

(19)



(11)

EP 4 246 070 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.09.2023 Patentblatt 2023/38

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25J 1/00^(2006.01) F25J 1/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22020419.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 1/0015; F25J 1/0017; F25J 1/002;
F25J 1/0035; F25J 1/0037; F25J 1/004;
F25J 1/0045; F25J 1/005; F25J 1/0052;
F25J 1/0072; F25J 1/0202; F25J 1/0204;
F25J 1/0236; F25J 1/0247; F25J 1/0248; (Forts.)**

(22) Anmeldetag: **31.08.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:

- **Haag, Wolfgang**
82049 Pullach (DE)
- **Hecht, Thomas**
82049 Pullach (DE)

(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**

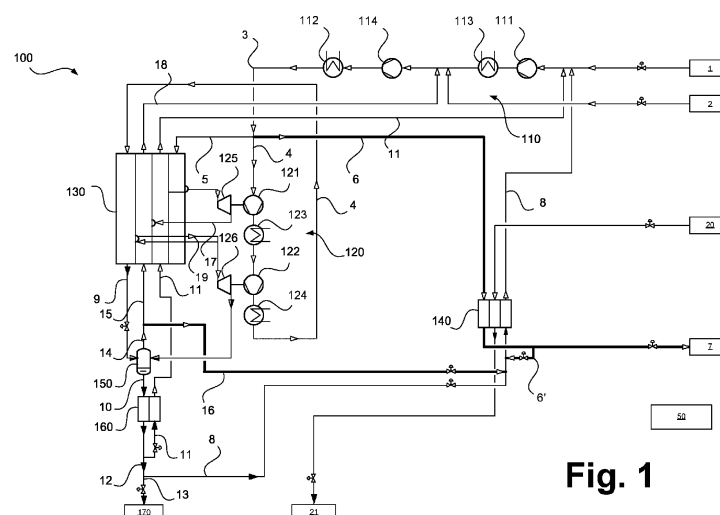
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(54) GASVERFLÜSSIGUNGSVERFAHREN UND GASVERFLÜSSIGUNGSANLAGE

(57) Es wird ein Verfahren zur Gasverflüssigung vorgeschlagen, bei dem warmer Druckstickstoff (3) auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar und auf einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C bereitgestellt wird, eine erste Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) druckerhöht und danach zu einem Anteil in einem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) unter Erhalt von Flüssigstickstoff (9) kondensiert wird, gasförmiger Sauerstoff und/oder gasförmiges Argon (20) während eines oder mehrerer erster Betriebszeiträume in einem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) unter Erhalt von Flüssig-

sigsauerstoff und/oder Flüssigargon (21) kondensiert wird, eine Teilmenge des Flüssigstickstoffs (9) während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) verdampft wird, und eine zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) während eines oder mehrerer zweiter Betriebszeiträume in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) abgekühlt wird. Eine Anlage (100) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

**Fig. 1****EP 4 246 070 A1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
F25J 1/0265; F25J 1/0274; F25J 1/0288

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Gasverflüssigungsverfahren und eine entsprechende Anlage.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Ein Verfahren zur Verflüssigung von Stickstoff ist beispielsweise im Artikel "Nitrogen" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlineveröffentlichung 15. Juni 2000, doi: 10.1002/14356007.a17_457 in Figur 8 veranschaulicht und ferner auf Seite 10 im Abschnitt "Nitrogen Liquefaction" erläutert. Hierbei können insbesondere Anordnungen mit einem Gegenstromwärmetauscher und zwei Turbinenboosteranordnungen zum Einsatz kommen. Ein entsprechendes Verfahren und eine entsprechende Anlage sind auch in Figur 5 der EP 3 594 596 A1 veranschaulicht und dort ausführlich erläutert.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Verbesserung des Betriebs entsprechender Anlagen und die Erweiterung auf weitere Verflüssigungsprodukte.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Diese Aufgabe wird durch ein Gasverflüssigungsverfahren und eine entsprechende Anlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0005] Generell sollen hier unter Begriffen wie "Stickstoff", "Sauerstoff" oder "Argon" die entsprechenden Reinstoffe, aber auch Gemische mit einem Gehalt von beispielsweise mehr als 90%, 95% oder 99% der angegebenen Komponente verstanden werden.

[0006] In den eingangs erläuterten Verfahren zur Verflüssigung von Stickstoff kann auch eine Verflüssigung von Sauerstoff und/oder Argon integriert werden. Zur Verflüssigung des Sauerstoffs und/oder Argons kann dieser durch denselben Gegenstromwärmetauscher geführt werden, der auch zur Verflüssigung des Stickstoffs eingesetzt wird.

[0007] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend mit einem Schwerpunkt auf der Verflüssigung von Sauerstoff beschrieben, kann jedoch in gleicher Weise auch für die Verflüssigung von Argon eingesetzt werden. Argon verhält sich dabei - in Bezug auf die Aspekte, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung relevant sind - im Wesentlichen vergleichbar oder identisch wie Sauerstoff.

