



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43)

Veröffentlichungstag:  
28.08.2024 Patentblatt 2024/35

(51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):  
F25J 1/00 (2006.01) F25J 1/02 (2006.01)  
F25B 1/04 (2006.01) F25B 31/02 (2006.01)

(21)

Anmeldenummer: 23020083.4

(52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
F25J 1/0022; F25B 41/20; F25B 45/00;  
F25J 1/0052; F25J 1/0212; F25J 1/0247;  
F25J 1/0248; F25J 1/0251; F25J 1/0279;  
F25B 1/04; F25B 31/02; F25B 43/006;  
F25B 2400/19; F25B 2400/23; F25B 2600/2523

(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 ME MK MT NL  
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
BA  
Benannte Validierungsstaaten:  
KH MA MD TN

(72)

Erfinder:  
• Gwinner, Martin  
82049 Pullach (DE)  
• Bohn, Jan-Peter  
82049 Pullach (DE)  
• Lang, Marcus  
82049 Pullach (DE)

(71)

Anmelder: Linde GmbH  
82049 Pullach (DE)

(74)

Vertreter: Zahn, Christoph  
Linde GmbH  
Intellectual Property EMEA  
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14  
82049 Pullach (DE)

(54)

VERFAHREN UND ANLAGE ZUR VERFLÜSSIGUNG EINES KOHLENWASSERSTOFFHALTIGEN EINSATZGASES

(57)

Es wird ein Verfahren (100, 200) zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases (101) vorgeschlagen, wobei das Einsatzgas (101) in druckbeaufschlagtem Zustand in einem Wärmetauscher (10) abgekühlt und zumindest teilweise verflüssigt wird, wobei in dem Wärmetauscher (10) ein Gemischkältemittel (102) erwärmt und zumindest teilweise verdampft wird, wobei das Gemischkältemittel (102) in einem Gemischkältemittelkreislauf (20) geführt wird, und wobei das Gemischkältemittel (102) in dem Gemischkältemittelkreislauf (20) unter Verwendung eines Verdichters (21) verdichtet wird. Als der Verdichter (21) wird dabei ein hermetischer Verdichter (21) verwendet und/oder der Verdichter (21) wird unter Verwendung einer Magnetkupplung angetrieben. Eine entsprechende Anlage (100, 200) ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

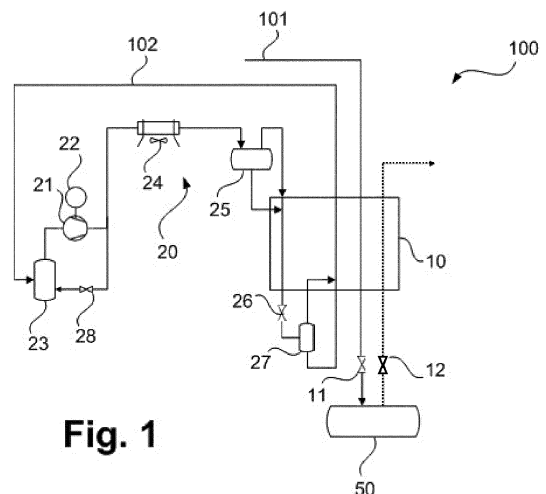


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases.

### Hintergrund

**[0002]** Verfahren und Anlagen zur Verflüssigung von kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgasen wie Erdgas sind bekannt und beispielsweise im Artikel "Natural Gas" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlinepublikation 15. Juli 2006, DOI: 10.1002/14356007.a17\_073.pub2, Abschnitt 3, "Liquefaction", oder bei Wang und Economides, "Advanced Natural Gas Engineering", Gulf Publishing 2010, DOI: 10.1016/C2013-0-15532-8, Kapitel 6, "Liquefied Natural Gas (LNG)", beschrieben.

**[0003]** Insbesondere bei der Erdgasverflüssigung können Gemischkältemittel aus unterschiedlichen Kohlenwasserstoffbestandteilen und Stickstoff zum Einsatz kommen. Diese können in solchen Verfahren in einem, zwei oder drei Gemischkältemittelkreisläufen geführt werden (engl. Single Mixed Refrigerant, SMR; Dual Mixed Refrigerant, DMR; Mixed Fluid Cascade, MFC). Auch Gemischkältemittelkreisläufe mit Propanvorkühlung (C3MR) sind bekannt. Nachfolgend wird für Ausgestaltungen mit einem einzigen Gemischkältemittelkreislauf auch der Begriff "Einfach-Gemischkältemittelkreislauf" verwendet.

**[0004]** Aspekte der vorliegenden Offenbarung betreffen insbesondere kleine Anlagen zur Verflüssigung von kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgasen wie Biogas, die zwar grundsätzlich nach denselben Prinzipien wie große Erdgasverflüssigungsanlagen arbeiten können, aber insbesondere vereinfacht aufgebaut sind und gegebenenfalls andere Anforderungen, wie beispielsweise eine unproblematische Unterbrechbarkeit des Betriebs bzw. dynamischere Betriebsweise, erfüllen sollten.

**[0005]** Es besteht der Bedarf nach Verbesserungen im Betrieb insbesondere entsprechender kleiner Anlagen zur Verflüssigung von kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgasen.

### Offenbarung der Erfindung

**[0006]** Vor diesem Hintergrund werden ein Verfahren und eine Anlage zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

**[0007]** Abkühlprozesse für kleine Gasverflüssigungssysteme, z.B. in Biogasanlagen, sind derzeit vergleichsweise ineffizient und unzuverlässig. Herkömmliche Verfahren umfassen z.B. die Verflüssigung mit kaltem Flüssigstickstoff, offene und geschlossene Methankreisläufe, Joule-Thompson-Zyklen oder Sterling-Prozesse auf

Heliumbasis.

