

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **86108529.8**

51 Int. Cl.4: **F04B 37/08**

22 Anmeldetag: **23.06.86**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.01.88 Patentblatt 88/01

84 Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL

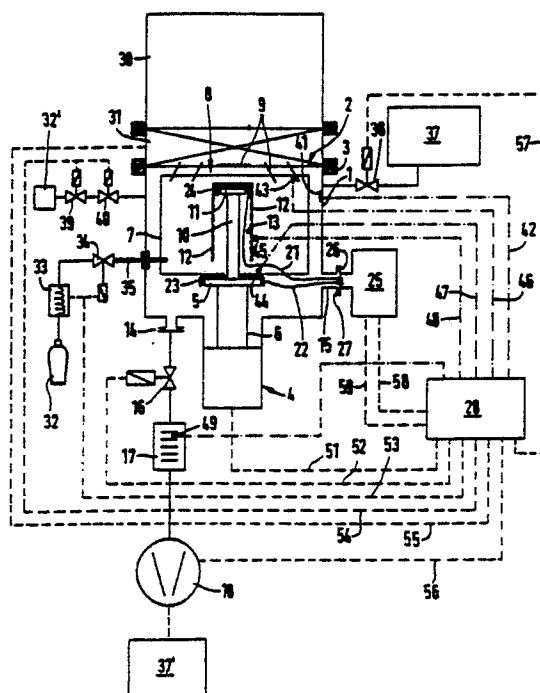
71 Anmelder: **Leybold Aktiengesellschaft**
Bonner Strasse 498
D-5000 Köln - 51(DE)

72 Erfinder: **Bächler, Werner**
Hausacker 34
D-5064 Rösrath 1(DE)
Erfinder: **Forth, Hans-Joachim, Dr.**
Zülpicher Strasse 81a
D-5000 Köln 41(DE)
Erfinder: **Klein, Hans-Hermann, Dr.**
Im Weidenthal 13
D-5064 Rösrath 3(DE)
Erfinder: **Strasser, Wilhelm**
Reiser 9
D-5060 Bergisch Gladbach(DE)

74 Vertreter: **Leineweber, Jürgen, Dipl.-Phys.**
Am Heldstamm 78 a
D-5000 Köln 40(DE)

54 **Kryopumpe und Verfahren zum Betrieb dieser Kryopumpe.**

57 Die Erfindung betrifft eine Kryopumpe mit einem Gehäuse (1), mit einer Gaseintrittsöffnung (8), an welche über ein Ventil (31) ein Rezipient (30) anschließbar ist, mit einer an das Gehäuse über ein Ventil (16) angeschlossenen Vakuumpumpe (18), mit einem im Gehäuse befindlichen zweistufigen Refrigerator (4) als Kältequelle und mit Pumpflächen (7, 9, 12, 13) an den beiden Kältestufen (5, 11) des Refrigerators, welche mit einer elektrischen Heizung (23, 24) ausgerüstet sind; um möglichst kurze und möglichst wirksame Regenerier- und Inbetriebnahmezeiten zu erzielen, wird vorgeschlagen, daß ein Sensor (41) zur Kontrolle des Druckes innerhalb des Pumpengehäuses (1) vorgesehen ist und daß eine Steuereinheit (28) vorhanden ist, mit der in Abhängigkeit der vom Sensor gelieferten Signale der Betrieb der Kryopumpe überwacht und gesteuert wird.



Kryopumpe und Verfahren zum Betrieb dieser Kryopumpe

Die Erfindung bezieht sich auf eine Kryopumpe mit einem Gehäuse, mit einer Gaseintrittsöffnung, an welche über ein Ventil ein Rezipient anschließbar ist, mit einer an das Gehäuse über ein Ventil angeschlossenen Vakuumpumpe, mit einem im Gehäuse befindlichen zweistufigen Refrigerator als Kältequelle und mit Pumpflächen an den beiden Kältestufen des Refrigerators, welche mit einer elektrischen Heizung ausgerüstet sind. Außerdem bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Betrieb einer Kryopumpe der genannten Art. Betrieb der Kryopumpe soll hier so verstanden werden, daß damit nicht nur der Pump- und Evakuierbetrieb, sondern auch der Regenerierbetrieb gemeint ist.

Kryopumpen gehören - wie z. B. auch die Ionengerätspumpen - zu einer Pumpengattung, die die aus einem Rezipienten entfernten Gase nicht unmittelbar der Atmosphäre zuführen, sondern zunächst an den Pumpflächen anlagern. Ist ihre Pumpkapazität erreicht, dann ist es erforderlich, die Pumpflächen zu regenerieren, das heißt, die auf den Pumpflächen befindlichen Gase zu entfernen. Dies kann zum Beispiel dadurch geschehen, daß der Refrigerator nach Schließen des Ventils zum Rezipienten abgeschaltet und/oder die Pumpe von vorzugsweise erwärmten Gasen durchströmt werden. Die warmen Gase haben die Aufgabe, die Pumpflächen aufzuheizen und die freiwerdenden Gase abzutransportieren. Bei einem anderen Regenerieverfahren (deutsche Patentanmeldung (P 35 12 614.0) werden die Pumpflächen mittels einer elektrischen Heizung an den Pumpflächen aufgeheizt. Mit einer an das Pumpengehäuse angeschlossenen Vorvakuumpumpe werden die freiwerdenden Gase abgepumpt.