[0008] Bei Verflüssigungsverfahren der erläuterten Art besteht grundsätzlich der Wunsch, diese je nach Bedarf an entsprechenden Verflüssigungsprodukten im Wechselbetrieb durchzuführen, d.h. vergleichsweise häufig herunter- und wieder hochzufahren. Ist eine Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung in den Gegenstromwärmetauscher für die Verflüssigung des Stickstoffs integriert, kann Sauerstoff und/oder Argon jederzeit zu- und abgeschaltet werden, ohne den Gegenstromwärmetauscher

signifikanten Thermospannungen auszusetzen, die seine Lebensdauer beeinträchtigen würde.

[0009] In bestimmten Fällen kann es jedoch auch wünschenswert sein, einen weiteren Gegenstromwärmetauscher zur Verflüssigung des Sauerstoffs und/oder Argons zu verwenden. Dies kann beispielsweise bei der Nachrüstung einer ansonsten im Wesentlichen unveränderten Anordnung vorteilhaft sein. Nachfolgend wird in entsprechenden Konstellationen der für die Verflüssigung des Stickstoffs verwendete Gegenstromwärmetauscher als "erster" und der weitere Wärmetauscher als "zweiter" Wärmetauscher bezeichnet.

[0010] Wenn gasförmiger Sauerstoff und/oder gasförmiges Argon in einem derartigen zweiten Gegenstromwärmetauscher verflüssigt wird, können jedoch beim Wechselbetrieb Probleme auftreten. Insbesondere beim Beginn der Zuschaltung der Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung steht kalter, flüssiger Stickstoff zur Verfügung, ohne dass der zweite Gegenstromwärmetauscher bereits abgekühlt ist. Hierbei können Temperaturdifferenzen von ca. 200 K auftreten. Ferner kann beim Umschalten der Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung, bei der auch die Durchströmung des weiteren Gegenstromwärmetauschers unterbrochen wird, flüssiger Stickstoff in einem unteren Bereich des zweiten Gegenstromwärmetauschers stehenbleiben, der über die Zeit dessen oberes Ende über Wärmelängsleitung kaltzieht. Hierdurch kann es beim erneuten Start der Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung zu hohen Temperaturdifferenzen am oberen Ende kommen.

[0011] Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung lösen diese Probleme durch die Bereitstellung einer zusätzlichen Passage in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher, durch die gasförmiger Stickstoff bei hohem Druck von beispielsweise ca. 10 bis 30 oder 10 bis 40 bar Absolutdruck und beispielsweise Umgebungstemperatur geführt wird (hier auch als "warmer Druckstickstoff" bezeichnet). Dieser warme Druckstickstoff wird in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher abgekühlt.

[0012] Wird entsprechend abgekühlter Druckstickstoff danach über ein Entspannungsventil entspannt, kann bei der Entspannung erhaltener kalter, gasförmiger Stickstoff (hier auch als "kalter Niederdruckstickstoff" bezeichnet) zur Voreinstellung eines Temperaturprofils in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher diesem vor dem Beginn der Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung am kalten Ende wieder zugeführt werden. Der warme Druckstickstoff, der sich bei der erwähnten Entspannung durch den Joule-Thomson-Effekt abkühlt, bzw. der sich bildende kalte Niederdruckstickstoff wird also hier zur Voreinstellung eines Temperaturprofils in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher verwendet, bevor die eigentliche Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung in Betrieb genommen wird. Ein entsprechender Betriebszeitraum wird hier auch als "Abkühlzeitraum" bezeichnet, ein entsprechender Betriebsmodus auch als "Abkühlbetrieb" usw.

[0013] Andererseits kann auch nach Abstellen der Einspeisung von zu verflüssigendem Sauerstoff und/oder

Argon und von Flüssigstickstoff in den zweiten Gegenstromwärmetauscher der warme Hochdruckstickstoff weiterhin durch den zweiten Gegenstromwärmetauscher geführt werden. Dieser wird nun aber nicht mehr wie zuvor (als kalter Niederdruckstickstoff) dem zweiten Gegenstromwärmetauscher wieder zugeführt, sondern beispielsweise an die Umgebung abgeblasen. Auf diese Weise kann der zweite Gegenstromwärmetauscher so weit ausgeheizt werden, dass kein flüssiger Stickstoff mehr in diesem steht. Ein entsprechender Betriebszeitraum wird hier auch als "Anwärmzeitraum" bezeichnet, ein entsprechender Betriebsmodus als "Anwämbetrieb" usw.

