entstehende Dampf ist stets kälter als das zugeführte Fluid, d.h. die ursprüngliche Flüssigkeit. Würde der Dampf direkt in einem Wirbelrohr entspannt, läge die Temperatur des Warmgasstroms nur unwesentlich über der Temperatur des ursprünglichen Flüssigkeitsstroms, also z.B. Umgebungstemperatur ! Deshalb könnte der Arbeitsdampf im Wirbelrohr praktisch keine Wärme an die Umgebung abgeben.

Erfindungsgemäß wird deshalb der in dem Separator S von der Restflüssigkeit getrennten Dampfstrom \dot{m}_D in einem geeignet ausgelegten Wärmetauscher WT durch die Wärme des nachströmenden Flüssigkeitsstroms \dot{m} wieder möglichst weit erwärmt, d.h. bis auf wenige Grade unter Umgebungstemperatur ! Wird der vorgewärmte Dampfstrom in dem Kühlwirbelrohr KWR expandiert, so liegt die Temperatur des in Wandnähe des Wirbelrohrs sich bildenden Warmgasstroms \dot{m}_H erfahrungsgemäß deutlich, d.h. um ca. 30-40°C über der Umgebungstemperatur. Der Warmgasstrom kann also in einem separaten, meist als Rohrschlange ausgebildeten Kühler WK gekühlt werden. Die Wärme wird dabei über Kühlrippen des Warmstromkühlers WK an ein Kühlmedium, z.B. Wasser, oder an die Umgebungsluft abgegeben. Nach der Kühlung wird der Warmgasstrom \dot{m}_H mit dem ebenfalls im Wirbelrohr erzeugten Kaltstrom m_c durch die Warmstromrückführung mit Regulierventil RV2 wieder vereinigt, um mit dem in einem weiteren Regulierventil RV3 entspannten Flüssig-

keitsstrom \dot{m}_L zum Naßdampfstrom $\dot{m}(L,V)$ vereinigt zu werden.

Fig. 2 zeigt die in Fig. 1 dargestellte Anlage, wobei an den Stellen 3 bis 9 exemplarisch Prozeßdaten eingetragen sind.

Die angegebenen Daten beziehen sich von oben nach unten - wie auch dem Kasten in Fig. 2 zu entnehmen ist - jeweils auf die Temperatur, den Druck, den Massenstrom, die spezifische Enthalpie und den Dampfgehalt des Arbeitsmittels in den einzelnen Zuständen.

Das Arbeitsmittel besitzt beim Austritt aus der Anlage einen Dampfgehalt von ca. 28% (Massenanteile).

Bei isenthalper Entspannung in einer Drossel herkömmlicher Art würde - wie Fig. 5 zu entnehmen ist - der Dampfgehalt ca. 31-32% betragen. Diese Figur zeigt das Kältediagramm eines realisierten Thermodrosselprozesses mit dem Kältemittel R22. Die Zustandsnummern beziehen sich auf die in Figuren 2-4 angegebenen Zustände bzw. Stellen.

Der Enthalpiestrom \dot{H} des Fluids wird in der Anlage von $\dot{H} = 1500 \text{ W}$ durch Abgabe der Wärmeleistung $\dot{Q} = 60 \text{ W}$ auf $\dot{H} - \dot{Q} = 1440 \text{ W}$ reduziert.

Für folgende Stellen sind Prozeßdaten angegeben:

- 3* Eintrittszustand des Arbeitsfluids,
- 4 Austrittszustand des Fluids nach Abkühlung im Wärmetauscher WT,

- 5 Austrittszustand des Arbeitsfluids nach Drossel D,
- 5' Zustand der siedenden Flüssigkeit im Separator D,
- 5" Zustand des Sattedampfes im Separator,
- 6" Zustand des Arbeitsdampfes nach Erwärmung bzw. Überhitzung im Wärmetauscher WT,
- 7 Austrittszustand des Arbeitsdampfes nach Expansion und Kühlung im Kühlwirbelrohr,
- 8 Entspannungszustand der siedenden Flüssigkeit nach Drosselung auf den Enddruck,
- 9 Zustand des Naßdampfes nach Vereinigung des gekühlten Arbeitsdampfes (7) und der entspannten Arbeitsflüssigkeit (8).

Den angegebenen Werten liegen folgende Prozeßbedingungen zugrunde:

Arbeitsstoff:	R22,
Massenstrom(L):	12 g/s,
Abgegebene Wärmeleistung:	60 W.

Ebenfalls wird wieder ausdrücklich auf die aus Fig. 2 entnehmbaren Werte als Offenbarung der Erfindung verwiesen.

Fig. 7 zeigt eine vorteilhafte Weiterbildung der Thermo-drossel. Dargestellt ist das Fließbild einer Thermo-drosselanlage mit Zusatzkühlung des aus dem Warmstromkühlers WK austretenden Warmstromes im Separator/Ver-

dampfer (S,V) der Anlage. Die ursprüngliche Schaltung gemäß Figur 1 ist strichliert zusätzlich eingetragen.

Der Unterschied zu dem in Fig. 1 dargestellten Fließbild besteht darin, daß der Warmgasstrom \dot{m}_H nach dem Austreten aus dem Warmstromkühler WK nicht direkt mit dem Kaltstrom \dot{m}_c vereinigt wird. Die Vereinigung erfolgt vielmehr erst, nachdem der Warmgasstrom einen in den Separator S eingebauten Wärmetauscher passiert hat. Dort gibt der Warmstrom \dot{m}_H Wärme an das teilentspannte und vorgekühlte flüssige Arbeitsmittel ab, welches, da es sich in einem Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewichtszustand befindet, nicht erwärmt, sondern zusätzlich verdampft. Dadurch wird der Dampfstrom \dot{m}_D gegenüber dem der in Fig. 1 dargestellten Schaltung vergrößert. Damit steigt auch der Warmgasstrom \dot{m}_H und die von ihm im Wärmetauscher WK abgegebene Wärme $\dot{Q} \sim \dot{m}_H$ an !