Die Regenerierung von Kryopumpen ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Zum einen ist es nicht immer ganz einfach, festzustellen, wann die maximale Kapazität einer Kryopumpe erreicht ist. Besonders schwierig ist es, erkennen zu können, ob eine möglicherweise noch vorhandene Restkapazität für einen nachfolgenden Pumpzyklus noch ausreicht. Dieses Problem ist zum Beispiel beim Einsatz von Kryopumpen bei Aufdampf- oder Sputteranlagen vorhanden. Bei Anlagen dieser Art wird eine Charge in einen Rezipienten eingebracht, der daraufhin mit Hilfe der Kryopumpe evakuiert wird. In den Rezipienten werden danach reaktive Gase und/oder zusätzlich Inertgase eingelassen, und zwar bis zu einem Druck, bei dem die Beschichtung der Teile erfolgt. Nach Unterbrechung des Gaseinlasses werden die verbliebenen Gase entfernt, um den vorangegangenen Bedampfungsschritt zu kontrollieren. Dann wird der Rezipient von

der Kryopumpe getrennt und für den nachfolgenden Chargenwechsel belüftet. Ob die Kryopumpe nach dem letzten Evakuervorgang noch eine ausreichende Kapazität hat, ist nur schwierig feststellbar. Üblicherweise wird aus Sicherheitsgründen lange vor Erreichen der maximalen Kapazität bereits ein Regenerierschritt gestartet. Für diese Zeit muß der Betrieb der Anlage unterbrochen werden.

Weiterhin ist es schwierig zu erkennen, wann eine Regenerierphase beendet ist, das heißt, wann die Pumpflächen infolge ihrer Aufheizung völlig von den Gasen befreit sind. Üblich ist es deshalb, sicherheitshalber von einer maximalen Belegung auszugehen und dementsprechend lange zu heizen. Damit ist jedoch der Nachteil verbunden, daß die Kryopumpe relativ lange für den Evakuierbetrieb ausfällt und damit auch die Anlage, an die die Kryopumpe angeschlossen ist, häufig unnötig lange stillsteht. Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Kryopumpe der eingangs genannten Art derart mit Überwachungs- und Steuereinrichtungen auszurüsten, daß der Zeitaufwand für das Regenerieren minimiert wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer Kryopumpe der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß ein Sensor zur Kontrolle des Druckes innerhalb des Pumpengehäuses vorgesehen ist und daß eine Steuereinheit vorhanden ist, mit der in Abhängigkeit der vom Sensor gelieferten Signale der Betrieb der Pumpe überwacht und gesteuert wird. Vorzugsweise sind die die Steuereinheit bildenden Mittel derart gewählt, daß ein automatisch ablaufender Betrieb, insbesondere der Regenerierphase, möglich ist. Bei einer besonders zweckmäßigen Ausführungsform ist ein Mikroprozessor vorgesehen, der in Abhängigkeit der vom Sensor gelieferten Signale einen optimal kurzen Regeneriervorgang auslöst und steuert.

Ein wesentlicher Vorteil einer erfindungsgemäß gestalteten Kryopumpe liegt darin, daß mit Hilfe der vom Drucksensor gelieferten Signale und eines geeignet programmierten Mikroprozessors relativ genaue Anhaltspunkte zur noch vorhandenen Pumpkapazität gewonnen werden können. Wird zum Beispiel während eines Evakuervorganges diejenige Zeit gemessen, die die Kryopumpe braucht, um einen bestimmten Druck zu erreichen, dann lassen sich aus der gemessenen Zeit Rückschlüsse auf die noch vorhandene Pumpkapazität ziehen. Wird eine bestimmte Zeit überschritten, dann kann ein automatisch ablaufender Regeneriervorgang ausgelöst werden, wobei die erforderlichen Maßnahmen von der Steuereinheit bezie-

ungsweise von dem Mikroprozessor initiiert werden. Auch aus einer $\frac{dp}{dt}$ -Messung (zeitliche Änderung des Druckes) läßt sich der Zustand der Pumpe ermitteln.

Aus den Erkenntnissen über die noch vorhandene Kapazität kann weiterhin auf den Grad der Belegung der Pumpflächen mit Gasen geschlossen werden, so daß nicht unbedingt maximale Regenerierzeiten eingehalten werden müssen. Um eine optimal kurze Regenerierphase zu erreichen, ist es jedoch zweckmäßig, weitere Sensoren vorzusehen, mit denen die Befreiung einer Pumpfläche von den Gasen feststellbar ist. Zweckmäßig sind hierfür Temperatur-Sensoren, die an den Pumpflächen befestigt sind.

Wird eine Kryopumpe der erfindungsgemäßen Art in der Weise betrieben, daß anhand der von dem oder den Sensoren gelieferten Daten das Saugvermögen und damit die noch vorhandene Pumpkapazität der Kryopumpe überwacht wird und daß im Falle einer für den nächsten Pumpzyklus nicht mehr ausreichenden Pumpkapazität ein automatisch ablaufender Regeneriervorgang eingeleitet wird, dann kann diese Kryopumpe optimal, das heißt mit möglichst langen Pumpphasen oder möglichst häufigen Pumpzyklen und mit möglichst kurzen Regenerierphasen, betrieben werden. Stillstandszeiten von Anlagen, an denen Kryopumpen der erfindungsgemäßen Art angeschlossen sind, sind deshalb optimal kurz. Die Kryopumpe kann in den selbsttätig ablaufenden Betrieb einer Anlage mit einbezogen werden. Ständig anwesendes Bedienungspersonal ist nicht mehr erforderlich. Der Betrieb der Pumpe oder der damit verbundenen Anlage ist auch über Nacht möglich.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung sollen anhand eines in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert werden.

In der Figur ist eine Kryopumpe mit einem Gehäuse 1 dargestellt, welche eine Eintrittsöffnung 2 für die abzupumpenden Gase aufweist. Der zu evakuierende Rezipient 30 wird an den Flansch 3 angeschlossen, und zwar über eine Absperrereinrichtung 31, so daß die Kryopumpe für die Inbetriebnahme und für die Regeneration von dem Rezipienten 30 abgetrennt werden kann.