[0014] Bleibt der zweite Gegenstromwärmetauscher längere Zeit außer Betrieb, gleicht sich die Temperatur im diesem aus. Dadurch würden am warmen und kalten Ende bei der Wiederinbetriebnahme zu hohe Temperaturdifferenzen entstehen. Deshalb kann von Zeit zu Zeit warmer Hochdruckstickstoff in der erläuterten Weise in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher abgekühlt werden, wobei ein Teilstrom hiervon, nach einer entsprechenden Entspannung, als kalter Niederdruckstickstoff dem zweiten Gegenstromwärmetauscher wieder zugeführt wird. Der Rest oder ein anderer Teilstrom kann wie im Anwämbetrieb abgeblasen werden. Mittels einer derartigen Vorgehensweise kann eine Einstellung der Temperatur am kalten Ende des zweiten Gegenstromwärmetauschers erfolgen. Ein entsprechender Betriebszeitraum wird hier auch als "Zwischenkühlzeitraum" bezeichnet, ein entsprechender Betriebsmodus auch als "Zwischentemperierbetrieb" usw.

[0015] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Verfahren zur Gasverflüssigung vor, bei dem warmer Druckstickstoff auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar oder 10 bis 40 bar Absolutdruck und auf einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C bereitgestellt wird, wie bereits oben erläutert. Wie auch in nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltung möglich und bereits unter Bezugnahme auf den Stand der Technik erläutert, wird dabei eine Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (hier als "erste Teilmenge" bezeichnet) druckerhöht, insbesondere in einer seriellen Anordnung aus zwei turbinengetriebenen Boostern, und danach zu einem Anteil in einem ersten Gegenstromwärmetauscher unter Erhalt von Flüssigstickstoff kondensiert. Dieser Flüssigstickstoff kann in einen Behälter entspannt werden, wobei eine sich dabei bildende Gasphase in dem ersten Gegenstromwärmetauscher erwärmt werden kann, und zwar insbesondere zusammen mit weiterem Gas, das in der seriellen Anordnung aus den zwei turbinengetriebenen Boostern ebenfalls druckerhöht, dann aber in dem ersten Gegenstromwärmetauscher ohne Verflüssigung abgekühlt und turbinenentspannt wird. Die Flüssigphase aus dem Behälter kann unterkühlt und teilweise als Flüssigstickstoffprodukt bereitgestellt werden. Sie kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere wie unten erläutert genutzt werden.

[0016] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren,

bei dem gasförmiger Sauerstoff und/oder gasförmiges Argon während eines oder mehrerer erster Betriebszeiträume in einem zweiten Gegenstromwärmetauscher unter Erhalt von Flüssigsauerstoff und/oder Flüssigargon kondensiert wird, also eine Anordnung mit einem separaten Gegenstromwärmetauscher zur Sauerstoff- und/oder Argonverflüssigung wie bereits erläutert. Eine derartige Kondensation erfolgt insbesondere nicht außerhalb des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume bzw. außerhalb des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume in einer Menge, die deutlich geringer ist als während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume, d.h. bei weniger als 10% hiervon liegt. Ein "separater" Gegenstromwärmetauscher zeichnet sich dabei dadurch aus, dass die Wärmetauscherpässagen des ersten und zweiten Gegenstromwärmetauschers bis auf entsprechende Leitungen oder Tragmittel nicht miteinander verbunden sind bzw. insbesondere kein Wärmeaustausch zwischen Passagen des ersten und zweiten Gegenstromwärmetauschers über gemeinsame Wärmeaustauschflächen (z.B. Trennplatten eines Plattenwärmetauschers) vorgesehen ist.

[0017] Die für die Verflüssigung des Flüssigstickstoffs erforderliche Kälte wird während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume dadurch bereitgestellt, dass ein Teil des Flüssigstickstoffs (d.h. insbesondere des zuvor erwähnten unterkühlten Flüssigstickstoffs) unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem ersten Gegenstromwärmetauscher verdampft wird. Auch dies erfolgt insbesondere nicht oder in einer deutlich geringeren Menge außerhalb des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume, insbesondere in einer Menge von weniger als 10%.

[0018] Wie bereits zuvor erwähnt, erfolgen die unterschiedlichen Temperiermodi, d.h. die Vorkühlung vor dem Verflüssigungsbetrieb, die Erwärmung nach dem Verflüssigungsbetrieb, sowie die Zwischentemperierung stets unter Verwendung einer zweiten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs, die während eines oder mehrerer zweiter Betriebszeiträume (die insbesondere außerhalb des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume liegen) in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher abgekühlt wird. Unterschiedliche Ausgestaltungen, die bereits zuvor angesprochen wurden, umfassen dabei eine Entspannung (und entsprechende weitere Abkühlung) sowie teilweise oder vollständige Rückspeisung in den zweiten Gegenstromwärmetauscher oder aber eine teilweise oder vollständige Ausführung aus dem Verfahren, beispielsweise ein Abblasen an die Atmosphäre.

[0019] Mit anderen Worten kann bzw. können der eine oder die mehreren zweiten Betriebszeiträume einen oder mehrere Temperierzeiträume umfassen, während dessen oder derer die zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher durch Entspannen abgekühlt und dem zweiten Gegenstromwärmetauscher teilweise oder vollständig wieder zugeführt wird. Auf diese Weise kann

eine Einstellung eines Temperaturprofils bzw. ein Kalthalten des kalten Endes des zweiten Gegenstromwärmetauschers erfolgen, wie bereits zuvor erläutert.