**[0008]** Verdichter, insbesondere Zentrifugalverdichter, wie sie in Gasverflüssigungsanlagen zur Verdichtung von Kältemitteln zum Einsatz kommen können, sind typischerweise mit Gasdichtungen ausgestattet. Diese haben insbesondere die Funktion, einen Austritt des verdichteten Gases zu verhindern und die typischerweise unter erheblichen Drücken und Temperaturen betriebenen Verdichter vor Druckabfall zu schützen. Das in den Gasdichtungen verwendete Dichtgas sowie die mechanische Ausgestaltung der Gasdichtungen müssen ausgesprochen hohen Anforderungen wie Partikelfreiheit einerseits bzw. Maßtoleranzen und Oberflächenglätte andererseits entsprechen.

**[0009]** Moderne, hocheffiziente Zyklen mit Einfach-Gemischkältemittelkreislauf, wie sie oben erwähnt wurden, die in größeren Verflüssigungsanlagen eingesetzt werden, haben den Nachteil, dass Verluste des Gemischkältemittels über das Dichtgassystem der üblicherweise verwendeten Zentrifugalkompressionsanordnungen unvermeidlich sind. Außerdem ist während längerer Stillstandszeiten eine teilweise Druckentlastung mit Freisetzung von Gemischkältemittel aus dem Gemischkältemittelkreislauf erforderlich. Diese Bestandsverluste müssen durch ein Nachspeisesystem ausgeglichen werden, das die Komponenten des Gemischkältemittels bereitstellt. Folglich müssen ein kostspieliges Dichtgassystem und ein Nachspeisesystem installiert werden, was die Wirtschaftlichkeit für kleine Anwendungen und einen autarken Betrieb in Frage stellt.

**[0010]** Die Erfindung beruht nun auf der Erkenntnis, dass durch den Einsatz hocheffizienter gekapselter (hermetischer) Verdichter in Einfach-Gemischkältemittelkreisläufen für die Niedertemperaturgasverflüssigung insbesondere im kleinen Maßstab besonders energie- und kosteneffiziente, zuverlässige und autarke Betriebsmöglichkeiten geschaffen werden, weil hierdurch die genannten Anforderungen an ein Dichtgassystem und ein Nachspeisesystem wegfallen.

**[0011]** Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases vor, wobei das Einsatzgas in druckbeaufschlagtem Zustand in einem Wärmetauscher abgekühlt und zumindest teilweise verflüssigt wird, wobei in dem Wärmetauscher ein, insbesondere genau ein, Gemischkältemittel erwärmt und zumindest teilweise verdampft wird, wobei das Gemischkältemittel in einem, insbesondere genau einem, Gemischkältemittelkreislauf geführt wird, und wobei das Gemischkältemittel in dem Gemischkältemittelkreislauf unter Verwendung eines Verdichters verdichtet wird. Wie im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, ist der Verdichter als hermetischer und/oder über eine Magnetkupplung angetriebener Verdichter ausgebildet.

**[0012]** Aspekte der vorliegenden Erfindung können, mit anderen Worten, umfassen, dass ein spezifisch ausgestaltetes Verdichtersystem in einem besonders energieeffizienten Einfach-Gemischkältemittelkreislauf ein-

gesetzt wird. Der Verdichter kann über eine Magnetkuppelung z.B. durch einen Elektromotor, angetrieben werden, oder es kann ein vollständig hermetischer Verdichter-Maschinenstrang mit einem gekapselten Verdichter und Antrieb eingesetzt werden.

**[0013]** Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung wird der Begriff "hermetischer Verdichter" in fachüblicher Weise verwendet. Anstelle des Begriffs "hermetischer Verdichter" kann grundsätzlich auch der Begriff "vollhermetischer Verdichter" verwendet werden. Bei einem hermetischen Verdichter sind der Antriebsmotor und die verdichtenden Elemente typischerweise in einer druckfesten Kapsel angeordnet. Beide Komponenten können im Kältemittelstrom angeordnet und dadurch gekühlt werden. In bestimmten Ausgestaltung kann die Kapselung derart vorgesehen sein, dass ein Öffnen des Verdichters zu Reparaturzwecken nicht möglich ist. Herkömmlicherweise kommen hermetische Verdichter für Anwendungen wie Klimakammern, Kühl- und Gefrierschränke, kleinere Kühlräume und Haushaltswärmepumpen zum Einsatz. Ein hermetischer Verdichter kann also vollständig von der Umwelt abgeschottet sein. Hermetische Verdichter können "verkettet" werden, so dass sie auch dann effektiv arbeiten, wenn ein Verdichter nicht die erforderliche Leistung erbringt oder ausfällt. Ist daher hier von "einem" entsprechenden Verdichter im Singular die Rede, soll hierdurch nicht ausgeschlossen sein, dass weiterer Verdichter, beispielsweise in serieller und/oder paralleler Anordnung oder in Redundanz verwendet werden.

**[0014]** Probleme im Zusammenhang mit der Verdampfung des Kältemittels und dem Druckanstieg während eines Anlagenstillstands lassen sich in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung unterschiedlich lösen. So kann einerseits das Kältemittelsystem bzw. der Einfach-Kältemittelkreislauf für den zu erwartenden hohen Stillstandsdruck ausgelegt werden, wobei allerdings sichergestellt werden muss, dass die Anlage unter entsprechenden Bedingungen anlaufen kann. Es kann ein Ablaufbehälter verwendet werden, der für einen entsprechend hohen Druck ausgelegt ist, um das flüssige Inventar der Anlage aus kalten Anlagenteilen nach einem Stillstand vorübergehend zu speichern. Auf diese Weise wird der Stillstandsdruck in dem Kältemittelsystem bzw. dem Einfach-Kältemittelkreislauf erheblich reduziert. Die abgelassenen und (teilweise verdampften) Kältemittelkomponenten können dann nach dem Start des Verdichters wieder in den Kältemittelkreislauf eingespeist werden.