In das Gehäuse 1 ragt von unten ein zweistufiger Refrigerator 4 hinein. An der ersten Kältestufe 5 des Refrigerators 4 ist ein weiteres, im wesentlichen topfförmiges, Gehäuse 7 gut wärmeleitend gehalten, dessen etwa parallel zur Öffnung 2 des Gehäuses 1 liegende Öffnung 8 mit der Abschirmung dienenden, ein Baffle 9 bildenden Metallstreifen abgedeckt ist. Die Wandungen des Gehäuses 7 nehmen während des Pumpbetriebs (bei eingeschaltetem Refrigerator 4) eine Temperatur von etwa 60 bis 100 K an und dienen als Pumpflächen für Wasserdampf und Kohlendioxid

(durch Kryokondensation). Außerdem ist die Form des Topfes 7 so gewählt, daß der Topf zusammen mit dem Baffle 9 die darin angeordneten Bauteile optimal vor äußeren Wärmestrahlen abschirmt.

In das topfförmige Gehäuse 7 ragt die zweite Stufe 10 des Refrigerators 4 hinein und trägt an ihrem kalten Ende 11 die Pumpflächen 12. Diese bestehen häufig aus zwei parallel zueinander angeordneten ebenen Blechabschnitten. Zur Vergrößerung der Oberfläche beziehungsweise zur Verbesserung des Pumpens leichter Gase sind die Blechabschnitte auf ihren Innenseiten mit dem Adsorptionsmaterial 13 belegt. Zweckmäßigerweise besteht dieses aus Molekularsieb, Aktivkohle oder Zeolith. Auf den Außenseiten der Pumpflächen 11 findet die Anlagerung von Gasen (N_2 , Ar, CO, Methan oder dergleichen) durch Kryokondensation oder Kryotrapping statt. Vorzugsweise die leichten Gase (H_2 , He) gelangen zu den Innenseiten der Pumpflächen und werden dort durch Kryosorption gebunden.

Am Gehäuse 1 der dargestellten Kryopumpe sind zwei weitere Anschlußstutzen 14 und 15 vorgesehen. An dem Anschlußstutzen 14 ist über ein Ventil 16 und eine Adsorptionsfalle 17 die Vorvakuumpumpe 18, vorzugsweise eine Drehschieberpumpe mit einem Enddruck von ca. 10^{-3} mbar angeschlossen.

Der Anschlußstutzen 15 dient der Durchführung von Stromzuführungen 21 und 22, über die auf den Kältestufen 5 und 11 angeordnete, aus Heizdrähten bestehende Heizungen 23 und 24 mit Strom versorgt werden. Der Anschlußstutzen 15 kann weiterhin der Halterung eines Versorgungsgerätes 25 mit einem Regler dienen, mit dem die maximal erlaubte Temperatur der Heizungen 23 und 24 eingestellt und aufrechterhalten beziehungsweise geregelt werden kann. Dazu weist das Gehäuse des Gerätes 25 einen Blindflansch 26 mit einer Stromdurchführung auf, der am Flansch 27 des Stutzens 15 befestigt wird. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß es dem Benutzer der Kryopumpe nicht möglich ist, ohne geregelte Heizung zu arbeiten. Eine Abnahme des Gerätes von dem Gehäuse bedeutet eine Belüftung der Pumpe, so daß sie ihre Funktion nicht mehr erfüllen kann.

Zusätzlich ist schematisch eine Steuereinheit dargestellt und mit 28 bezeichnet. Sie enthält an sich bekannte programmierbare Steuermittel (zum Beispiel einen Mikroprozessor), welche in der Lage sind, in Abhängigkeit von Signalen, die von im einzelnen noch zu beschreibenden Sensoren geliefert werden, Steuersignale abzugeben, mit denen der Betrieb der Kryopumpe automatisch steuerbar ist.

Der dargestellten Kryopumpe sind weiterhin Mittel zugeordnet, die es erlauben, durch das Gehäuse 1 Gase (aufgeheizte Inertgase oder Luft) durchströmen zu lassen. Diese Mittel umfassen den Gasvorrat 32, die Heizeinrichtung 33 und das Ventil 34, mit dem die Zufuhr des Gases durch das Rohr 35 steuerbar ist. Das Rohr 35 durchsetzt die Gehäusewand der Pumpe und den Zylinder 7, so daß die einströmenden Gase unmittelbar auf die Pumpflächen auftreffen. Der Gasaustritt ist mit 36 bezeichnet und führt über das Ventil 38 entweder ins Freie oder in einen Auffangbehälter 37. Dieser ist nur erforderlich, wenn umweltschädliche Gase von den Pumpflächen zu entfernen sind. In diesem Fall ist zweckmäßigerweise auch dem Auslaß der Vakuumpumpe 18 ein Auffangbehälter 37' zugeordnet, der zum Beispiel mit dem Behälter 37 identisch sein kann.

Schließlich sind der Pumpe noch Mittel zugeordnet, die es ermöglichen, in das Gehäuse 1 eine relativ kleine, bestimmte Menge Gas einzulassen. Diese Mittel umfassen zum Beispiel zwei Ventile 39 und 40, die zwischen sich das feste Gasvolumen definieren und die zum Einlaß des Gases in entsprechender Reihenfolge betätigt werden. Das Volumen zwischen den Ventilen 39 und 40 wird aus dem Vorratsvolumen 32' gespeist.