[0020] Der eine oder die mehreren Temperierzeiträume können demnach einen Abkühlzeitraum umfassen, dem sich der oder einer der ersten Betriebszeiträume anschließt und während dessen die zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher durch Entspannen abgekühlt und dem zweiten Gegenstromwärmetauscher vollständig (oder zumindest zu einem überwiegenden Teil von mehr als 80%, 90% oder dergleichen) wieder zugeführt wird. Ein entsprechend abgekühlter zweiter Gegenstromwärmetauscher steht auf diese Weise wieder für einen anschließenden Verflüssigungsbetrieb bereit.

[0021] Der eine oder die mehreren Temperierzeiträume können aber auch einen Zwischenkühlzeitraum umfassen, der zwischen zwei der ersten Betriebszeiträume liegt und während dessen ein erster Anteil der zweiten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher durch Entspannen abgekühlt und dem zweiten Gegenstromwärmetauscher wieder zugeführt wird, wobei ein zweiter Anteil der zweiten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher dem zweiten Gegenstromwärmetauscher nicht wieder zugeführt wird. Diese Ausgestaltung betrifft insbesondere das Kalthalten des kalten Endes des zweiten Gegenstromwärmetauschers.

[0022] Der eine oder die mehreren Temperierzeiträume können auch einen Anwärmzeitraum umfassen, der sich dem oder einem der ersten Betriebszeiträume anschließt, und während dessen die zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher dem zweiten Gegenstromwärmetauscher nicht oder in einer Menge von weniger als 10% wieder zugeführt wird. Auf diese Weise kann das erwähnte Ausheizen des zweiten Gegenstromwärmetauschers erreicht und dadurch die Ansammlung von flüssigem Stickstoff in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher vermieden werden.

[0023] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung kann umfassen, dass eine Teilmenge des druckerhöhten warmen Druckstickstoffs und/oder des Flüssigstickstoffs auf einem Druckniveau unterhalb des Druckniveaus des warmen Druckstickstoffs und auf einem Temperaturniveau unterhalb des Temperaturniveaus des warmen Druckstickstoffs gasförmig bereitgestellt und während eines oder mehrerer dritter Betriebszeiträume vor dem einen oder den mehreren ersten Betriebszeiträumen und vor dem einen oder den mehreren zweiten Betriebszeiträumen durch den zweiten Gegenstromwärmetauscher geführt wird. Hierdurch kann insbesondere eine Abkühlung beim anfänglichen Abkühlen erzielt werden. Der hierfür verwendete Stickstoff kann insbesondere Stickstoff sein, der in der seriellen Boosteranordnung druckerhöht, danach ohne Verflüssigung in dem ersten Gegen-

stromwärmetauscher abgekühlt, und dann in Turbinen, die mit den Boostern der seriellen Boosteranordnung gekoppelt sind, entspannt wird. Ferner kann es sich um Stickstoff handeln, der beim Entspannen des verflüssigten Stickstoffs gasförmig wird.

[0024] In einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann also ein nicht in dem ersten Gegenstromwärmetauscher unter Erhalt des Flüssigstickstoffs kondensierter Anteil der druckerhöhten ersten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs zumindest zu einem Teil in dem ersten Gegenstromwärmetauscher abgekühlt, turbinenentspannt und in dem ersten Gegenstromwärmetauscher erwärmt werden, wodurch Kälte für die Verflüssigung des Stickstoffs in dem ersten Gegenstromwärmetauscher bereitgestellt werden kann.

[0025] Wie ebenfalls bereits erwähnt, kann zumindest ein Teil des Flüssigstickstoffs unter Erhalt von unterkühltem Flüssigstickstoff unterkühlt werden, wobei die Teilmenge des Flüssigstickstoffs, die während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem ersten Gegenstromwärmetauscher verdampft wird, eine Teilmenge des unterkühlten Flüssigstickstoffs sein kann.

[0026] Eine Anlage zur Gasverflüssigung ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Diese weist eine Verdichteranordnung auf, die dafür eingerichtet ist, warmen Druckstickstoff auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar oder 10 bis 40 bar Absolutdruck und auf einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C bereitzustellen, eine Boosteranordnung und einem ersten Gegenstromwärmetauscher, die dafür eingerichtet sind, eine erste Teilmenge des warmen Druckstickstoffs druckerhöhen und danach zu einem Anteil unter Erhalt von Flüssigstickstoff zu kondensieren, einen zweiten Gegenstromwärmetauscher und Mittel, die dafür eingerichtet sind, gasförmigen Sauerstoff und/oder gasförmiges Argon während eines oder mehrerer erster Betriebszeiträume in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher unter Erhalt von Flüssigsauerstoff und/oder Flüssigargon zu kondensieren, eine Teilmenge des Flüssigstickstoffs während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher zu verdampfen, und eine zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs während eines oder mehrerer zweiter Betriebszeiträume in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher abzukühlen.