**[0015]** Das hier vorgeschlagene Verfahren kann also in entsprechenden Ausgestaltungen einen Verflüssigungsbetrieb, in dem die Verflüssigung des kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases vorgenommen wird, und einen Standbybetrieb, in dem die Verflüssigung des kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases nicht vorgenommen wird, umfassen, wobei der Verdichter in dem Standbybetrieb nicht oder mit geringerer Leistung als in dem Verflüssigungsbetrieb betrieben wird. Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung ermöglichen eine derartige

intermittierende Betriebsweise und erlauben daher einen Einsatz auch zur Verflüssigung von nur periodisch zur Verfügung stehenden Einsatzgasen, so dass die Anforderungen insbesondere beim Betrieb kleiner Anlagen in besonderer Weise erfüllt werden können.

**[0016]** Bei einem Übergang zwischen dem Verflüssigungsbetrieb und dem Standbybetrieb kann in entsprechenden Ausgestaltungen der Erfindung zumindest ein Teil des Gemischkältemittels aus dem Gemischkältemittelkreislauf in ein Ablaufgefäß überführt werden, und bei einem Übergang zwischen dem Standbybetrieb und dem Verflüssigungsbetrieb kann zumindest ein Teil des Gemischkältemittels aus dem Ablaufgefäß wieder in den Gemischkältemittelkreislauf überführt werden. Wie erläutert, lassen sich hierdurch Verluste verringern und ein Druckanstieg kann hinsichtlich seiner Höhe in dem Gemischkältemittelkreislauf insgesamt oder hinsichtlich des Orts des Druckanstiegs (nämlich z.B. nur auf den Ablaufbehälter) begrenzt werden.

**[0017]** Der Übergang zwischen dem Standbybetrieb und dem Verflüssigungsbetrieb kann in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung insbesondere eine Anlaufphase umfassen, in der zunächst der Verdichter in Betrieb gesetzt oder mit (wieder) erhöhter Leistung betrieben wird, und bei dem hieran anschließend sukzessive zumindest ein Teil des Gemischkältemittels aus dem Ablaufgefäß wieder in den Gemischkältemittelkreislauf überführt wird. Auf diese Weise lassen sich die Anforderungen an den Verdichterantrieb hinsichtlich der notwendigen Anlaufleistung in entsprechenden Ausgestaltungen reduzieren, so dass sich insbesondere ein geringeres Anlaufdrehmoment und geringere Erstellungskosten ergeben.

**[0018]** In allen Fällen kann vorgesehen sein, dass in dem Standbybetrieb eine Verdampfung zumindest eines Teils des Gemischkältemittels und ein hierdurch bedingter Druckaufbau in dem Gemischkältemittelkreislauf oder einem Teil hiervon zugelassen wird, wobei zumindest ein Teil von Komponenten in dem Gemischkältemittelkreislauf derart ausgebildet sind, dass sie dem Druckaufbau standhalten. Auf diese Weise können Verluste an Kältemittelinventar eliminiert werden.

**[0019]** In Ausgestaltungen der Erfindung kann zumindest ein Teil des Gemischkältemittelkreislauf abschottbar ausgebildet werden, wobei insbesondere nur entsprechend abgeschottete Teile einem Druckaufbau standhalten müssen. In solchen Fällen braucht nicht die gesamte Anlage mit entsprechenden Kosten entsprechend druckfest ausgestaltet werden.

**[0020]** In Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung kann das kohlenwasserstoffhaltige Einsatzgas Biogas oder durch Vergasung eines anderen kohlenstoffhaltigen Ausgangsstoffs wie Abfällen erzeugtes Vergasungsgas, Shalegas und/oder Erdgas umfassen. Die vorliegende Erfindung eignet sich aus den mehrfach erläuterten Gründen insbesondere zum Einsatz in Verfahren, in denen entsprechende Einsatzgase nur periodisch produziert werden und daher ein intermittierender Verflüssi-

gungsbetrieb besonders vorteilhaft ist.

**[0021]** Wie erwähnt eignet sich die vorliegende Erfindung insbesondere für vergleichsweise kleine Anlagen. Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung umfassen daher, dass Verflüssigungskapazitäten von nicht mehr als 10 Tonnen pro Tag in einer Anlage bereitgestellt werden bzw. das kohlenwasserstoffhaltige Einsatzgas dem Verfahren in einer Menge von nicht mehr als 450 Kilogramm pro Stunde zugeführt wird. Ein Verbund mehrerer Anlagen, um höhere Verflüssigungskapazitäten zu erreichen, ist jedoch denkbar und kann bereitgestellt werden.

**[0022]** Wie erwähnt, wird die vorliegende Erfindung insbesondere in Ausgestaltungen mit Einfach-Gemischkältemittelkreislauf eingesetzt, so dass Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung also umfassen können, dass genau ein Gemischkältemittelkreislauf verwendet wird.

**[0023]** In Ausgestaltungen der Erfindung können grundsätzlich beliebige Gemischkältemittel verwendet werden, d.h. als das Gemischkältemittel kann ein Gemisch mit zumindest zwei der Komponenten Stickstoff, Methan, Ethan, Propan, Ethylen, Butan oder Pentan in beliebigen relativen Mengen verwendet werden, soweit technisch machbar.