Um die dargestellte Kryopumpe in Betrieb zu nehmen, wird zunächst die Absperreinrichtung 31 zwischen dem Gehäuse 1 der Pumpe und dem zu evakuierenden Rezipienten 30 geschlossen. Danach wird das Gehäuse 1 der Pumpe mit Hilfe der Vakuumpumpe 18 auf einen Druck von 10^{-2} bis 10^{-3} mbar evakuiert. Gleichzeitig werden die Heizungen 23 und 24 eingeschaltet, so daß sich die Pumpflächen 7 und 12 auf die gewünschten Temperaturen (70°C) erwärmen. Dieser Zustand wird so lange beibehalten, bis der Druck im Gehäuse 1 $< 10^{-2}$ mbar beträgt. Der Refrigerator 4 kann jetzt eingeschaltet werden. Danach wird zunächst die Heizung 23 der ersten Kältestufe 5 des Refrigerators 4 abgeschaltet. Dadurch kühlt die Pumpfläche 7 ab und pumpt den noch vorhandenen H_2O -Dampf. Nach diesem Schritt wird die Heizung 24 der Kältestufe 11 abgeschaltet, so daß auch die Pumpflächen 12 ihre Betriebstemperatur von ca. 12 K annehmen. Dann wird der zu evakuierende Rezipient 30 an die Kryopumpe angeschlossen, das heißt, die Absperreinrichtung 31 geöffnet. Diese Schritte können selbsttätig ablaufen, wenn der in der Steuereinheit befindliche Mikroprozessor dementsprechend programmiert ist. Da die Sensoren 41, 44 und 45 ständig Signale über den Zustand der Pumpe liefern, können die einzelnen Schritte beendet werden, sobald der gewünschte Zustand erreicht ist. Die Inbetriebnahme der Pumpe kann deshalb in optimal kurzer Zeit erfolgen.

Darüber hinaus hat diese Verfahrensweise den Vorteil, daß in der ersten Einkühl-Phase, in der Dämpfe anfallen, mit Sicherheit verhindert wird, daß diese sich auf den Adsorptionsflächen der zweiten Stufe anlagern und ihre Kapazität drastisch reduzieren. Der größte Teil der Dämpfe lagert sich deshalb zunächst nur an den Pumpflächen 7 an. Erst dann, wenn bevorzugt leichte Gase, vorzugsweise Helium, gepumpt werden sollen, erfolgt die Abkühlung der Pumpflächen 12 auf ihre Betriebstemperatur, so daß dort die volle Pumpkapazität zur Verfügung steht.

Um einen selbsttätig ablaufenden Betrieb der Kryopumpe mit Hilfe der Steuereinheit 28 zu ermöglichen, ist es erforderlich, diese mit Informationssignalen zu füttern. Dazu sind mehrere Sensoren vorgesehen. Im einzelnen handelt es sich um den Drucksensor 41, der dem Druck im Pumpengehäuse 1 entsprechende Signale über die Leitung 42 an die Steuereinheit 28 liefert. Temperatur-Sensoren 43, 44 und 45 sind an der Innenwand des Gehäuses 1 sowie an den Pumpflächen 7, 9 und 12, 13 befestigt. Sie sind über die Leitungen 46, 47 und 48 mit der Steuereinheit verbunden. Auch die Adsorptionsfalle 17 kann mit einem Temperatursensor 49 ausgerüstet sein, damit ihr Betriebszustand während des eventuellen Ausheizvorganges überwacht werden kann. Sämtliche Leitungen, über die der Steuereinheit 28 Signale zugeführt werden, sind strichpunktiert dargestellt.

In Abhängigkeit von den zugeführten Signalen initiiert die Steuereinheit die erforderlichen Maßnahmen. Von ihr werden je nach Bedarf über die Steuerleitung 51 der Refrigerator 4, über die Steuerleitung 52 das Ventil 16, über die Steuerleitung 53 das Ventil 34 sowie die gegebenenfalls vorhandene Heizeinrichtung 33, über die Steuerleitung 54 die Ventile 39 und 40, über die Steuerleitung 55 das Ventil 31, über die Steuerleitung 56 die Vorpumpe und über die Steuerleitung 57 das Ventil 38 zum Auffangbehälter 37 betätigt. Schließlich ist die Steuereinheit 28 mit dem Versorgungsgerät 25 für die Kühkopfheizungen 23 und 24 über die Steuerleitungen 58 und 59 verbunden, so daß ein separates oder ein gemeinsames Inbetriebsetzen der Heizungen möglich ist. Die Steuerleitungen sind jeweils gestrichelt dargestellt.

Die Steuereinheit 28 hat unter anderem die Aufgabe, die Regenerierung der Pumpflächen 7, 9, 12, 13 einzuleiten, wenn dies erwünscht ist oder wenn die Kapazität der Pumpflächen erreicht bzw. nahezu erreicht ist. Wenn der Start des Regeneriervorganges selbsttätig erfolgen soll, dann ist es zunächst erforderlich, daß von der Steuereinheit 28 der Zustand der Regeneriernotwendigkeit registriert wird. Eine Möglichkeit dazu besteht in der wiederkehrenden Messung der Zeit, in der die Kryopumpe nach einer Belüftung oder Druckerhöhung

im Rezipienten 30 einen bestimmten Druck erreicht, zum Beispiel einen Druck von 5×10^{-7} mbar nach 30 sec. Wird diese Zeit überschritten, dann kann - bei im übrigen angemessenen Größenverhältnissen (Größe des Rezipienten, Leistung der Pumpe) - daraus geschlossen werden, daß die Kapazität der Pumpflächen erreicht ist. Eine andere Möglichkeit besteht darin, während wiederkehrender Evakuervorgänge Druck- und Zeitmessungen in Relation zu setzen und anhand von vom Mikroprozessor errechenbaren $\frac{dP}{dt}$ -Werten die noch vorhandene Kapazität der Pumpe festzustellen. Besonders zweckmäßig ist es, diese Möglichkeiten dann anzuwenden, wenn der Betrieb einer Anlage ohnehin wiederkehrende Evakuervorgänge erfordert, die dann gleichzeitig der Zeit- oder der $\frac{dP}{dt}$ -Messung dienen können.

