



(11) **EP 3 795 885 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.03.2021 Patentblatt 2021/12

(51) Int Cl.:
F17D 1/04 (2006.01) F17D 1/075 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20190940.5**

(22) Anmeldetag: **13.08.2020**

(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:
• **Päßler, Steffen**
14542 Werder (DE)
• **Sprung, Holger**
04229 Leipzig (DE)
• **Skorzus, Karsten**
08280 Aue (DE)

(30) Priorität: **14.08.2019 DE 102019121925**

(74) Vertreter: **Castell, Klaus**
Patentanwaltskanzlei
Liermann-Castell
Am Rurufer 2
52349 Düren (DE)

(71) Anmelder: **Ontras Gastransport GmbH**
04129 Leipzig (DE)

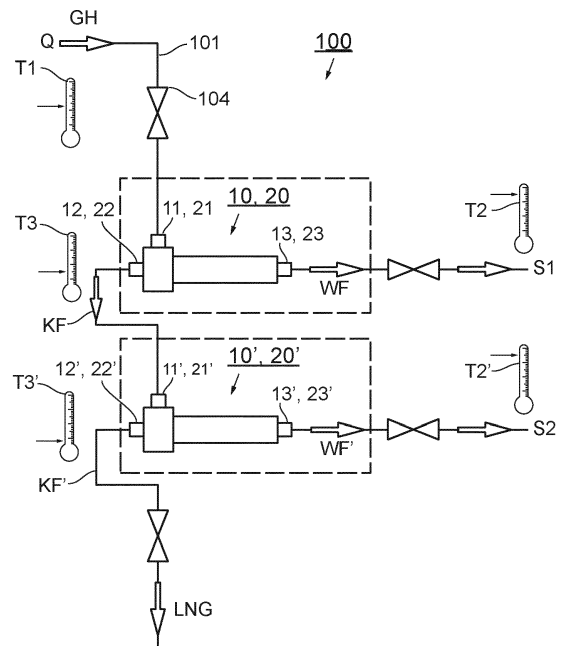
(54) **GASENTSPANNUNGSANLAGE MIT LNG-ERZEUGUNGSANLAGE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Gasentspannungsanlage (100, 200, 300, 400) zur Entspannung und Mengensteuerung von Gas zum Einsatz zwischen einer ersten, gastromaufwärts gelegenen Gasquelle (Q), wie ein Gasktank, ein Gasmitteldrucknetz oder Gashochdrucknetz oder ein Kavernenspeicher und einer zweiten, gastromabwärts gelegenen Gassenke (S), wie ein Verbraucher, ein Gasniederdrucknetz oder eine Gasversorgungsleitung, aufweisend mindestens ein erstes Wirbelrohr (10, 20), das in Strömungsverbindung mit der ersten, gastromaufwärts gelegenen Gasquelle (Q) steht, wobei das Gas aus der Gasquelle (Q) in das mindestens eine erste Wirbelrohr (10, 20) in einen tangentialen Einlass (11, 21) einströmt, und aus zwei Auslässen in Form eines ersten Auslasses (12, 22) für eine erste Kaltfraktion (KF) des Gases und in Form eines zweiten Auslasses (13, 23) für eine zweite Warmfraktion (WF) des Gases ausströmt.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die aus dem ersten Auslass (12, 22) des mindestens einen Wirbelrohres (10, 20) strömende Kaltfraktion (KF) des Gases in Strömungsverbindung mit einem Einlass (11', 21') mindestens eines zweiten Wirbelrohres (10', 20') steht und aus zwei Auslässen in Form eines ersten Auslasses (12', 22') für eine erste Kaltfraktion (KF') des Gases und in Form eines zweiten Auslasses (13', 23') für eine zweite Warmfraktion (WF') des Gases ausströmt, wobei die Warmfraktion (WF') des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') mit der zweiten, gastromabwärts gelegenen Gassenke (S, S2) in Strömungsverbindung steht, und wobei die Kaltfraktion (KF') des mindestens einen zwei-

ten Wirbelrohres (10', 20') mit einem Ausgang für verflüssigtes Gas (LNG) in Verbindung steht.