[0027] Zu Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Anlage sei auf die obigen, das erfindungsge-
mäßige Verfahren und seine Ausgestaltungen betreffenden Ausführungen ausdrücklich verwiesen, da diese das Verfahren in gleicher Weise betreffen.

[0028] Eine entsprechende Anlage kann insbesondere eine Steuereinheit aufweisen, die dafür eingerichtet ist, einen Anlagenbetrieb der Anlage zwischen dem einen oder den mehreren ersten Betriebszeiträumen und dem einen oder den mehreren zweiten Betriebszeiträumen umzuschalten.

[0029] In Ausgestaltungen der Erfindung ist eine ent-

sprechende Anlage insbesondere dafür eingerichtet, ein Verfahren durchzuführen, wie es zuvor in unterschiedlichen Ausgestaltungen erläutert wurde.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung weiter erläutert, welche eine Ausgestaltung der Erfindung veranschaulicht.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0031] Figur 1 veranschaulicht eine Anlage gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Ausführungsformen

[0032] In Figur 1 ist eine Anlage zur Stickstoff- und Sauerstoffverflüssigung, die unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung betrieben werden kann, schematisch veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet. Wie erwähnt, kann eine derartige Anlage in gleicher Weise auch zur zusätzlichen oder alternativen Verflüssigung von Argon eingerichtet sein und die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Verflüssigung von Argon beschränkt. Die nachfolgenden Erläuterungen gelten daher für beide Alternativen und fokussieren sich nur der Übersichtlichkeit halber auf Sauerstoff. Nachfolgend gelten die Erläuterungen betreffend Anlagenkomponenten auch für entsprechende Verfahrensschritte und umgekehrt.

[0033] Der Anlage 100 wird im dargestellten Beispiel gasförmiger Stickstoff in zwei Teilen und auf einem niedrigeren Druckniveau (wie mit 1 veranschaulicht) und auf einem höheren Druckniveau (wie mit 2 veranschaulicht) zugeführt, der beispielsweise mittels einer Luftzerlegungsanlage bereitgestellt werden kann. Der gasförmige Stickstoff 1, 2 wird am Eintritt bzw. auf einer Zwischenstufe einer mehrstufigen Verdichteranordnung 110 zugeführt, die im dargestellten Beispiel eine erste Verdichterstufe 111 und eine zweite Verdichterstufe 112 sowie Nachkühler 113 und 114 aufweist, und in dieser verdichtet.

[0034] Ein Teil 4 des auf diese Weise verdichteten gasförmigen Stickstoffs 3 ("warmer Druckstickstoff") wird in einer Turbinenboosteranordnung 120, die einen ersten Booster 121, einen zweiten Booster 122, einen ersten Nachkühler 123, einen zweiten Nachkühler 124, eine mit dem ersten Booster 121 mechanisch gekoppelte erste Entspannungsturbine 125 und eine mit dem zweiten Booster 122 mechanisch gekoppelte zweite Entspannungsturbine 126 aufweist, weiter verdichtet und warmseitig einem Gegenstromwärmetauscher 130 ("erster Gegenstromwärmetauscher") zugeführt. Ein Rest 5 des verdichteten gasförmigen Stickstoffs 3 wird nicht weiter verdichtet und ebenfalls dem Gegenstromwärmetauscher 130 warmseitig zugeführt.

[0035] Der auf hohem Druck vorliegende Stickstoff 4 kann in dem Gegenstromwärmetauscher 130 zu einem Teil zu Flüssigstickstoff 9 kondensiert werden. Der Flüssigstickstoff 9 kann über ein nicht gesondert bezeichnetes Ventil in einen Behälter 150 entspannt werden, ebenso wie ein Teil 19 des auf hohem Druck vorliegenden Stickstoffs 4, der jedoch nicht vollständig durch den Gegenstromwärmetauscher 130 geführt, sondern diesem bereits auf einer Zwischentemperatur wieder entnommen und in der zweiten Entspannungsturbine 126 entspannt wird. In der Entspannungsturbine 125 kann dagegen ein weiterer Teil entsprechenden Druckstickstoffs verdampft werden, der dem ersten Gegenstromwärmetauscher 130 auf einer Zwischentemperatur entnommen und diesem nach der Entspannung auf einer Zwischentemperatur wieder zugeführt wird.

[0036] In dem Behälter 150 abgeschiedene Flüssigkeit 10 wird durch einen Unterkühler 160 geführt, welcher mit einem entspannten Teil 11 der Flüssigkeit 10 betrieben wird. Ein Teil 13 des unterkühlten Flüssigstickstoffs 12 wird in einen Tank 170 eingespeist.