Bei im wesentlichen kontinuierlich an einen Rezipienten angeschlossenen Kryopumpen kann die Belegung der Pumpflächen der zweiten Stufe durch ständige Registrierung der Temperatur dieser Pumpflächen festgestellt werden. Erreicht zum Beispiel die Pumpfläche 12 der zweiten Stufe, die bei frisch regenerierter Pumpe eine Temperatur von etwa 12 K annimmt, 18 K, dann wird der Regeneriervorgang gestartet.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, in zeitlichen Abständen das Ventil 31 zwischen Rezipient und Pumpe zu schließen, in das Pumpengehäuse mittels der Ventile 39, 40 eine bekannte relativ kleine Gasmenge einzulassen und wieder die beschriebenen Zeit- oder $\frac{dP}{dt}$ -Messungen vorzunehmen.

Ist vom Mikroprozessor in der Steuereinheit 28 die Regeneriervorgang festgestellt worden, dann wird automatisch der Regeneriervorgang eingeleitet. Dies geschieht nach den folgenden Schritten:

1. Die Absperreinrichtung 31 zum Rezipienten 30 wird geschlossen;
2. der Refrigerator 4 wird abgeschaltet;
3. die Heizungen der ersten und zweiten werden eingeschaltet;
4. das Vorvakuumventil 16 wird geöffnet, wenn vom Sensor 41 ein Druck gemeldet wird, der z. B. etwas größer als 1 mbar ist;
5. die Heizungen werden so lange bei 70° C betrieben, bis sich ein Druck $< 5 \times 10^{-2}$ mbar in der Pumpe eingestellt hat;
6. das Vorvakuumventil 16 wird geschlossen;
7. die Heizung der ersten Stufe wird ausgeschaltet;
8. der Refrigerator wird eingeschaltet, so daß sich die erste Stufe auf eine Temperatur < 160 K abkühlt;
9. die Heizung 24 der zweiten Stufe 10 wird abgeschaltet, so daß sich die zweite Stufe auf eine Temperatur < 20 K abkühlt;

10. die Absperreinrichtung 31 zum Rezipienten 30 wird geöffnet.

Die betroffenen Sensoren 41, 44 und 45 werden dabei ständig abgefragt, so daß unmittelbar nach Erreichen der genannten Druck- und Temperaturwerte der nächste Schritt eingeleitet werden kann. Die Regenerierzeiten sind dadurch optimal kurz. Dies gilt auch für den Fall, daß eine Pumpe, die noch nicht ihre maximale Kapazität erreicht hat, vorzeitig regeneriert werden soll. Der Regeneriervorgang ist dann von Hand an der Steuereinheit zu starten.

Eine Konditionierung beziehungsweise Regenerierung der Kryopumpe nach He- und H₂-Pumpen erfolgt nach den Schritten:

1. Die Absperreinrichtung 31 wird geschlossen;
2. die Heizung 24 der zweiten Stufe 10 wird bei laufendem Refrigerator eingeschaltet, und es wird so lange gewartet, bis sich bei einer Heiztemperatur von 70 K, überwacht vom Sensor 45, ein Druck von etwa 1 mbar (Sensor 41) im Gehäuse der Pumpe eingestellt hat;
3. Das Vorvakuumventil 16 wird geöffnet und die Heizung 24 der zweiten Stufe abgeschaltet, bis ein Druck von etwa 1×10^{-2} mbar erreicht ist;
4. das Vorvakuumventil 16 wird geschlossen;
5. die Absperreinrichtung 31 zum Rezipienten 30 wird geöffnet, nachdem die Temperatur an der zweiten Kältestufe 20 K unterschritten hat.

Auch bei diesem partiellen Regenerieren liefern die betroffenen Sensoren ständig Signale über den jeweiligen Zustand an die Steuereinheit 28, so daß nach optimal kurzer Zeit die He und H₂ adsorbierenden Flächen wieder regeneriert zur Verfügung stehen.

Bei diesem Regeneriervorgang wird die bei zweistufigen Refrigeratoren bestehende Möglichkeit ausgenutzt, die Pumpflächen der ersten Stufe auf ihrer Betriebstemperatur zu halten, während die Pumpflächen der zweiten Stufe aufgeheizt werden. Der Grund dafür liegt darin, daß die Wärmeleitfähigkeit zwischen der Kältestufe 5 der ersten Stufe und der Kältestufe 11 der zweiten Stufe des Refrigerators sehr klein ist, so daß eine Beheizung der zweiten Stufe die Temperatur im Bereich der ersten Stufe nur unwesentlich beeinflusst.

Durch die Wahl einer höheren Heiztemperatur ($T > 120$ K) an der zweiten Stufe können auch die durch Kryokondensation oder Kryotrapping auf den Pumpflächen 12 gebundenen Gase unabhängig von den auf den Pumpflächen 7 der ersten Stufe entfernt werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Einsatzes der programmierbaren Steuereinheit 28 liegt darin, daß der Regeneriervorgang dadurch, daß der Zustand im Pumpengehäuse von den Sensoren

ständig überwacht wird, derart durchführbar ist, daß eine Verflüssigung der kondensierten Gase während der Regenerierphase mit Sicherheit vermieden wird. Dies kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, daß der Druck in der Pumpe stets etwas unterhalb des Sublimationspunktes gehalten wird. Durch eine Steuerung der Heizleistung in Abhängigkeit vom Druck oder durch dosierten Einlaß von Regeneriergasen ist die Einhaltung dieser Bedingung möglich. Das Ventil 34 muß bei dosiertem Regeneriergaseinlaß als Dosierventil ausgebildet sein.