Fig. 3



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Gasentspannungsanlage zur Entspannung und Mengensteuerung von Gas zum Einsatz zwischen einer ersten, gastromaufwärts gelegenen Gasquelle, wie ein Gastank, ein Gasmitteldrucknetz oder Gashochdrucknetz oder ein Kavernenspeicher und einer zweiten, gastromabwärts gelegenen Gassenke, wie ein Verbraucher, ein Gasniederdrucknetz oder eine Gasversorgungsleitung, aufweisend mindestens ein erstes Wirbelrohr, das in Strömungsverbindung mit der ersten, gastromaufwärts gelegenen Gasquelle steht, wobei das Gas aus der Gasquelle in das mindestens eine erste Wirbelrohr in einen tangentialen Einlass einströmt, und aus zwei Auslässen in Form eines ersten Auslasses für eine erste Kaltfraktion des Gases und in Form eines zweiten Auslasses für eine zweite Warmfraktion des Gases ausströmt.

[0002] Bei der Verteilung von Gasen, beispielsweise aus einem Gasmittel- oder Gashochdrucknetz in ein Verteilungsnetz mit geringerem Druck, oder bei der Abnahme von Gasen aus einem Druckspeicher, wie ein Aquiferspeicher, einem Kavernenspeicher oder einem Gastank in ein Leitungsnetz, ist es notwendig, das unter Druck stehende Gas zu entspannen, um den Druck für den Leitungstransport anzupassen. Im Unterschied zu idealen Gasen zeigen reale Gase beim Übergang über eine Drossel den bekannten Joule-Thomson-Effekt. Der Joule-Thomson-Effekt zeichnet sich durch eine beobachtbare Temperaturänderung eines Gases bei einer isenthalpen Druckminderung aus, dabei wird die Richtung (Abkühlung oder gar Erwärmung) und Stärke des Effekts durch die Stärke der anziehenden und abstoßenden Kräfte (van der Waals-Kräfte) zwischen den Gasmolekülen bestimmt. Unter Normalbedingungen zeigen die meisten geläufigen Gase und Gasgemische, z. B. auch Luft, eine Temperaturverringerung bei der Entspannung, also bei einer Druckminderung beim Fluss durch eine Drossel. In Leitungsnetzen, die hohe Volumenströme leiten, wie zum Beispiel kommunale Gasversorgungsleitungen, regionale Gasversorgungsleitungen oder längere Gaspipelines, ist es notwendig, dass sowohl der Druck in der Versorgungsleitung als auch die Temperatur des strömenden Gases in bestimmten Grenzen liegt. Die in den Versorgungsleitungen vorhandenen Aggregate, wie Druckregler, Ventile, Wärmetauscher und Verdichter haben häufig schmale Intervalle, in denen die Zustandsgrößen des transportierten Gases vorliegen können, um sicher und in vorbestimmter Weise zu funktionieren.

[0003] Nasses Erdgas, also Methan (CH_4) mit Beimengungen von Stickstoff (N_2), ggf. sauren Gasen wie Schwefelwasserstoff (H_2S) und Kohlendioxid (CO_2) sowie Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf (H_2O) und geringe Mengen Ethan (C_2H_6 , 1% bis 15 %), Propan (C_3H_8 , 1% bis 10%), Butan (C_4H_{10}), Ethen (C_2H_4) und Pentanen (C_5H_{12}), neigt bei einer starken Abkühlung durch den Joule-Thomson-Effekt zum Vereisen. Beim Vereisen fällt aus nassem Erdgas insbesondere Methanhydrat ($\text{CH}_4 \cdot 5,75 \text{ H}_2\text{O}$) aus. Methanhydrat ist eine Klathratverbindung, in dem Wasser und Methan eine Käfigverbindung bilden. Methanhydrat hat äußerlich die Erscheinung wie Schnee oder Raureif und kann, wenn es einmal in der Kälte entstanden ist, bis zu Temperaturen von 20°C vorliegen. Bei Raumtemperatur, also etwa bei 20°C , ist Methanhydrat zwar thermodynamisch instabil; die Klathratverbindung neigt aber dazu, im überhitzten Zustand zu verweilen, bevor sie wieder in die Gasbestandteile zerfällt. Bildet sich Methanhydrat, Eis oder ein anderes Gashydrat, so kann das Hydrat die Gasleitung verstopfen, den Gasleitungsquerschnitt verengen, Ventile oder Druckregelventile verstopfen oder unbeweglich machen, den mechanischen Regelweg von Membranen von Druckreglern versperren und Durchflussmessern den Zugang zum Gasstrom versperren. Die Bildung von Eis, Methanhydrat oder anderen Gashydraten in einer Gasversorgungsleitung kann damit schnell zu einer gefährlichen Havarie der Leitung führen, die gefährlich ist für Leib und Leben.