Diese Schaltung, in welcher der Separator S gleichzeitig als Verdampfer (V) wirkt, eignet sich besonders für Fluide und Entspannungsprozesse, die in der Nähe ihres kritischen Zustandes, also bei kleinen Werten der Verdampfungsenthalpie erfolgen, wie z.B. bei Kohlendioxid (CO_2), da dann die Zunahme des Dampfstromes \dot{m}_D durch die Zusatzverdampfung im Separator/Verdampfer besonders groß sein kann.

In den Fig. 3 und 4 ist der in der Thermodrossel nach Fig. 1 stattfindende exotherme Entspannungsprozeß eines als flüssig angenommenen Arbeitsmediums im Kältediagramm nach C.v. Linde (p, h bzw. $\ln(p/p_0), h$) und im Enthalpiestrom-Temperatur-Diagramm nach Linhoff ($T, \dot{H} = h\dot{m}$) dargestellt. Die Zustandsnummern beziehen sich auf die in Figur 2 angegebenen Stellen.

Halbfett hervorgehoben sind in Fig. 3 die Siede- und die Taulinie des Arbeitsfluids. Die strichlierten Linien deuten auf den Wärmetauscher WT der Anlage hin. In Fig. 4 sind qualitativ die im Kühlwirbelrohr zunächst erfolgende thermische Separation, beschrieben durch den Warmdampfzustand H und den Kaltdampfzustand C, (vgl. auch Fig. 6), sowie die durch Abkühlung des Warmdampfes im Warmdampfkühler WK an die Umgebung abgegebene Wärmeleistung \dot{Q} eingetragen.

Fig. 6 zeigt einen Längsschnitt durch ein Kühlwirbelrohr (KWR), (vgl. auch Offenlegungsschrift DE 43 45 137 A1 vom 29.06.1995).

Das Kühlwirbelrohr ist ein Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch (RHWR), welches mit einem mit Kühlrippen (10) versehenen Warmstromkühler (WK), einer Warmstromrückführung (WR) und einem Regulierventil RV2 versehen ist. Der dampfförmige Arbeitsstoff tritt durch einen Einlaßkanal (11) tangential an den kreisförmigen Querschnitt des Wirbelrohres ein und wird unter Bildung einer Drallströmung in einen Warmstrom (12), Zustand (H) und einen Kaltstrom (13), Zustand (C), separiert. Der Warmstrom (12) wird im Warmstromkühler (WK) gekühlt und gibt dabei an ein Kühlmedium oder an die Umgebung die Wärmeleistung \dot{Q} ab. Danach wird der gekühlte Warmstrom über eine Warmstromrückführung WR und ein Regulierventil RV2 mit dem Kaltstrom 13 wieder vereinigt und tritt als gekühlter Dampf bzw. Naßdampf aus dem Kühlwirbelrohr aus.

Fig. 8 zeigt das Flußdiagramm einer am Institut für Fluid- und Thermodynamik der Universität Siegen ge-

planten, ausgelegten und gebauten Thermodrosselanlage. Sie ist als Experimentieranlage mit zahlreichen Meßgeräten versehen und kann beispielsweise an einer Kälteanlage mit dem Kältemittel R22 betrieben werden. In Fig. 8 ist die gesamte Anlage mit den rechts in Bildmitte befindlichen Zu- und Ableitungen des Arbeitsfluids dargestellt. Dabei werden die üblichen Symbole für die einzelnen Bauelemente verwendet, so daß auf eine vollständige Beschreibung verzichtet wird und statt dessen auf die Darstellung in Fig. 8 verwiesen wird.

Fig. 9 zeigt einen Ausschnitt der in Fig. 8 dargestellten Anlage und zwar die Verschaltung des Kühlwirbelrohrs KWR, des Warmstromkühlers WK und des Regulierventils RV2.

Vorstehend ist die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens beschrieben worden. Innerhalb dieses allgemeinen Erfindungsgedankens können aufgrund der vorstehenden Beschreibung von einem Fachmann Thermodrosseln, d.h. Kühlanlagen ohne bewegte Teile zur exothermen, d.h. wärmeabgebenden Entspannung komprimierter fluider Arbeitsstoffe der Energie- und Verfahrenstechnik realisiert werden.

Die Anlage bestehen im allgemeinen aus einem Wärmetauscher, einem Entspannungsventil, einem Separator und einem Kühlwirbelrohr, d.h. einem durch einen gesonderten Warmstromkühler und eine Warmstromrückführung mit Regulierventil ergänzten Wirbelrohr insbesondere nach Ranque und Hilsch. Diese Elemente sind so miteinander verschaltet, daß ein insbesondere mit Umgebungstempe-

ratur ankommender Strom eines komprimierten fluiden, d.h. flüssigen, flüssig-dampfförmig gemischten oder dampfförmigen Arbeitsmediums exotherm, d.h. unter Wärmeabgabe an seine Umgebung, unter Bildung eines Flüssigkeit-Dampf-Gemisches oder eines Dampfes entspannt wird. Das Arbeitsmedium kann ein reiner Stoff oder ein Stoffgemisch sein.

Die Thermo-Drossel kann grundsätzlich in allen Prozessen der Energie- und Verfahrenstechnik anstelle gewöhnlicher, adiabat arbeitender Drossel- oder Entspannungsventile eingesetzt werden. Bei Wärmepumpen- und Kältekreisprozessen führt sie zu Energieeinsparungen, d.h. zu nicht unerheblichen Erhöhungen der Leistungszahlen.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Kühlanlage, in der ein Arbeitsmittelstrom (\dot{m}) einem exothermen Entspannungsprozeß unterzogen wird, d.h. unter Abgabe einer Wärmeleistung (\dot{Q}) in einen Naßdampfstrom ($\dot{m}(L,V)$) überführt wird, mit

- einem Wärmetauscher (WT), in den ein in der Regel flüssiger, einen oder mehrere Stoffe enthaltender Arbeitsmittelstrom (\dot{m}) eintritt,
- einer Drossel (D), in die der aus dem Wärmetauscher austretende Arbeitsmittelstrom eintritt,
- einem der Drossel nachgeschaltetem Separator (S), der den Arbeitsmittelstrom in einen Dampfstrom (\dot{m}_D) und einen Strom (\dot{m}_L) siedender Flüssigkeit separiert,
- einem Wirbelrohr (KWR) insbesondere nach Ranque und Hilsch, in das der Dampfstrom nach Passieren des Wärmetauschers (WT) eintritt, und das den Dampfstrom in einen Warmstrom (12) und einen Kaltstrom (13) teilt,
- einem Warmstromkühler (WK), und
- einer Warmstromrückführung (WR) mit Regulierventil (RV2), die den abgekühlten Warmstrom mit dem Kaltstrom vereinigt, so daß im entstehenden Naßdampf der Flüssigkeitsanteil größer ist als beim direkten Entspannen in einer adiabaten Drossel.

2. Kühlanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der einströmende fluide, einen oder mehrere Stoffe enthaltender Arbeitsmittelstrom (Arbeitsfluidstrom \dot{m}) sich in einem komprimierten Flüssigkeitszustand oder einem Siedezustand, einem Naßdampfzustand, einem Sattdampfzustand oder einem überhitzten Dampfzustand befindet.

3. Kühlanlage nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Arbeitsfluidstrom zunächst in dem Wärmetauscher (WT) isobar gekühlt und in der Drossel D teilweise entspannt wird, so daß er in ein Flüssigkeit-Dampf-Gemisch überführt wird.
4. Kühlanlage nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Flüssigkeit-Dampf-Gemisch unter dem Einfluß der Schwerkraft in dem Separator S in den Dampfstrom \dot{m}_D und den Strom siedender Flüssigkeit \dot{m}_L getrennt wird.
5. Kühlanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß der zunächst kalte Dampfstrom (\dot{m}_D) nach dem Passieren des Wärmetauschers (WT) und der hierdurch erfolgten Erwärmung durch ein Regulierventil RV1 in das Kühlwirbelrohr (KWR) eintritt, in dem er unter Bildung einer Drallströmung weiter entspannt und durch Wärmeabgabe des im Wirbelrohr gebildeten Warmgasstromes im Warmstromkühler WK abgekühlt wird, und daß der Strom siedender Flüssigkeit \dot{m}_L über ein Regulierventil RV3 entspannt wird und nach Vereinigung mit dem gekühlten Dampfstrom m_D die Anlage als Naßdampfstrom $\dot{m}(L,V)$ verläßt.
6. Kühlanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Verhältnis des in der Drossel D auftretenden Druckabfalls p_D zu dem im Kühlwirbelrohr bzw. im Regulierventil (RV3) auftretenden Druckabfall p zwischen 1 und 30 liegt.

7. Kühlanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Massenverhältnis des Dampfstromes \dot{m}_D zum Flüssigkeitsstrom \dot{m}_L zwischen 5 % und 50 % liegt.
8. Kühlanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Eintrittsgeschwindigkeit des Dampfstromes in das Kühlwirbelrohr (KWR) mindestens 50 % und höchstens 100 % der Schallgeschwindigkeit im Eintrittszustand beträgt.
9. Kühlanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Geschwindigkeit der Drallströmung des an den Wänden des Kühlwirbelrohrs (KWR) expandierenden Dampfstroms in Richtung der lotrechten Rohrachse nach oben mindestens 10 % und höchstens 60 % der Schallgeschwindigkeit des Dampfes im Eintrittszustand beträgt.
10. Kühlanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, daß der aus dem Warmstromkühler (WK) gekühlt austretende Warmgasstrom \dot{m}^H noch zusätzlich durch einen in den Separator (S) eingebauten Wärmetauscher geleitet und erst danach mit dem aus dem Kühlwirbelrohr austretenden Kaltstrom \dot{m}_c über das Regulierventil (RV2) vereinigt und danach dem durch das Ventil (RV3) entspannten Flüssigstrom \dot{m}_L zugeführt wird (Figur 7).
11. Verwendung einer Kühlanlage oder einer Kaskadenschaltung solcher Anlagen in paralleler oder serieller Weise nach einem der Ansprüche 1 bis 10 in Wärmepumpen und Kältemaschinen mit Kompressionstechnik, Absorptionstechnik, Adsorptionstechnik oder einer Kombination

dieser Techniken in einstufiger oder mehrstufiger Bauweise zum mono- oder multivalenten Betrieb durch Ersatz des adiabaten Expansionsventils oder der adiabaten Entspannungsdüse durch die Kühlanlage (1).

12. Verwendung einer Kühlanlage oder einer Kaskadenschaltung solcher Anlagen in paralleler oder serieller Weise nach einem der Ansprüche 1 bis 10 in Anlagen der Energie- und Verfahrenstechnik zur exothermen Entspannung oder Kühlung von Industriesolen und ähnlichen Arbeitsfluiden als Ersatz für ein oder mehrere adiabate Entspannungsventile.