Besteht die Gefahr, daß sich in der Pumpe explosive Gasgemische ansammeln, dann kann mit Hilfe des Mikroprozessors das Entstehen einer tatsächlichen Explosionsgefahr vermieden werden. Der Druck in der Pumpe kann zum Beispiel auf einem Wert gehalten werden, bei dem das Gasgemisch nicht explosionsfähig ist. Ein H_2/O_2 -Gemisch ist beispielsweise bei einem Druck unterhalb 14 mbar nicht explosionsfähig. Wird die Regeneration die Kryopumpe derart durchgeführt, daß ab etwa 10 mbar alle sich in der Pumpe befindenden stromführenden Teile - das sind zum Beispiel die Heizungen 23 und 24, Ionisations- oder Wärmeleitungsvakuummeter - abgeschaltet werden, dann ist ebenfalls jede Explosionsgefahr vermieden.

Explosive Gasgemische können z. B. durch Einlassen von Inertgas (Ar , N_2) aus der Flasche 32 über die Heizvorrichtung 33, das Ventil 34 und das Rohr 7 zunächst verdünnt und dann aus der Pumpe entfernt werden. Das Gasgemisch wird entweder mit leichtem Überdruck über das Ventil 38 in den Auffangbehälter 37 gedrückt oder mit Hilfe der Vorpumpe 18 über das Ventil 16 in den Behälter 37 befördert. Die Temperatursensoren 44, 45 und 43 zeigen an, wann der Gaseinlaß unterbrochen werden kann. Nach Schließen des Ventils 34 wird Ventil 16 geöffnet, um die Kryopumpe auf ihren Startdruck zu evakuieren ($<5 \times 10^{-2}$ mbar).

Eine typische Vorgehensweise ohne Hilfe der Vorpumpe 18 ist die folgende:

1. Schließen von Ventil 31,
2. Abschalten des Refrigerators 4,
3. Gaseinlaß über Ventil 34 (offen) aus dem Gasvorrat 32,
4. bei $p \approx 1050$ mbar Öffnen des Ventils 38 und Einspeisung des Gasgemisches in 37,
5. Unterbrechung des Gaseinlasses, wenn Sensor 45 eine ausreichend hohe Temperatur anzeigt;
($T \approx 70$ K bei H_2 -Regenerierung;
 $T \approx 150$ K bei CH_4 -Regenerierung)
6. Evakuieren der Pumpe mit der Vorpumpe auf $p < 5 \times 10^{-2}$ mbar.

Sollte nur H_2 oder CH_4 entfernt werden, dann kann die Pumpe wieder in Betrieb genommen werden, und zwar durch die folgenden Schritte:

7'. Starten des Refrigerators 4 (bei geschlossenem Ventil 16),

8'. Öffnen des Ventils 31 bei $T \approx 20$ K (Sensor 45) an der zweiten Kältestufe.

Sollte die Pumpe vollständig regeneriert werden, dann schließen sich die folgenden Schritte an:

7". Regenerierheizungen ein,

8". Aufheizen der Pumpenteile bis $T \approx 300$ K (Sensoren 43, 44, 45). Bei $p \approx 8 \times 10^{-2}$ mbar sollte das Ventil 16 offen, bei $p \approx 5 \times 10^{-3}$ mbar geschlossen sein.

9". Heizungen aus und Refrigerator starten.

Anstelle des Schrittes 9" können auch die auf Seiten 10 und 11 beschriebenen Schritte 7 bis 10 durchgeführt werden.

Die beschriebene Vorgehensweise ist bei der Entfernung explosiver oder toxischer Gase zweckmäßig, die zum Beispiel durch das Regeneriergas verdünnt im Behälter 37 aufgefangen werden. Die korrosiven Gase gelangen nicht in die Vorpumpe.

Ist diese Vorsichtsmaßnahme nicht erforderlich, kann die Vorpumpe während der Regeneration mit eingesetzt werden und zum Beispiel folgendermaßen ablaufen:

1. Schließen von Ventil 31,
2. Abschalten des Refrigerators 4,
3. Gaseinlaß über Ventil 34 (offen) aus dem Gasvorrat 32,
4. Ventil 16 öffnen bei etwa 8×10^{-2} mbar.

Für den Fall, daß nur H_2 oder CH_4 entfernt werden sollen:

5'. Unterbrechung des Gaseinlasses, wenn Sensor 45 eine ausreichend hohe Temperatur meldet ($T \approx 70$ K für die H_2 -Regenerierung; $T \approx 150$ K für die CH_4 -Regenerierung),

6'. Schließen des Ventils 16,

7'. Refrigerator ein,

8'. Öffnen des Ventils 31 bei $T \approx 20$ K.

Für den Fall, daß die Pumpe vollständig regeneriert werden soll:

5". Regenerierheizungen ein.

Daran schließen sich zweckmäßigerweise die auf Seiten 10 und 11 beschriebenen Schritte 5 bis 10 an.

Ansprüche

1. Kryopumpe mit einem Gehäuse, mit einer Gaseintrittsöffnung, an welche über ein Ventil ein Rezipient anschließbar ist, mit einer an das Gehäuse über ein Ventil angeschlossenen Vakuumpumpe, mit einem im Gehäuse befindlichen zweistufigen Refrigerator als Kältequelle und

mit Pumpflächen an den beiden Kühlköpfen des Refrigerators, welche mit einer elektrischen Heizung ausgerüstet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Sensor (41) zur Kontrolle des Druckes innerhalb des Pumpengehäuses (1) vorgesehen ist und daß eine Steuereinheit (28) vorhanden ist, mit der in Abhängigkeit der vom Sensor gelieferten Signale der Betrieb der Kryopumpe überwacht und gesteuert wird.

2. Kryopumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die die Steuereinheit (28) bildenden Mittel derart gewählt sind, daß ein automatisch ablaufender Betrieb (Pump- und Regenerierbetrieb) möglich ist.

3. Kryopumpe nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuereinheit (28) über Steuerleitungen (58, 59) mit dem Versorgungsgerät (25) für die jeweilige Heizung (23 bzw. 24) der Pumpflächen (7; 12, 13) der beiden Stufen (6, 10) verbunden ist.

4. Kryopumpe nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß weitere Sensoren (43, 44, 45) zur Überwachung der Temperatur der Pumpflächen der ersten und/oder der zweiten Stufe des Refrigerators vorgesehen sind.

5. Kryopumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mit Mitteln (32, 33, 34) zum Einlaß von Regeneriergasen ausgerüstet ist und daß die Steuereinheit (28) über eine Steuerleitung (53) mit einem Ventil (34) für den Gaseinlaß verbunden ist.

6. Kryopumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie mit Mitteln (32', 39, 40) zum Einlaß einer geringen Gasmenge mit bestimmtem Volumen ausgerüstet ist, welche mindestens zwei mit der Steuereinheit (28) verbundene Ventile (39, 40) umfassen.

7. Kryopumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vakuumpumpe über ein Ventil (16) an das Gehäuse (1) der Kryopumpe angeschlossen ist und daß das Ventil (16) über eine Steuerleitung (52) mit der Steuereinheit (28) verbunden ist.

8. Kryopumpe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem Ventil (16) und der Vakuumpumpe (18) eine Adsorptionsfalle angeordnet ist, die ebenfalls mit einem Sensor (49) ausgerüstet ist.

9. Kryopumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Auffangbehälter (37, 37') für die die Kryopumpe verlassenden Regeneriergase vorhanden ist.

10. Kryopumpe nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Auffangbehälter (37') an den Auslaß der Vakuumpumpe (16) und/oder über ein Ventil (38) an das Pumpengehäuse selbst

angeschlossen ist und daß das Ventil (38) über eine Steuerleitung (57) mit der Steuereinheit (28) verbunden ist.

11. Verfahren zum Betrieb einer Kryopumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß anhand der von einem oder mehreren Sensoren gelieferten Daten die noch vorhandene Pumpkapazität der Kryopumpe überwacht wird und daß im Falle einer für den nächsten Pumpzyklus nicht mehr ausreichenden Pumpkapazität ein automatisch ablaufender, von der Steuereinheit (28) gesteuerter Regeneriervorgang eingeleitet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß selbsttätig ablaufende Inbetriebnahme- und/oder Regeneriervorgänge mit Hilfe der Steuereinheit (28) aufgrund der von den Sensoren gelieferten Signale durchgeführt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Feststellung der noch vorhandenen Pumpkapazität wiederholt Saugvermögensmessungen durchgeführt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Feststellung der noch vorhandenen Pumpkapazität wiederholt die Zeit gemessen wird, die die Kryopumpe benötigt, um einen bestimmten Druckwert zu erreichen, und daß, falls dieser Zeitwert einen festgelegten Grenzwert überschreitet, der Regeneriervorgang gestartet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Evakuierungsvorgängen $\frac{dP}{dt}$ -Messungen zur Feststellung des Saugvermögens der Kryopumpe durchgeführt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Feststellung der Pumpkapazität in die zur Vorvakuumpumpe (18) und zum Rezipienten (30) geschlossene Kryopumpe eine bestimmte Gasmenge eingeleitet wird und danach die Zeit- oder $\frac{dP}{dt}$ -Messungen durchgeführt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Feststellung der Pumpkapazität die Temperatur der Pumpflächen der zweiten Stufe überwacht wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein partieller Regeneriervorgang durchgeführt wird, indem die Pumpflächen (13) und/oder (12) bei laufendem Refrigerator (4) auf eine Temperatur von etwa 70 K (zur Entfernung von He und H₂) oder etwa 150 K (zur Entfernung von N₂, Ar usw.) aufgeheizt werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Druck in der Kryopumpe während des Ablaufs der Regeneriervorgänge unterhalb des Sublimationspunktes von in der Pumpe vorhandenen kondensierbaren Gasen gehalten wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Druck p in der Kryopumpe während des Ablaufs der Regeneriervorgänge beim Vorhandensein explosionsfähiger Gase oder Gasgemische unterhalb desjenigen Druckes gehalten wird, bei dem eine Explosionsgefahr beginnt.

5

21. Verfahren nach den Ansprüchen 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuerung des Druckes in der Kryopumpe während der Regeneriervorgänge entweder mit Hilfe einer Steuerung der Heizleistung oder mit Hilfe eines dosierten Einlasses von Regeneriergasen durchgeführt wird.

10

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Druck p in der Kryopumpe während des Ablaufs der Regeneriervorgänge beim Vorhandensein explosionsfähiger Gase oder Gasgemische überwacht wird und daß vor dem Erreichen desjenigen Druckes, bei dem eine Explosionsgefahr beginnt, alle sich in der Pumpe befindenden stromführenden Teile abgeschaltet werden.

15

20

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Regenerierung der Kryopumpe durch Beheizung der Pumpflächen, durch Regeneriergaseinlaß oder durch eine Kombination dieser beiden Schritte durchgeführt wird.