**[0024]** Eine Anlage zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung, wobei die Anlage dafür eingerichtet ist, das Einsatzgas in druckbeaufschlagtem Zustand in einem Wärmetauscher abzukühlen und zumindest teilweise zu verflüssigen, wobei die Anlage dafür eingerichtet ist, in dem Wärmetauscher ein Gemischkältemittel zu erwärmen und zumindest teilweise zu verdampfen, und wobei die Anlage dafür eingerichtet das Gemischkältemittel in einem Gemischkältemittelkreislauf zu führen und das Gemischkältemittel in dem Gemischkältemittelkreislauf unter Verwendung eines Verdichters zu verdichten.

**[0025]** Die vorgeschlagene Anlage zeichnet sich dadurch aus, dass der Verdichter als hermetischer Verdichter ausgebildet ist und/oder dass der Verdichter unter Verwendung einer Magnetkupplung angetrieben wird.

**[0026]** Zu weiteren Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Anlage und Ausgestaltungen hiervon sei auf die obigen Erläuterungen betreffend das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren und seine Ausgestaltungen ausdrücklich verwiesen, da diese hierfür in gleicher Weise gelten.

**[0027]** Nochmals zusammengefasst umfasst die vorliegende Erfindung bzw. umfassen entsprechende Ausgestaltungen der Erfindung die Kombination eines effizienten gemischten Kältemittelkreislaufs umfassend Stickstoff, Methan, Ethan, Propan, Ethylen, Butan oder Pentan mit einem hermetischen Kompressionssystem ohne Kältemittelverluste und, falls erforderlich, einem hermetisch integrierten Schmiersystem. Darüber hinaus ist kein externes Dichtgas erforderlich, und das System hat keine Sperrgasverluste von der Prozessseite (gemischter Kältemittelkreislauf) an die Atmosphäre oder andere Systeme.

**[0028]** Das System kann unter anderem zur Verflüssigung kleinerer Methanmengen aus Erdgas oder anderen Methanquellen wie Biogas verwendet werden. Das Kältesystem benötigt kein Nachfüllsystem für gemischte Kältemittel oder ein Dichtgassystem und kann autark arbeiten. Ein Neustart des Systems gegen den Stillstandsdruck ist möglich, ohne dass das System in drucklosen Zustand versetzt werden muss.

**[0029]** Durch die Anpassung der Zusammensetzung des Gemischkältemittels bietet der Einfach-Gemischkältemittelkreislauf eine energieeffiziente Möglichkeit zur Reduzierung von Flashgas, das bei der Drosselung von Flüssiggas in einen Speicherbehälter entsteht. Um die Energieeffizienz des Prozesses zu erhöhen, kann das Flashgas optional (z.B. bei Biogasanlagen mit Niederdruck-Speisegasquellen) nach der Kälterückgewinnung zurück zum Speisegas geleitet oder z.B. in einem Niederdruck-Brenngassystem verwendet werden.

**[0030]** Entsprechendes gilt auch für eine Anlage, die gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung dazu eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß einer beliebigen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung durchzuführen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0031]** Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend rein beispielhaft unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben.

Figur 1 veranschaulicht eine Anlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Figur 2 veranschaulicht eine Anlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

**[0032]** Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen werden lediglich zu dem Zweck beschrieben, den Leser beim Verständnis der beanspruchten und zuvor erläuterten Merkmale zu unterstützen. Sie stellen lediglich repräsentative Beispiele dar und sollen hinsichtlich der Merkmale der Erfindung nicht abschließend und/oder beschränkend betrachtet werden. Es versteht sich, dass die zuvor und nachfolgend beschriebenen Vorteile, Ausführungsformen, Beispiele, Funktionen, Merkmale, Strukturen und/oder anderen Aspekte nicht als Beschränkungen des Umfangs der Erfindung, wie er in den Ansprüchen definiert ist, oder als Beschränkungen von Äquivalenten zu den Ansprüchen zu betrachten sind, und dass andere Ausführungsformen verwendet und Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

**[0033]** Unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung können weitere zweckmäßige Kombinationen der beschriebenen Elemente, Komponenten, Merkmale, Teile, Schritte, Mittel usw. umfassen, aufweisen, aus ihnen bestehen oder im Wesentlichen aus ihnen bestehen,

auch wenn solche Kombinationen hier nicht spezifisch beschrieben sind. Darüber hinaus kann die Offenbarung andere Erfindungen umfassen, die gegenwärtig nicht beansprucht sind, die aber in Zukunft beansprucht werden können, insbesondere wenn sie vom Umfang der unabhängigen Ansprüche umfasst sind.

**[0034]** Erläuterungen, die sich auf Vorrichtungen, Apparate, Anordnungen, Systeme usw. gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen, können auch für Verfahren, Prozesse, Methoden usw. gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gelten und umgekehrt. Gleiche, gleich wirkende, in ihrer Funktion einander entsprechende, baulich identisch oder vergleichbar aufgebaute Elemente, Verfahrensschritte usw. können mit identischen Bezugszeichen angegeben sein.

**[0035]** Figur 1 veranschaulicht eine Anlage 100 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0036]** Die Anlage 100 ist zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases 101 eingerichtet, wobei das Einsatzgas 101 in druckbeaufschlagtem Zustand in einem Wärmetauscher 10 abgekühlt und zumindest teilweise verflüssigt wird. Das verflüssigte Einsatzgas wird über ein Ventil 11 in ein Tanksystem 50 eingespeist, wobei Flashgas bzw. verdampfte Anteile über ein Ventil 12 durch den Wärmetauscher 10 zurückgeführt werden können.