[0004] Um die Vereisung von Gasen bei der Entspannung zu verhindern, ist es bekannt, das Gas vor der Drossel stark zu erwärmen, wobei das Gas bei der Passage der Drossel wieder abkühlt. Auch ist es bekannt, das zu drosselnde Gas durch eisfreie Drosseln zu leiten und das erkaltete Gas wieder zu erwärmen. Die Erwärmung findet statt durch elektrische Heizungen oder durch Gasheizung, denn Gas als Heizgas ist in der Umgebung einer Gasversorgungsleitung zu genüge vorhanden.

[0005] Mit zunehmendem Bewusstsein der möglichen Energieeinsparung, aber auch mit zunehmendem Bewusstsein der Schädlichkeit von größeren Mengen Kohlendioxid in der freien Atmosphäre für das Weltklima, das beim Verbrennen von Heizgas entsteht, besteht das Bedürfnis, die Entspannung von Gasen, insbesondere in kommunalen oder regionalen Versorgungsleitungen aber auch in Pipelines klimaneutral durchzuführen. Ein weiteres Bedürfnis ist es, die Entspannung von Gas in Abwesenheit von Zündquellen, wie elektrische Heizungen oder Gasheizungen durchzuführen, um die kommunalen oder regionalen Versorgungsleitungen vor einer Havarie zu sichern.

[0006] In der ostdeutschen Patentschrift DD 108 146 wird eine Einrichtung zur Verflüssigung oder Kälteerzeugung offenbart. Nach dem Leitgedanken in DD 108 146 ist vorgesehen, Gas aus einer Hochdruckquelle durch ein Wirbelrohr zu leiten. Die Warmfraktion, die aus dem Wirbelrohr strömt, wird entweder einem weiteren Prozess zugeführt oder aber über einen Wärmetauscher und Rückverdichter wieder der Hochdruckseite zugeleitet. Der Kaltgasstrom hingegen wird der weiteren Verflüssigung zugeleitet. Zwar eignet sich dieses Verfahren zur Verflüssigung von Gas, ist aber recht energieineffizient.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein energieeffizientes und gleichzeitig robustes und daher jahreszeitenunempfindliches Verfahren zur Gasentspannung zur Verfügung zu stellen.

[0008] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird gelöst durch eine Gasentspannungsanlage mit den Merkmalen in Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen zu Anspruch 1 angegeben.

[0009] Nach dem Gedanken der Erfindung ist vorgesehen, dass die aus dem ersten Auslass des mindestens einen Wirbelrohres strömende Kaltfraktion des Gases in Strömungsverbindung mit einem Einlass mindestens eines zweiten Wirbelrohres steht und aus zwei Auslässen in Form eines ersten Auslasses für eine erste Kaltfraktion des Gases und in Form eines zweiten Auslasses für eine zweite Warmfraktion des Gases ausströmt, wobei die Warmfraktion des mindestens einen zweiten Wirbelrohres mit der zweiten, gastromabwärts gelegenen Gassenke in Strömungsverbindung steht, und wobei die Kaltfraktion des mindestens einen zweiten Wirbelrohres mit einem Ausgang für verflüssigtes Gas in Strömungsverbindung steht. Diese Schaltung ist eine Kaskade von mindestens zwei Wirbelrohren, die auf ihrer Seite der Kaltfraktion als Kaskade miteinander verbunden sind. In der Kaskade sind die Ausgänge der Wirbelrohre für die Warmfraktion mit je einem im Druck korrespondierenden Gasableitungsnetz verbunden. Das letzte Wirbelrohr führt in der Kaskade zu einer Verflüssigung des Gases. Das flüssige Gas wird eingelagert und ist für die weitere Nutzung durch Kunden für flüssiges Gas gedacht. Diese Kaskadenschaltung ist zur Erzeugung von flüssigem Gas eher energieineffizient. Das Ziel der Erfindung ist es aber nicht, flüssiges Gas herzustellen, sondern Gas, das unter hohem Druck steht und beispielsweise aus einer Pipeline, aus einer Gasversorgungsleitung oder aus einem Gasspeicher stammt, so zu entspannen, dass die Temperatur des entspannten Gases die Erfordernisse an die Zustandsgrößen für in Gasversorgungsleitungen erfüllt. Das bei der Gasentspannung anfallende, verflüssigte Gas erreicht in der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage nur etwa 2% bis 5% des gesamten, durch die Anlage strömenden Gases. Die Wärme aus 5% des durch die Gasentspannungsanlage strömenden Gases wird auf die restlichen 95% des in die weiterführenden Gasableitungsnetze strömenden Gases übertragen, ohne dass es notwendig ist, das in die weiterführenden Gasableitungsnetze strömenden Gas zu erwärmen oder durch atmosphärische Wärmetauscher aufzuwärmen. Die Gasentspannungsanlage funktioniert somit im Sommer und auch im Winter, unabhängig vom Aufstellungsort oder der klimatischen Aufstellungsregion der Gasentspannungsanlage. Hierbei ist es vorteilhaft, dass nur etwa 5% als flüssiges Gas als Nebenprodukt anfallen, da dieser Anteil etwa der Teil ist, der als flüssiges Gas vom Markt gekauft wird.