[0037] Gas 14 aus dem Behälter 150 wird zumindest zu einem Teil 15 kaltseitig dem Gegenstromwärmetauscher 130 zugeführt, in diesem erwärmt, und auf einer Zwischenstufe in die Verdichteranordnung 110 zurückgeführt. Diesem Gas 14 wird dabei ein Teil 17 des Stickstoffs 5, der in dem Gegenstromwärmetauscher 130 teilabgekühlt und in der ersten Entspannungsturbine 125 entspannt wurde, auf einer Zwischentemperatur des Gegenstromwärmetauschers 130 zugespeist, wobei insgesamt ein Stickstoffstrom 18 gebildet wird.

[0038] Die Anlage 100 weist einen weiteren Gegenstromwärmetauscher 140 ("zweiter Gegenstromwärmetauscher") auf, in dem in der Anlage 100 gasförmiger Sauerstoff 20 zu flüssigem Sauerstoff 21 kondensiert werden kann, der in einem geeigneten Tank eingelagert werden kann. Dies erfolgt während der erwähnten "ersten Betriebsphase(n)", nicht (oder in geringerem Umfang) dagegen in den "zweiten Betriebsphase(n)". Zur Bereitstellung der zur Verflüssigung des Sauerstoffs 20 erforderlichen Kälte dient dabei ein Anteil 8 des unterkühlten Flüssigstickstoffs, der verdampft und danach der Verdichteranordnung 110 saugseitig wieder zugeführt wird.

[0039] In einem Anfahrbetrieb wird zumindest ein Teil 16 des Gases 14 aus dem Behälter 150 entspannt, dem bereits mehrfach erwähnten Kreislaufstickstoff 8 zugespeist, und zusammen mit diesem in dem weiteren Gegenstromwärmetauscher 140 erwärmt.

[0040] Ein Anwärmbetrieb umfasst dabei, nachdem die Verflüssigung von Sauerstoff in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher 140 unterbrochen wurde, wie mit einem fett gezeichneten Stoffstrom 6 veranschaulicht, dass warmer Druckstickstoff 6 in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher 140 abgekühlt wird. Auf diese Weise kann, wenn entsprechendes Gas sodann, wie mit 7 veranschaulicht, aus der Anlage ausgeführt wird, der Gegenstromwärmetauscher 140 ausgeheizt werden.

[0041] Auch zur Abkühlung und Zwischentemperierung erfolgt eine entsprechende Abkühlung des Stickstoffs 6 in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher 140,

wobei dann allerdings, wie mit 6' veranschaulicht, ein Teil des Stickstoffs 6 (im Zwischentemperierbetrieb) oder der gesamte Stickstoff 6, beispielsweise über ein geeignetes Joule-Thomson Ventil, entspannt und kaltseitig dem zweiten Gegenstromwärmetauscher 140 wieder zugeführt wird (zusammen mit dem Stickstoffstrom 8). Entsprechender Stickstoff wird damit ebenfalls der Verdichteranordnung 110 saugseitig wieder zugeführt.

[0042] Eine weitere Ausgestaltung, die optional vorgesehen sein kann, ist mit Stickstoffstrom 16 veranschaulicht. Durch dessen Führen durch den zweiten Gegenstromwärmetauscher 140 in einem Anfahrbetrieb kann der zweite Gegenstromwärmetauscher 140 kaltgefahren werden.

[0043] Durch Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung kann eine besonders lange Lebensdauer des zweiten Gegenstromwärmetauschers 140 auch bei sehr vielen Starts und Stops (mehr als 100, aber auch mehr als 10.000 möglich) erzielt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Gasverflüssigung, bei dem

- warmer Druckstickstoff (3) auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar und auf einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C bereitgestellt wird,
- eine erste Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) druckerhöht und danach zu einem Anteil in einem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) unter Erhalt von Flüssigstickstoff (9) kondensiert wird,
- gasförmiger Sauerstoff und/oder gasförmiges Argon (20) während eines oder mehrerer erster Betriebszeiträume in einem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) unter Erhalt von Flüssigsauerstoff und/oder Flüssigargon (21) kondensiert wird,
- eine Teilmenge des Flüssigstickstoffs (9) während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) verdampft wird,
- eine zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) während eines oder mehrerer zweiter Betriebszeiträume in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) abgekühlt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der eine oder die mehreren zweiten Betriebszeiträume einen oder mehrere Temperierzeiträume umfassen, während dessen oder derer die zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) durch Entspannen abgekühlt und dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) teilweise oder vollstän-