**[0037]** In dem Wärmetauscher 10 wird ein Gemischkältemittel 102 erwärmt und zumindest teilweise verdampft, wobei das Gemischkältemittel 102 in einem hier insgesamt mit 20 bezeichneten Gemischkältemittelkreislauf geführt wird. Das Gemischkältemittel 102 wird in dem Gemischkältemittelkreislauf 20 unter Verwendung eines Verdichters 21 verdichtet, der im veranschaulichten Beispiel mit einem Elektromotor 22 angetrieben wird. Der Verdichter 21 ist als hermetischer Verdichter 21 ausgebildet und/oder dass der Verdichter 21 wird unter Verwendung einer Magnetkupplung angetrieben.

**[0038]** Der Verdichter 21 wird aus einem Vorlagebehälter 23 gespeist, der insbesondere dazu bereitgestellt ist, um eine Flüssigkeitseinspeisung in den Verdichter 21 zu vermeiden. Druckseitig des Verdichters 21 zweigt eine Kickbackleitung mit einem Ventil 28 ab. Mittels eines Luftkühlers 24 wird das verdichtete Gemischkältemittel 102 abgekühlt und dabei teilkondensiert. Ein gebildetes Zweiphasengemisch wird in einen Abscheidebehälter 25 eingespeist. Aus dem Abscheidebehälter 25 abgezogenes Gas wird dem Wärmetauscher 10 warmseitig zugeführt. Über eine Zwischeneinspeisung wird dem Wärmetauscher 10 ebenfalls aus dem Abscheidebehälter 25 abgezogene Flüssigkeit zugeführt. Gas und Flüssigkeit werden vereinigt und in dem Wärmetauscher 10 weiter abgekühlt und dabei insbesondere vollverflüssigt.

**[0039]** Die gebildete Flüssigkeit wird über ein Ventil 26 in einen Flashbehälter 27 eingespeist, aus dem wiederum Gas und Flüssigkeit entnommen, dem Wärmetauscher 10 zugeführt, und innerhalb des Wärmetauschers 10 vereinigt. Nach Erwärmung und Verdampfung in dem

Wärmetauscher 10 wird das Gemischkältemittel 102 wieder dem Vorlagebehälter 23 zugeführt und so der Gemischkältemittelkreislauf 20 geschlossen.

**[0040]** Während längerer Stillstandszeiten erwärmt sich das System und der Flüssigkeitsvorrat aus den kalten Abschnitten des Gemischkältemittelkreislaufs 20 verdampft und erhöht den Stillstandsdruck. Dieser erhöhte Stillstandsdruck kann bei der Auslegung des Gemischkältemittelkreislaufs 20 und der zugehörigen Ausrüstung berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden vorteilhafterweise die erhöhten Anforderungen für den Neustart aufgrund dieses hohen Gemischkältemittelkreislaufs 20 bei der Auswahl des Maschinenstrangs (Verdichter 21 und Antrieb 22) berücksichtigt. Alternativ oder zusätzlich kann eine Ausgestaltung vorgesehen sein, wie sie nun in Bezug auf Figur 2 erläutert wird.

**[0041]** In Figur 2 ist ein Verfahren gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung veranschaulicht und insgesamt mit 200 bezeichnet. Dieses umfasst die bereits zu Figur 1 erläuterten Merkmale und zusätzlich ein Standbysystem, das hier insgesamt mit 30 bezeichnet ist.

**[0042]** Das Verfahren 200 kann einen Verflüssigungsbetrieb, in dem die Verflüssigung des kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases 101 vorgenommen wird, und einen Standbybetrieb, in dem die Verflüssigung des kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases 101 nicht vorgenommen wird, umfassen.

**[0043]** Der Verdichter 21 wird in dem Standbybetrieb nicht oder mit geringerer Leistung als in dem Verflüssigungsbetrieb betrieben. Wie bereits erläutert kann bei einem Übergang zwischen dem Verflüssigungsbetrieb und dem Standbybetrieb zumindest ein Teil des Gemischkältemittels 102 aus dem Gemischkältemittelkreislauf 20 in ein Ablaufgefäß 31 in dem Standbysystem 30 überführt bzw. abgelassen werden.

**[0044]** Hierzu sind entsprechende Leitungen stromauf des Ventils 26 mit einem Ventil 32, in der stromab des Flashbehälters 27 angeordneten Flüssigkeitsleitung mit einem Ventil 33, und stromauf des Ventils 28 in der Kickbackleitung mit einem Ventil 34 vorgesehen.

**[0045]** Bei einem Übergang zwischen dem Standbybetrieb und dem Verflüssigungsbetrieb kann zumindest ein Teil des Gemischkältemittels 102 aus dem Ablaufgefäß 31 wieder in den Gemischkältemittelkreislauf 20 überführt werden, und zwar in dem hier veranschaulichten Beispiel über ein Ventil 35 in den Vorlagebehälter 23.

**[0046]** Das System ist hier also mit einem Hochdruckablassbehälter bzw. Ablaufbehälter 31 ausgestattet, der das kalte flüssige Gemischkältemittel 102 des Systems aufnehmen kann. Durch das Ablassen der kalten Flüssigkeit aus dem System kann der Stillstandsdruck während der Stillstandsphasen beim Aufwärmen des Systems reduziert werden. Der Ablaufbehälter 31 ist für hohen Druck ausgelegt und die Verdampfung der Flüssigkeit im Laufe der Zeit wird akzeptiert.