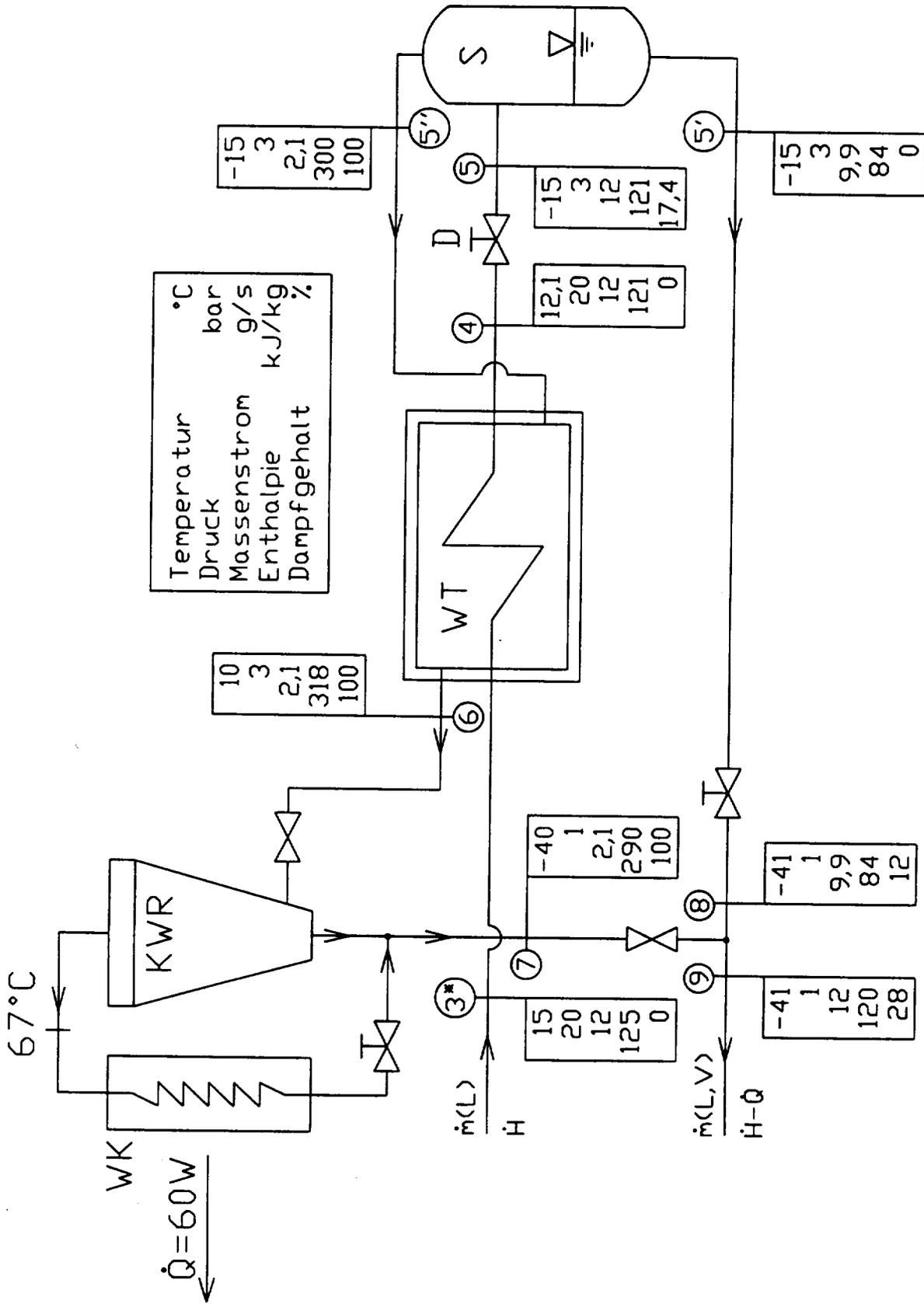


Fig. 2

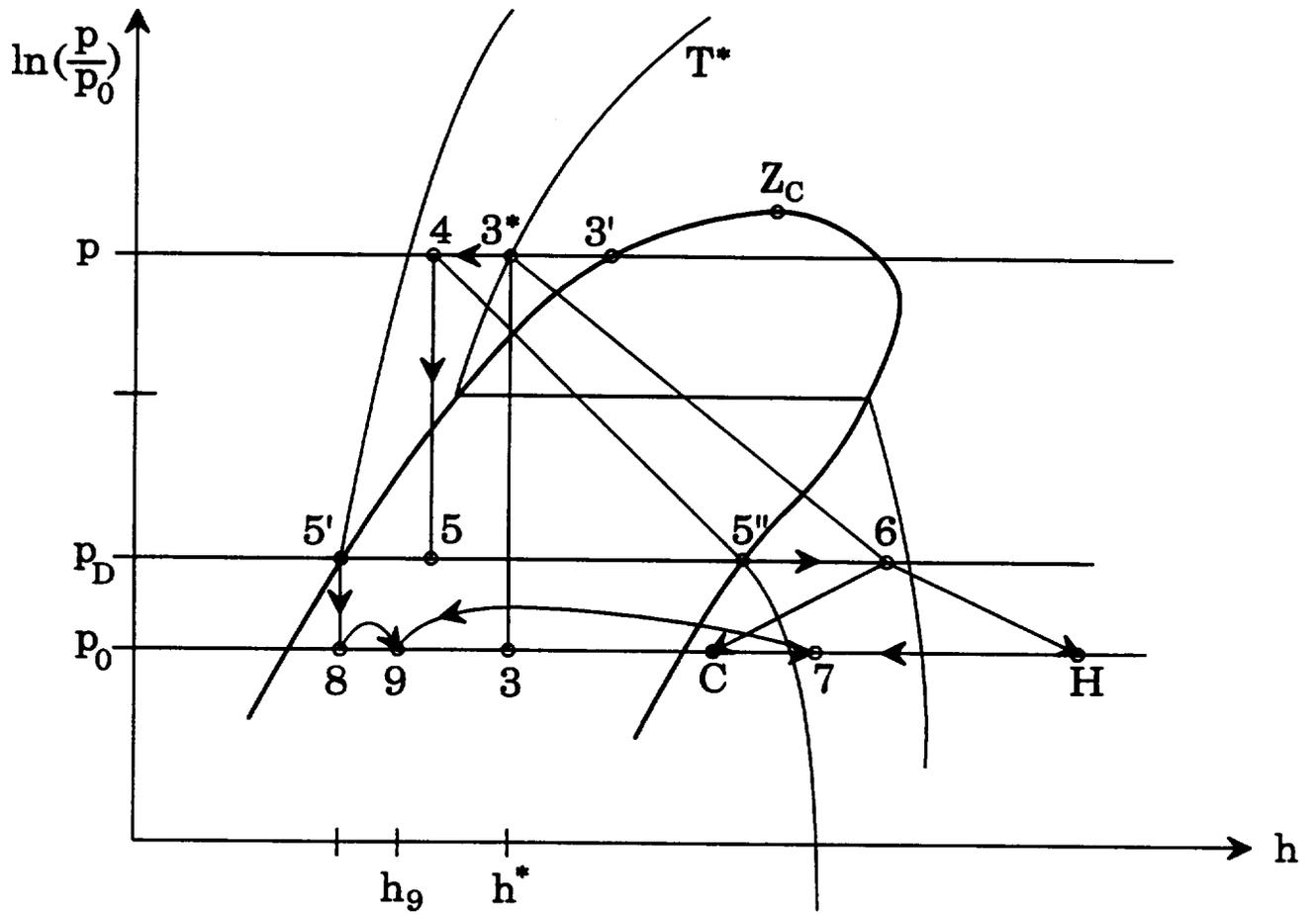