[0010] In einer ersten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage kann vorgesehen sein, dass zwischen dem mindestens einen zweiten Wirbelrohr und dem Ausgang für verflüssigtes Gas mindestens ein drittes Wirbelrohr geschaltet ist, wobei der zweite Auslass des mindestens einen ersten Wirbelrohres mit einem Gashochdrucknetz als Senke verbunden ist, der zweite Auslass des mindestens einen zweiten Wirbelrohres mit einem Gasmitteldrucknetz als Senke verbunden ist, und wobei der zweite Auslass des mindestens einen dritten Wirbelrohres mit einem Gasniederdrucknetz als Senke verbunden ist. Diese optionale Gasentspannungsanlage weist drei Wirbelrohrstufen aus und verteilt und entspannt das Gas der Hochdruckseite in drei unterschiedliche Gasableitungsnetze mit unterschiedlichem Druck.

[0011] In einer zweiten Ausgestaltung der der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage kann vorgesehen sein, dass dem mindestens einen zweiten Wirbelrohr und dem Ausgang für verflüssigtes Gas mindestens eine Kältemaschine geschaltet ist, wobei die Abwärme der Kältemaschine über einen Wärmetauscher in den Gasstrom geleitet ist, der als Warmfraktion aus dem zweiten Auslass des mindestens einen zweiten Wirbelrohres strömt und mit einem Gasmitteldrucknetz als Senke verbunden ist. Diese optionale Gasentspannungsanlage weist zwei Wirbelrohrstufen aus und verteilt und entspannt das Gas der Hochdruckseite in zwei unterschiedliche Gasableitungsnetze mit unterschiedlichem Druck. Je nach erwünschtem Druck auf der Mittel- und Niederdruckseite kann es möglich sein, dass die Volumenarbeit an den als Drosseln wirkenden Wirbelrohren nicht genügt, um eine Temperatur zu erzeugen, welche die Kaltfraktion verflüssigt. In diesem Fall kann mit einer Kältemaschine nachgeholfen werden, wobei die Abwärme der Kältemaschine in diesem Beispiel in den Gasableitungsstrom der zweiten Wirbelrohrstufe geleitet wird. Auch diese Gasentspannungsanlage arbeitet unabhängig von den klimatisch bedingten atmosphärischen Bedingungen.

[0012] Schließlich ist es in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage möglich, dass das mindestens eine erste Wirbelrohr mit seinem zweiten Ausgang für die Warmfraktion über einen Verdichter mit dem Eingang der Gasentspannungsanlage in Strömungsverbindung steht.