**[0047]** Nach dem Neustart des Systems bei reduziertem Stillstandsdruck kann das abgelassene Gemischkäl-

temittel 102 zurück in den Prozess geleitet werden. Für die Verdampfung der verbleibenden schweren Bestandteile des Gemischkältemittels 102 im Ablaufbehälter 31 kann ein der Kickbackstrom von der warmen Druckseite des Verdichters 21 verwendet werden. Die Installation des zusätzlichen Ablaufbehälter 31 reduziert den Auslegungsdruck des Systems und verringert den Aufwand für das Wiederanfahren des Verdichters 21 nach längeren Stillstandszeiten. Auch nach langen Stillstandszeiten müssen in einer derartigen Ausgestaltung keine Bestandsverluste durch ein Nachspeisesystem ausgeglichen werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren (100, 200) zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases (101), wobei das Einsatzgas (101) in druckbeaufschlagtem Zustand in einem Wärmetauscher (10) abgekühlt und zumindest teilweise verflüssigt wird, wobei in dem Wärmetauscher (10) ein Gemischkältemittel (102) erwärmt und zumindest teilweise verdampft wird, wobei das Gemischkältemittel (102) in einem Gemischkältemittelkreislauf (20) geführt wird, wobei das Gemischkältemittel (102) in dem Gemischkältemittelkreislauf (20) unter Verwendung eines Verdichters (21) verdichtet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** als der Verdichter (21) ein hermetischer Verdichter (21) verwendet wird und/oder dass der Verdichter (21) unter Verwendung einer Magnetkupplung angetrieben wird.
2. Verfahren (100, 200) nach Anspruch 1, das einen Verflüssigungsbetrieb, in dem die Verflüssigung des kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases (101) vorgenommen wird, und einen Standbybetrieb, in dem die Verflüssigung des kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases (101) nicht vorgenommen wird, umfasst, wobei der Verdichter (21) in dem Standbybetrieb nicht oder mit geringerer Leistung als in dem Verflüssigungsbetrieb betrieben wird.
3. Verfahren (200), bei dem bei einem Übergang zwischen dem Verflüssigungsbetrieb und dem Standbybetrieb zumindest ein Teil des Gemischkältemittels (102) aus dem Gemischkältemittelkreislauf (20) in ein Ablaufgefäß (31) überführt wird, wobei bei einem Übergang zwischen dem Standbybetrieb und dem Verflüssigungsbetrieb zumindest ein Teil des Gemischkältemittels (102) aus dem Ablaufgefäß (31) wieder in den Gemischkältemittelkreislauf (20) überführt wird.
4. Verfahren (200) nach Anspruch 3, bei dem der Übergang zwischen dem Standbybetrieb und dem Verflüssigungsbetrieb eine Anlaufphase umfasst, in der zunächst der Verdichter (21) in Betrieb gesetzt oder

mit erhöhter Leistung betrieben wird, und bei dem hieran anschließend sukzessive zumindest ein Teil des Gemischkältemittels (102) aus dem Ablaufgefäß (31) wieder in den Gemischkältemittelkreislauf (20) überführt wird.

5. Verfahren (100, 200) nach einem der vorstehenden Ansprüche 2 bis 4, bei dem in dem Standbybetrieb eine Verdampfung zumindest eines Teils des Gemischkältemittels (102) und ein hierdurch bedingter Druckaufbau in dem Gemischkältemittelkreislauf (20) oder einem Teil hiervon zugelassen wird, wobei zumindest ein Teil von Komponenten in dem Gemischkältemittelkreislauf (20) derart ausgebildet sind, dass sie dem Druckaufbau standhalten.
6. Verfahren (100, 200) nach Anspruch 5, bei dem zumindest ein Teil des Gemischkältemittelkreislauf (20) abschottbar ist.
7. Verfahren (100, 200) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das kohlenwasserstoffhaltige Einsatzgas (101) Biogas oder durch Vergasung eines anderen kohlenstoffhaltigen Ausgangsstoffs erzeugtes Vergasungsgas, Shalegas und/oder Erdgas umfasst.
8. Verfahren (100, 200) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das kohlenwasserstoffhaltige Einsatzgas (101) dem Verfahren (100, 200) in einer Menge von nicht mehr als 450 Kilogramm pro Stunde zugeführt wird.
9. Verfahren (100, 200) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem genau ein Gemischkältemittelkreislauf (20) verwendet wird.
10. Verfahren (100, 200) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem als das Gemischkältemittel (102) ein Gemisch mit zumindest zwei der Komponenten Stickstoff, Methan, Ethan, Propan, Ethylen, Butan oder Pentan verwendet wird.
11. Anlage (100, 200) zur Verflüssigung eines kohlenwasserstoffhaltigen Einsatzgases (101), wobei die Anlage (100, 200) dafür eingerichtet ist, das Einsatzgas (101) in druckbeaufschlagtem Zustand in einem Wärmetauscher (10) abzukühlen und zumindest teilweise zu verflüssigen, wobei die Anlage (100, 200) dafür eingerichtet ist, in dem Wärmetauscher (10) ein Gemischkältemittel (102) zu erwärmen und zumindest teilweise zu verdampfen, wobei die Anlage (100, 200) dafür eingerichtet das Gemischkältemittel (102) in einem Gemischkältemittelkreislauf (20) zu führen und das Gemischkältemittel (102) in dem Gemischkältemittelkreislauf (20) unter Verwendung eines Verdichters (21) zu verdichten, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdichter (21) als herme-

tischer Verdichter (21) ausgebildet ist und/oder dass der Verdichter (21) unter Verwendung einer Magnetkupplung angetrieben wird.