Fig. 3

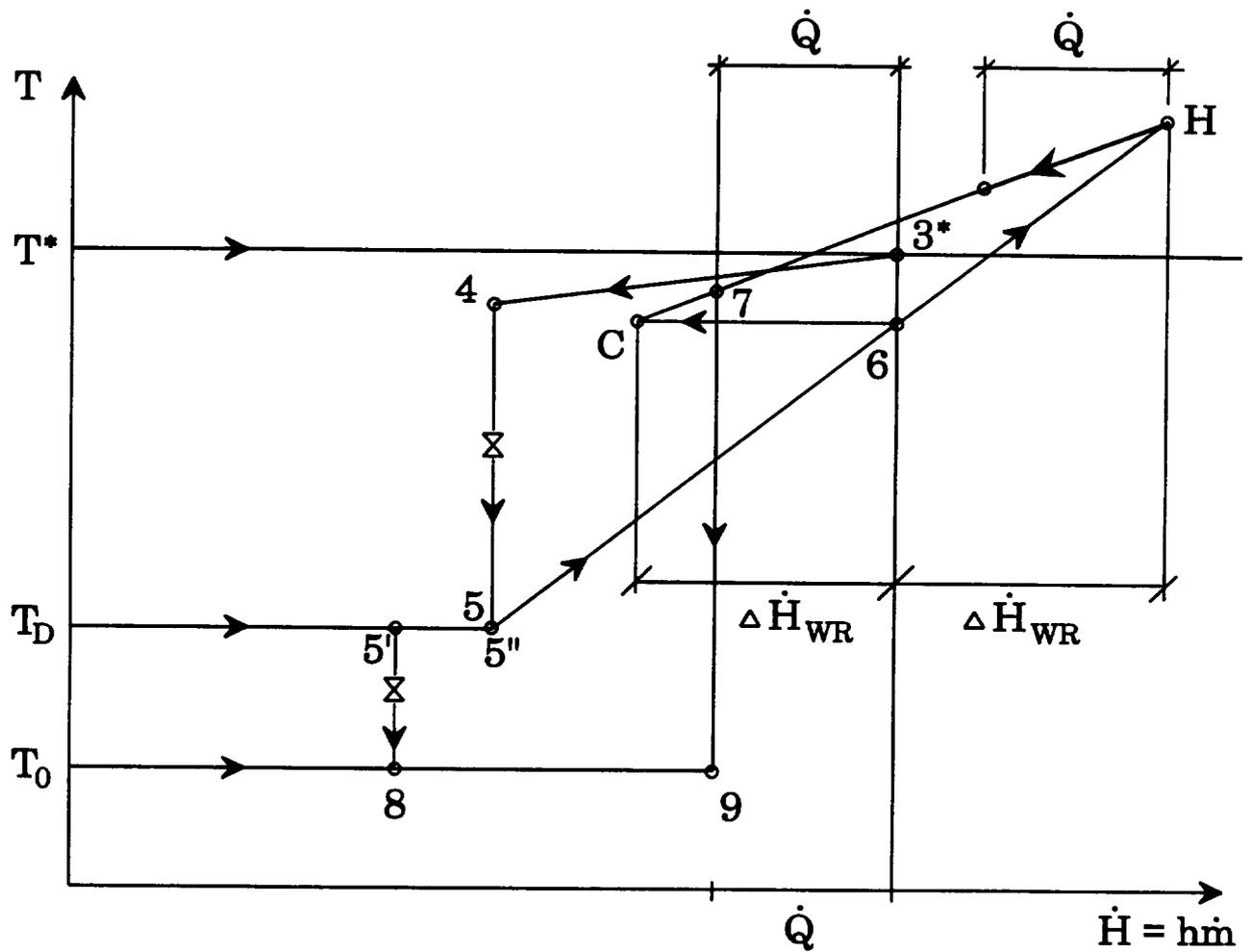
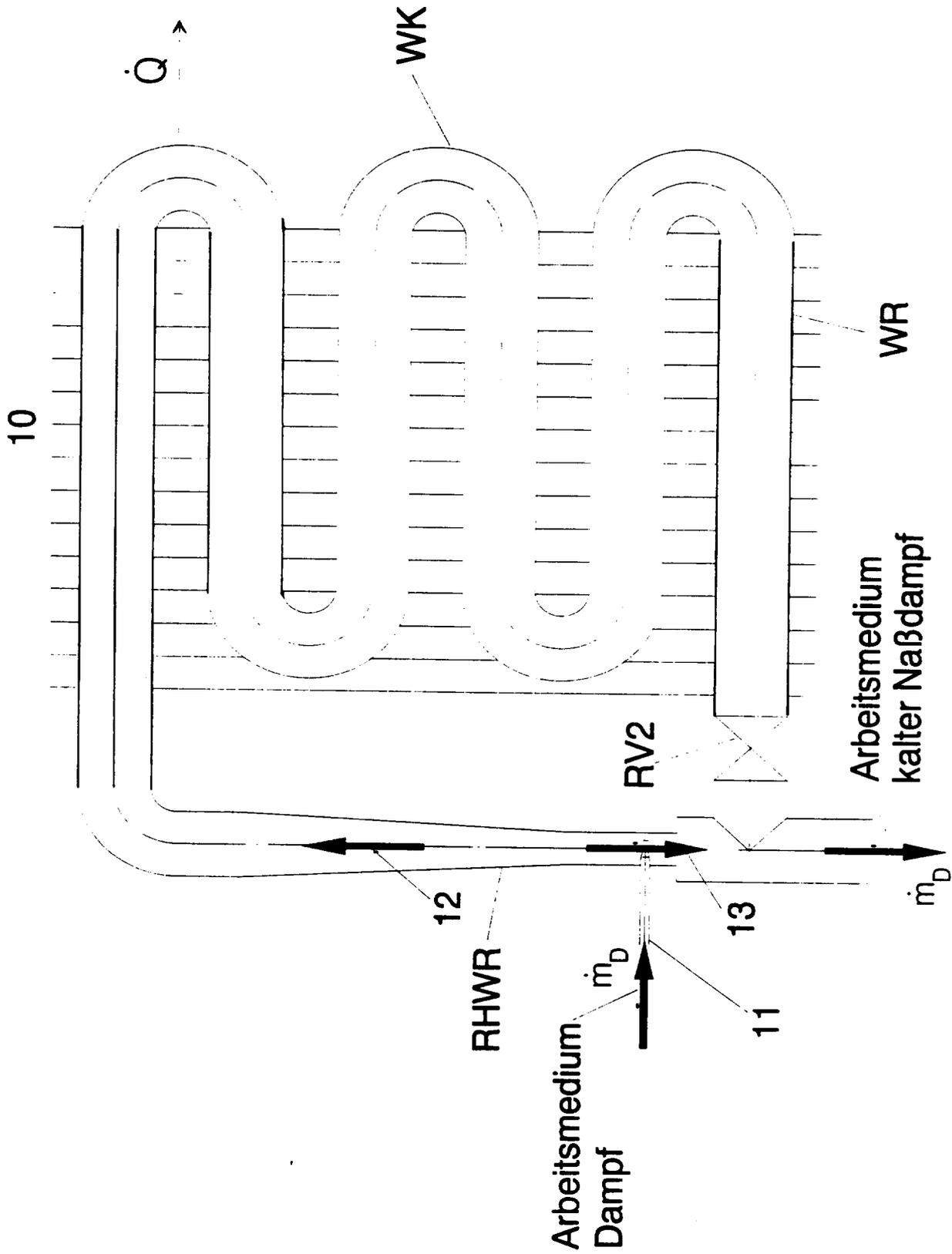