dig wieder zugeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der eine oder die mehreren Temperierzeiträume einen Abkühlzeitraum umfassen, dem sich der oder einer der ersten Betriebszeiträume anschließt und während dessen die zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) durch Entspannen abgekühlt und dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) vollständig wieder zugeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem der eine oder die mehreren Temperierzeiträume einen Zwischenkühlzeitraum umfassen, der zwischen zwei der ersten Betriebszeiträume liegt und während dessen ein erster Anteil der zweiten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) durch Entspannen abgekühlt und dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) wieder zugeführt wird, wobei ein zweiter Anteil der zweiten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) nicht wieder zugeführt wird.
5. Verfahren einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem der eine oder die mehreren Temperierzeiträume einen Anwärmzeitraum umfassen, der sich dem oder einem der ersten Betriebszeiträume anschließt, und während dessen die zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) nach der Abkühlung in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) nicht oder in einer Menge von weniger als 10% wieder zugeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine Teilmenge (6) des druckerhöhten warmen Druckstickstoffs (3) und/oder des Flüssigstickstoffs (9) auf einem Druckniveau unterhalb des Druckniveaus des warmen Druckstickstoffs und auf einem Temperaturniveau unterhalb des Temperaturniveaus des warmen Druckstickstoffs gasförmig bereitgestellt und während eines oder mehrerer dritter Betriebszeiträume vor dem einen oder den mehreren ersten Betriebszeiträumen und vor dem einen oder den mehreren zweiten Betriebszeiträumen durch den zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) geführt wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein nicht in dem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) unter Erhalt des Flüssigstickstoffs (9) kondensierter Anteil der druckerhöhten ersten Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) zumindest zu einem Teil in dem ersten Gegenstromwärmetau-

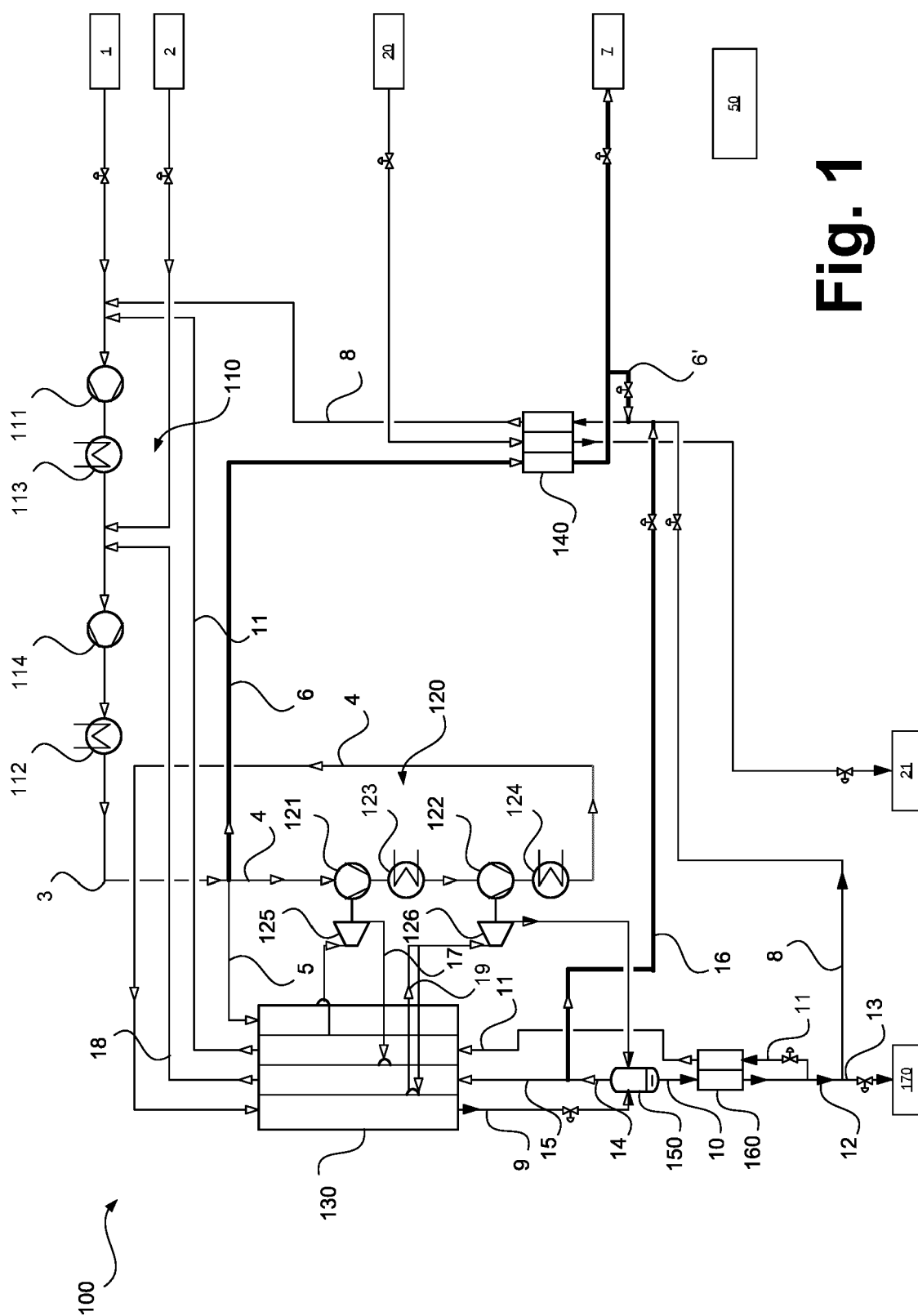
scher (130) abgekühlt, turbinenentspannt und in dem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) erwärmt wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem zumindest ein Teil des Flüssigstickstoffs (9) unter Erhalt von unterkühltem Flüssigstickstoff (12) unterkühlt wird, wobei die Teilmenge des Flüssigstickstoffs (9), die während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem ersten Gegenstromwärmetauscher (130) verdampft wird, eine Teilmenge des unterkühlten Flüssigstickstoffs (12) ist. 5
10