12. Anlage (100, 200) nach Anspruch 11, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 eingerichtet ist.

10

15

20

25

30

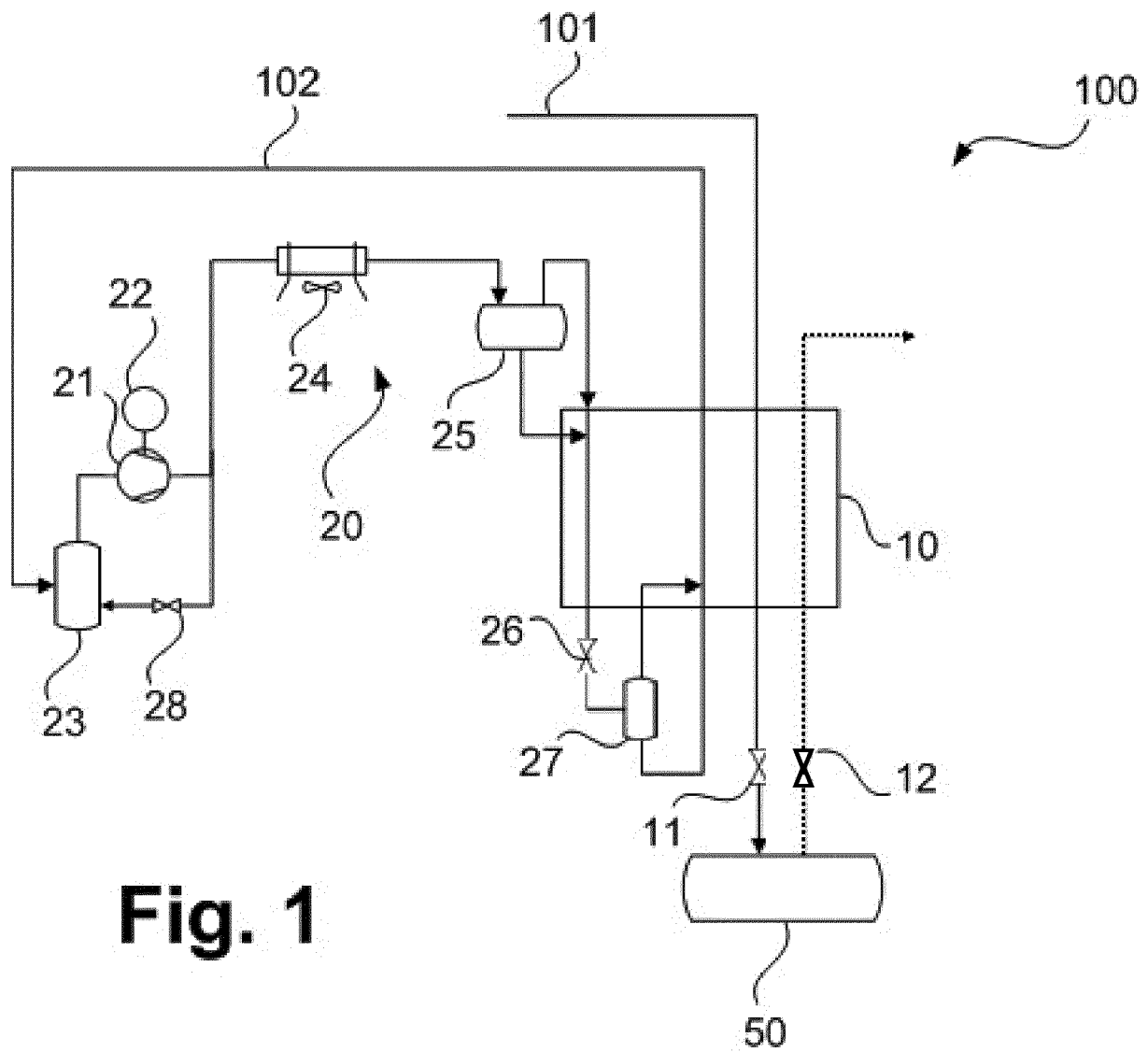
35

40

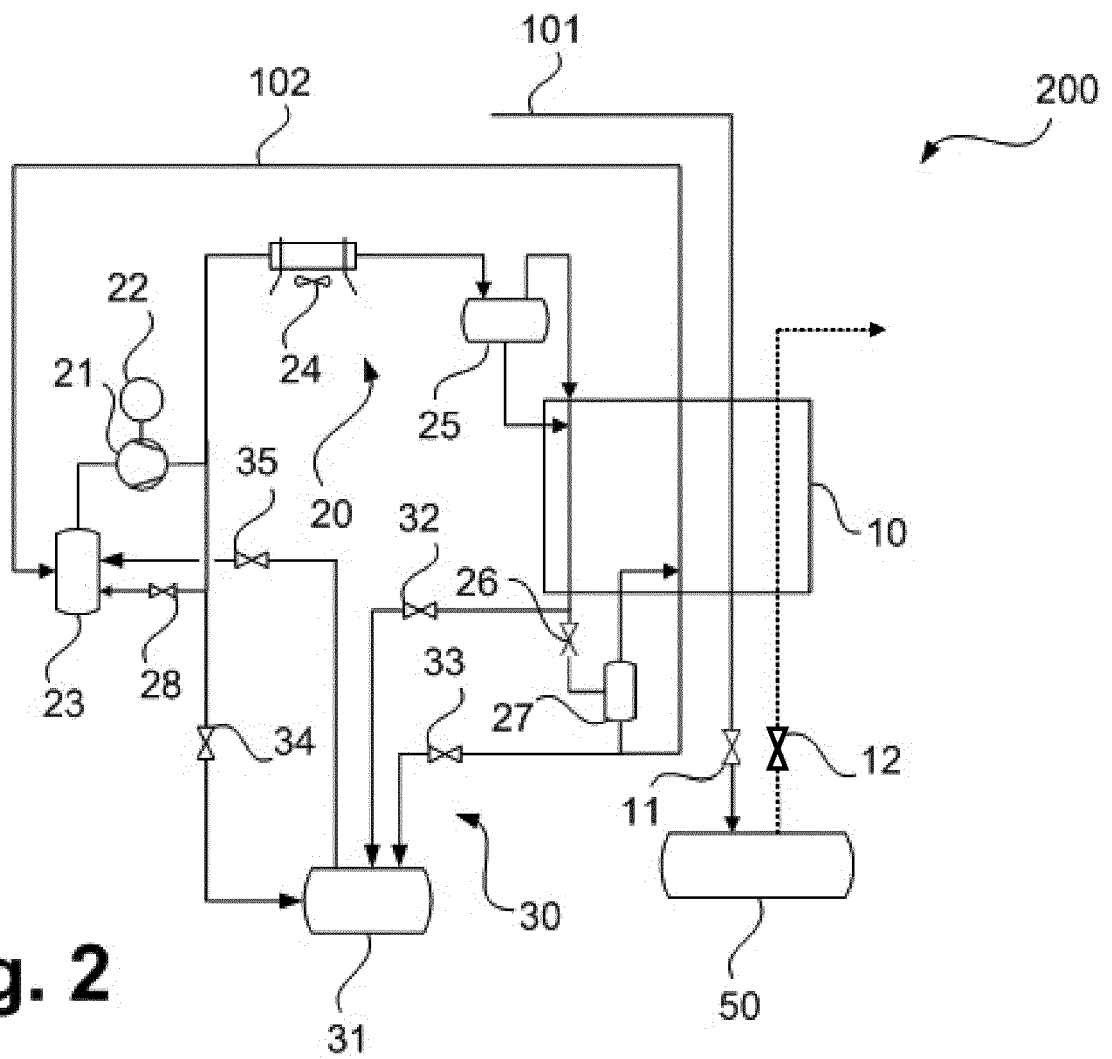
45

50

55

**Fig. 1**





**Fig. 2**



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0083

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	US 2020/080771 A1 (COOPER STEVEN [AU]) 12. März 2020 (2020-03-12)	1, 2, 7-12	INV. F25J1/00
Y	* Absätze [0133], [0150], [0221]; Abbildungen *	3-6, 8	F25J1/02 F25B1/04 F25B31/02
X	US 3 855 810 A (GRIMM P ET AL) 24. Dezember 1974 (1974-12-24)	1-5, 7, 9-12	
Y	* Spalte 1, Zeilen 44-68; Abbildung * * Spalte 2, Zeilen 34-63 * * Spalte 3, Zeilen 18-30 * * Spalte 3, Zeile 67 - Spalte 4, Zeile 25 * * Spalte 4, Zeile 56 - Spalte 5, Zeile 22 *	3-6, 8	
Y	EP 0 711 968 A2 (LINDE AG [DE]) 15. Mai 1996 (1996-05-15) * das ganze Dokument *	3-6	
Y	US 2020/056839 A1 (RYBERG BRETT L [US] ET AL) 20. Februar 2020 (2020-02-20) * das ganze Dokument *	3-6	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)  F25J F25B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>11. Dezember 2023</b>	Prüfer <b>Göritz, Dirk</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : 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 23 02 0083

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

11-12-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>US 2020080771 A1</b>	<b>12-03-2020</b>	<b>AU 2018201851 A1</b>	<b>04-10-2018</b>
		<b>AU 2020200322 A1</b>	<b>06-02-2020</b>