Fig. 4



Kühlwirbelrohr (KWR)

Figur 6

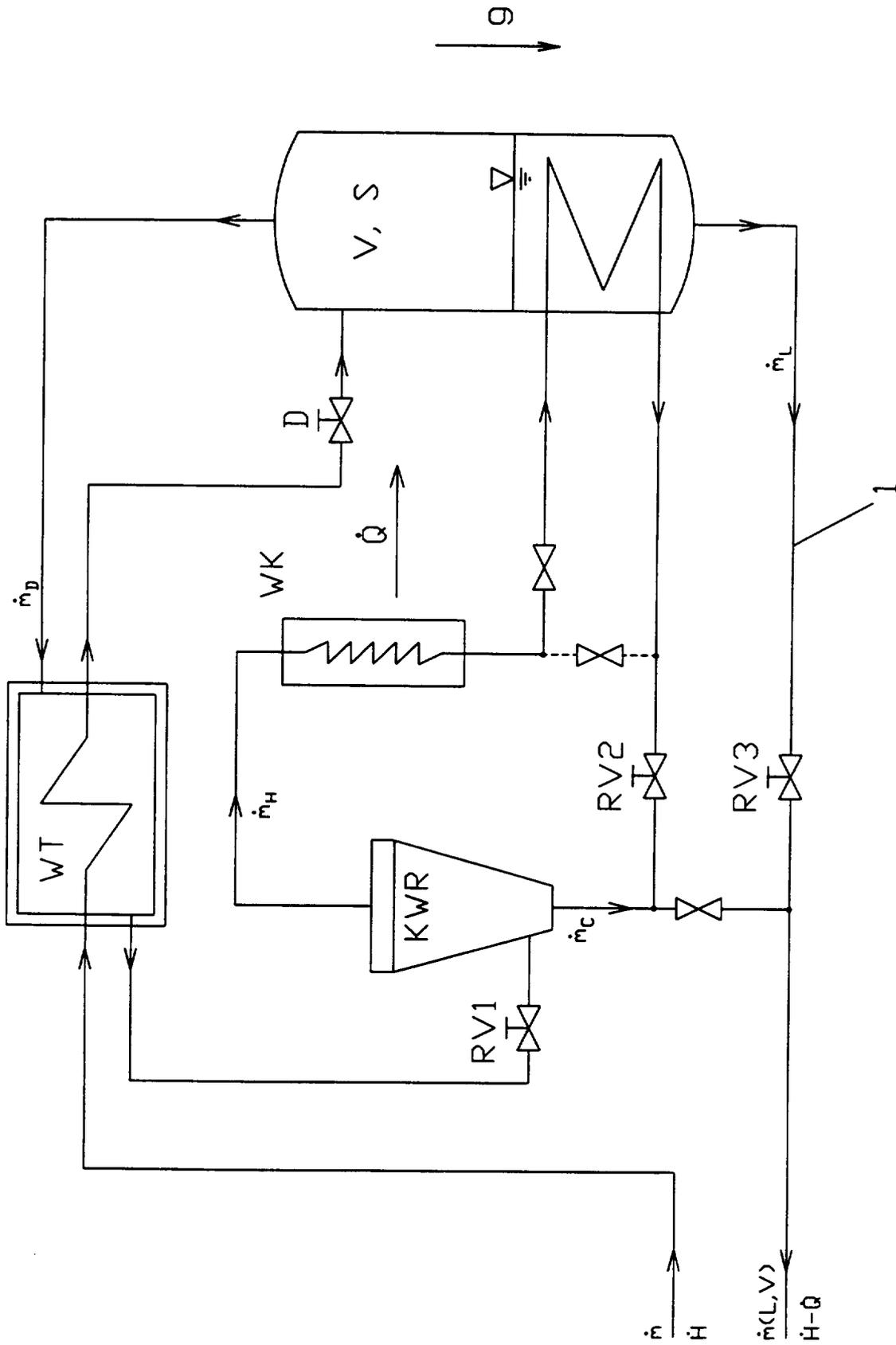


Fig. 7

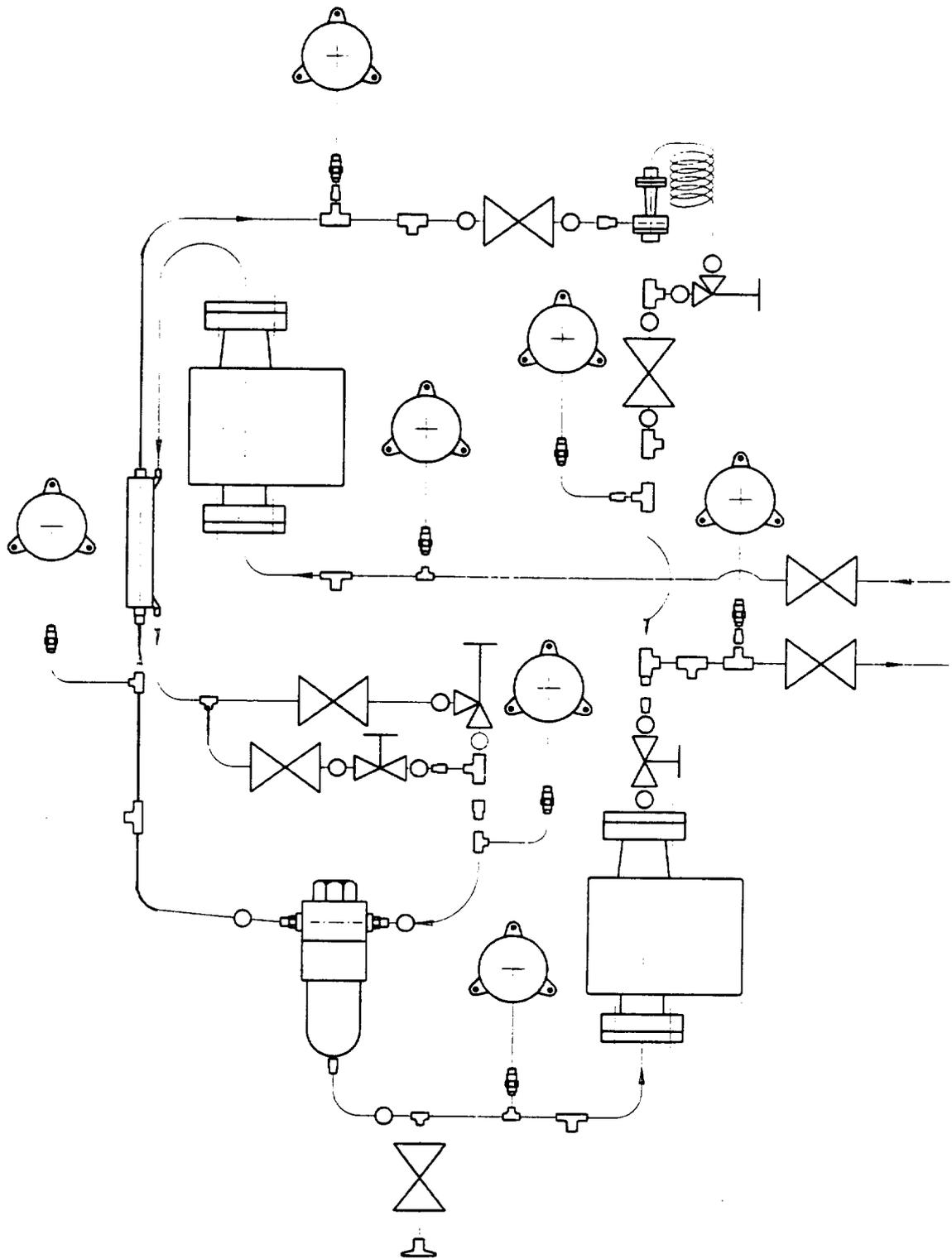


Fig. 8

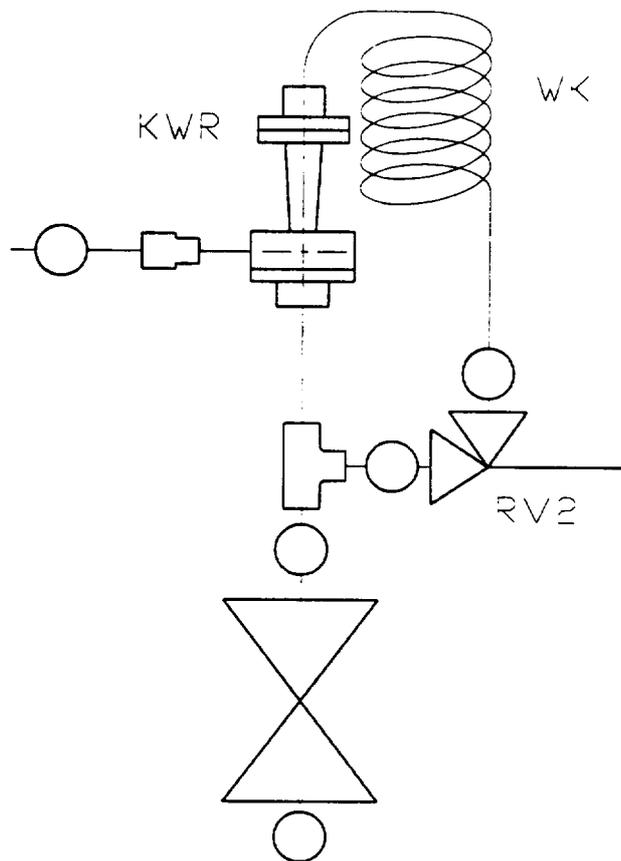


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern al Application No
PCT/DE 96/00194

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 F25B1/00 F25B9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 F25B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US,A,3 815 375 (INGLIS) 11 June 1974 see column 3, line 14 - column 6, line 20; figure ---	1-5
A	US,A,4 584 838 (ABUJUDOM) 29 April 1986 see column 2, line 52 - column 5, line 31; figures 1-4 ---	1-5
A	US,A,2 510 881 (GERTEIS) 6 June 1950 see column 2, line 27 - column 4, line 18; figures 1-3 ---	1-4
A	DE,A,25 45 606 (GRANRYD) 22 April 1976 see page 2, last paragraph - page 14, paragraph 2; figures 1-6 ---	1-4
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 June 1996