9. Anlage (100) zur Gasverflüssigung, mit 15
 - einer Verdichteranordnung (110), die dafür eingerichtet ist, warmen Druckstickstoff (3) auf einem Druckniveau von 10 bis 30 bar und auf einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C bereitzustellen, 20
 - einer Boosteranordnung (121, 122) und einem ersten Gegenstromwärmetauscher (130), die dafür eingerichtet sind, eine erste Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) druckzuerhöhen und danach zu einem Anteil unter Erhalt von Flüssigstickstoff (9) zu kondensieren, 25
 - einem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) und Mitteln, die dafür eingerichtet sind, 30
 - gasförmigen Sauerstoff (20) während eines oder mehrerer erster Betriebszeiträume in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) unter Erhalt von Flüssigsauerstoff (21) zu kondensieren, 35
 - eine Teilmenge des Flüssigstickstoffs (9) während des einen oder der mehreren ersten Betriebszeiträume unter Erhalt von gasförmigem Stickstoff in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) zu verdampfen, und 40
 - eine zweite Teilmenge des warmen Druckstickstoffs (3) während eines oder mehrerer zweiter Betriebszeiträume in dem zweiten Gegenstromwärmetauscher (140) abzukühlen. 45

10. Anlage (100) nach Anspruch 9, mit einer Steuereinheit (50), die dafür eingerichtet ist, einen Anlagenbetrieb der Anlage (100) zwischen dem einen oder den mehreren ersten Betriebszeiträumen und dem einen oder den mehreren zweiten Betriebszeiträumen umzuschalten. 50

11. Anlage (100) nach Anspruch 9 oder 10, die dafür eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchzuführen. 55





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0419

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	CN 113 375 420 A (ZHEJIANG ZHIHAI CHEMICAL EQUIPMENT ENG CO LTD) 10. September 2021 (2021-09-10)	1-3, 5-11	INV. F25J1/00 F25J1/02
Y	* Seite 4; Beispiel 1 * * Seite 5; Beispiel 2 * * Seite 5, letzter Absatz - Seite 5, Absatz 1; Abbildung *	4	
X	CN 216 924 913 U (HANGZHOU ZHONGTAI CRYOGENIC TECH CORPORATION) 8. Juli 2022 (2022-07-08)	1, 2, 7, 9, 11	
A	* Seite 4, Absatz 5 - Seite 5, Absatz 1; Abbildung * * Seite 5, Absatz 4 - Seite 6, Absatz 2 *	3-6, 8, 10	
Y	DE 10 2015 015686 A1 (LINDE AG [DE]) 22. Juni 2017 (2017-06-22) * Absätze [0007] - [0010], [0013] *	4	
A	EP 3 587 971 A1 (LINDE AG [DE]) 1. Januar 2020 (2020-01-01) * Absätze [0014], [0020], [0021], [0065], [0066], [0155] - [0158]; Abbildung 8 *	3, 5, 6, 10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F25J
A	ROLAND MICHELY: "Luftzerlegungsanlagen im Parallelbetrieb", LINDE BERICHTE AUS TECHNIK & WISSENSCHAFT,, Nr. 43, 1. Juni 1978 (1978-06-01), Seiten 39-44, XP001253417, * Abbildung 4 *	1-11	
A	US 2018/335256 A1 (EBERT TERRENCE J [US]) 22. November 2018 (2018-11-22) * Absätze [0008], [0009], [0037] - [0066]; Abbildungen 3-6 *	1-11	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Februar 2023	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

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

EP 22 02 0419

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

17-02-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 113375420 A	10-09-2021	KEINE	
CN 216924913 U	08-07-2022	KEINE	
DE 102015015686 A1	22-06-2017	KEINE	
EP 3587971 A1	01-01-2020	KEINE	
US 2018335256 A1	22-11-2018	AU 2018269511 A1	28-11-2019
		CA 3063409 A1	22-11-2018
		CN 110869687 A	06-03-2020
		EP 3625509 A1	25-03-2020
		JP 2020521098 A	16-07-2020
		US 2018335256 A1	22-11-2018
		US 2021164729 A1	03-06-2021
		WO 2018213507 A1	22-11-2018

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 3594596 A1 [0002]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Nitrogen. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 15. Juni 2000 [0002]