		<b>CA 3055601 A1</b>	<b>20-09-2018</b>
		<b>CN 110709659 A</b>	<b>17-01-2020</b>
		<b>CN 114909870 A</b>	<b>16-08-2022</b>
		<b>EP 3596415 A1</b>	<b>22-01-2020</b>
		<b>IL 269301 A</b>	<b>28-11-2019</b>
		<b>JP 7265482 B2</b>	<b>26-04-2023</b>
		<b>JP 2020514665 A</b>	<b>21-05-2020</b>
		<b>KR 20200007773 A</b>	<b>22-01-2020</b>
		<b>RU 2019132082 A</b>	<b>14-04-2021</b>
		<b>RU 2022103612 A</b>	<b>01-04-2022</b>
		<b>SG 11201908182V A</b>	<b>30-10-2019</b>
		<b>US 2020080771 A1</b>	<b>12-03-2020</b>
<b>US 3855810 A</b>	<b>24-12-1974</b>	<b>CA 991531 A</b>	<b>22-06-1976</b>
		<b>DE 2206620 A1</b>	<b>23-08-1973</b>
		<b>US 3855810 A</b>	<b>24-12-1974</b>
<b>EP 0711968 A2</b>	<b>15-05-1996</b>	<b>AR 000099 A1</b>	<b>21-05-1997</b>
		<b>DE 4440405 C1</b>	<b>23-05-1996</b>
		<b>EP 0711968 A2</b>	<b>15-05-1996</b>
		<b>US 5636529 A</b>	<b>10-06-1997</b>
<b>US 2020056839 A1</b>	<b>20-02-2020</b>	<b>AU 2019322808 A1</b>	<b>11-03-2021</b>
		<b>CA 3109351 A1</b>	<b>20-02-2020</b>
		<b>EP 3837482 A1</b>	<b>23-06-2021</b>
		<b>JP 7100762 B2</b>	<b>13-07-2022</b>
		<b>JP 2021534365 A</b>	<b>09-12-2021</b>
		<b>SG 11202100389R A</b>	<b>25-02-2021</b>
		<b>US 2020056839 A1</b>	<b>20-02-2020</b>
		<b>WO 2020036711 A1</b>	<b>20-02-2020</b>

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 Nicht-Patentliteratur**

- Natural Gas. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 15. Juli 2006 [0002]
- Liquefied Natural Gas (LNG). **WANG ; ECONO-MIDES**. Advanced Natural Gas Engineering. Gulf Publishing, 2010 [0002]