Date of mailing of the international search report

21.06.96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Boets, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No
PCT/DE 96/00194

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US,A,4 026 120 (TALLANT) 31 May 1977 see column 4, line 5 - column 7, line 2; figures 1,2 ---	1,5
A	EP,A,0 180 645 (JANTEC) 14 May 1986 see page 5, last paragraph - page 19, last paragraph; figures 1-9 ---	1,5
A	DE,C,858 260 (ANDREAS HOFER HOCHDRUCK-APPARATEBAU) 4 December 1952 see page 2, line 56 - line 104; figures 7-9 ---	1,5
A	WO,A,93 16338 (CRAZE) 19 August 1993 see page 11, line 34 - page 19, line 27; figures 1-9 ---	1
P,A	DE,A,43 45 137 (KELLER) 29 June 1995 cited in the application see column 3, line 37 - column 4, line 66; figures 1-3 ---	1,2,5
A	DE,C,950 295 (LICENTIA) 4 October 1956 -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Application No
PCT/DE 96/00194

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-3815375	11-06-74	CA-A- 1014077	19-07-77
US-A-4584838	29-04-86	CA-A- 1272170	31-07-90
US-A-2510881	06-06-50	NONE	
DE-A-2545606	22-04-76	SE-B- 395186 AR-A- 207656 AU-B- 8556675 BE-A- 834391 CA-A- 1015966 FR-A,B 2287664 GB-A- 1476833 JP-A- 51064653 SE-A- 7412825 US-A- 4014182	01-08-77 22-10-76 21-04-77 02-02-76 23-08-77 07-05-76 16-06-77 04-06-76 12-04-76 29-03-77
US-A-4026120	31-05-77	CA-A- 1050414	13-03-79
EP-A-180645	14-05-86	JP-A- 60200057 JP-A- 60223969 JP-A- 60253768 AU-B- 4155585 WO-A- 8504465 US-A- 4646524	09-10-85 08-11-85 14-12-85 01-11-85 10-10-85 03-03-87
DE-C-858260		NONE	
WO-A-9316338	19-08-93	AU-B- 667088 AU-B- 3782293 EP-A- 0627064 JP-T- 7504026 US-A- 5483801	07-03-96 03-09-93 07-12-94 27-04-95 16-01-96
DE-A-4345137	29-06-95	NONE	
DE-C-950295		NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: als Aktenzeichen
PCT/DE 96/00194

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 F25B1/00 F25B9/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 F25B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US,A,3 815 375 (INGLIS) 11.Juni 1974 siehe Spalte 3, Zeile 14 - Spalte 6, Zeile 20; Abbildung ---	1-5
A	US,A,4 584 838 (ABUJUDOM) 29.April 1986 siehe Spalte 2, Zeile 52 - Spalte 5, Zeile 31; Abbildungen 1-4 ---	1-5
A	US,A,2 510 881 (GERTEIS) 6.Juni 1950 siehe Spalte 2, Zeile 27 - Spalte 4, Zeile 18; Abbildungen 1-3 ---	1-4
A	DE,A,25 45 606 (GRANRYD) 22.April 1976 siehe Seite 2, letzter Absatz - Seite 14, Absatz 2; Abbildungen 1-6 ---	1-4
	-/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Juni 1996

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21. 06. 96

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Boets, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internales Aktenzeichen
PCT/DE 96/00194

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US,A,4 026 120 (TALLANT) 31.Mai 1977 siehe Spalte 4, Zeile 5 - Spalte 7, Zeile 2; Abbildungen 1,2 ---	1,5
A	EP,A,0 180 645 (JANTEC) 14.Mai 1986 siehe Seite 5, letzter Absatz - Seite 19, letzter Absatz; Abbildungen 1-9 ---	1,5
A	DE,C,858 260 (ANDREAS HOFER HOCHDRUCK-APPARATEBAU) 4.Dezember 1952 siehe Seite 2, Zeile 56 - Zeile 104; Abbildungen 7-9 ---	1,5
A	WO,A,93 16338 (CRAZE) 19.August 1993 siehe Seite 11, Zeile 34 - Seite 19, Zeile 27; Abbildungen 1-9 ---	1
P,A	DE,A,43 45 137 (KELLER) 29.Juni 1995 in der Anmeldung erwähnt siehe Spalte 3, Zeile 37 - Spalte 4, Zeile 66; Abbildungen 1-3 ---	1,2,5
A	DE,C,950 295 (LICENTIA) 4.Oktober 1956 -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00194

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-3815375	11-06-74	CA-A- 1014077	19-07-77
US-A-4584838	29-04-86	CA-A- 1272170	31-07-90
US-A-2510881	06-06-50	KEINE	
DE-A-2545606	22-04-76	SE-B- 395186	01-08-77
		AR-A- 207656	22-10-76
		AU-B- 8556675	21-04-77
		BE-A- 834391	02-02-76
		CA-A- 1015966	23-08-77
		FR-A,B 2287664	07-05-76
		GB-A- 1476833	16-06-77
		JP-A- 51064653	04-06-76
		SE-A- 7412825	12-04-76
		US-A- 4014182	29-03-77
US-A-4026120	31-05-77	CA-A- 1050414	13-03-79
EP-A-180645	14-05-86	JP-A- 60200057	09-10-85
		JP-A- 60223969	08-11-85
		JP-A- 60253768	14-12-85
		AU-B- 4155585	01-11-85
		WO-A- 8504465	10-10-85
		US-A- 4646524	03-03-87
DE-C-858260		KEINE	
WO-A-9316338	19-08-93	AU-B- 667088	07-03-96
		AU-B- 3782293	03-09-93
		EP-A- 0627064	07-12-94
		JP-T- 7504026	27-04-95
		US-A- 5483801	16-01-96
DE-A-4345137	29-06-95	KEINE	
DE-C-950295		KEINE	