25

30

35

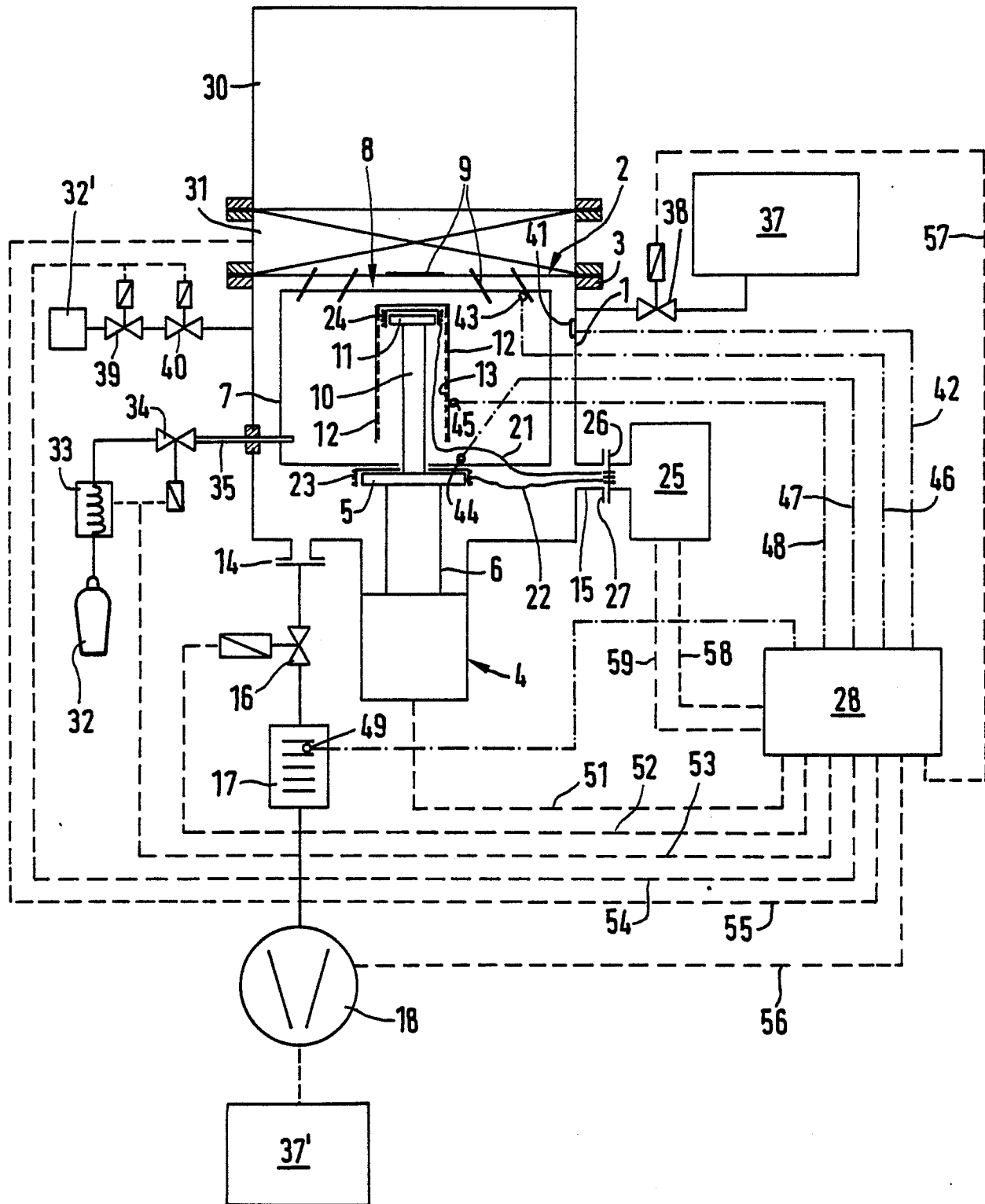
40

45

50

55

8





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE																	
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)														
X	WO-A-8 400 404 (HELIX TECHNOLOGY CORP.) * Seite 4, Zeile 23 - Seite 11, Zeile 21; Figuren 1,2 *	1-4,7	F 04 B 37/08														
A		8,11-15,17															
A	--- PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, Band 6, Nr. 249 (M-177)[1127], 8. Dezember 1982; & JP-A-57 146 072 (NIPPON DENKI K.K.) 09-09-1982	1,2,4,5,7,11-15															
A	--- SOLID STATE TECHNOLOGY, Band 25, Nr. 1, Januar 1982, Seiten 104-110, Port Washington, New York, US; J.F. PETERSON et al.: "Vacuum pump technology; a short course on theory and operations" * Seiten 107,108, Kapitel "Regeneration" *	1-23															
A	--- SOLID STATE TECHNOLOGY, Band 25, Nr. 4, April 1982, Seiten 235-239, Port Washington, New York, US; J. EHMANN: "Regeneration of high-vacuum cryopumps" * Seiten 238-239, Kapitel "How to regenerate" * -----	1															
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.																	
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 24-02-1987	Prüfer VON ARX H.P.														
<table border="0"><tr><td>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</td><td>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</td></tr><tr><td>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet</td><td>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</td><td>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>A : technologischer Hintergrund</td><td></td></tr><tr><td>O : nichtschriftliche Offenbarung</td><td></td></tr><tr><td>P : Zwischenliteratur</td><td>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</td></tr><tr><td>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</td><td></td></tr></table>				KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	A : technologischer Hintergrund		O : nichtschriftliche Offenbarung		P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist																
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument																
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument																
A : technologischer Hintergrund																	
O : nichtschriftliche Offenbarung																	
P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument																
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze																	