[0013] In einer besonderen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage kann vorgesehen sein, dass ein Verdichter und eine Kältemaschine parallel zueinander geschaltet sind und Gas und Wärme aus dem zweiten Auslass einer Wirbelrohrstufe, das als Warmfraktion das mindestens eine Wirbelrohr verlässt, von einem geringeren Druckniveau auf ein höheres Druckniveau transportiert. Diese Parallelschaltung von Verdichter und Kältemaschine ermöglicht es, die Menge von Gas und Wärme, die von einem Druckniveau zum anderen transportiert wird, in großen relativen Verhältnisintervallen zueinander zu variieren, was für die Einstellung eines optimalen Arbeitspunktes der Wirbelrohre der Gasentspannungsanlage von Vorteil ist.

[0014] Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines eingesetzten Wirbelrohres nach Ranque-Hielsch,
- Fig. 2 eine Variante eines eingesetzten Wirbelrohres,
- Fig. 3 eine erste und einfache Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage,

Fig. 4 eine zweite Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage,

Fig. 5 eine dritte Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage,

Fig. 6 eine vierte Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage.

5 **[0015]** In **Figur 1** ist eine Schnittzeichnung durch Wirbelrohr 10 nach Ranque-Hielsch mit eingezeichneten Wirbeln W1 und W2 dargestellt, wobei der äußere Wirbel W1 die Warmfraktion führt und der innere Wirbel W2 die Kaltfraktion führt. Die exakte Funktionsweise eines Wirbelrohres nach Ranque-Hielsch ist trotz der Entdeckung dieses Effektes vor etwa 90 Jahren heute noch nicht exakt wissenschaftlich geklärt. Der Effekt nach Ranque-Hielsch ist aber wohl reproduzierbar und lässt sich auch empirisch für verschiedene Volumenströme und mittlere Betriebsdrücke optimieren. Soweit
10 die Funktion des Wirbelrohres 10 objektiv verstanden ist, strömt unter Druck stehendes Gas GH in einen tangentialen Einlass 11 in das Wirbelrohr 10 ein. Dort bildet das einströmende Gas GH in dem Wirbelrohr verschiedene Wirbel W1 und W2, wobei Gas, das wärmer ist als das in Einlass 11 einströmende Gas, als Warmfraktion WF aus dem Rohrende bei Auslass 13 austritt. Auslass 13 ist an dem Rohrende angeordnet, das dem Rohrende gegenüberliegt, an dem der tangentiale Einlass 11 angeordnet ist. Gas, das deutlich kälter ist, als das in Einlass 11 einströmende Gas, tritt als
15 Kaltfraktion KF bei Auslass 12 aus, der an dem Rohrende angeordnet ist, an dem auch der tangentiale Einlass 11 angeordnet ist. Die Wärmemenge der vereinten Warmfraktion WF und Kaltfraktion KF entspricht etwa der Wärmemenge des eintretenden Gases GH abzüglich der Volumenarbeit $V \cdot \Delta p$ als Wärmeäquivalent, die das eintretende unter Druck stehende Gas GH bei Passage des Wirbelrohres 10 geleistet hat.

[0016] Im Gegensatz zu einer einfachen Drossel in Form einer Lochblende oder einer Stahlfritte in einem Rohr, bei
20 dem eine Temperaturabsenkung durch den beobachtbaren Joule-Thomson-Effekt messbar ist, bildet sich in einem Ranque-Hielsch-Rohr eine Kaltfraktion KF mit einer Temperatur unterhalb der Temperatur, die durch den Joule-Thomson-Effekt beobachtbar wäre und eine Warmfraktion WF mit einer Temperatur, die höher ist, als die Temperatur des einströmenden Gases GH. Die vorliegende Erfindung macht sich zu Nutze, dass mit dem Wirbelrohr 10 nach Ranque-Hielsch eine Kaltfraktion KF erhalten wird, die eine Temperatur unterhalb der Temperatur aufweist, die nach Joule-Thomson erreichbar wäre. Die dabei entzogene Wärme geht der Warmfraktion zu, die im Rahmen dieser Erfindung für
25 die Erwärmung des Gases im Ableitungsnetz genutzt wird.

[0017] In der Legende zu **Figur 1** sind drei verschiedene Thermometer unter je einem schattierten Quadrat dargestellt, die die je einer Schattierung der Wirbel W1 und W2 zugeordnet werden können. Schwarz (links) bedeutet kalt und entspricht der Temperatur der austretenden Kaltfraktion KF. Eine mitteldunkle Schattierung (Mitte) entspricht etwa der
30 Temperatur des unter Druck stehenden, eintretenden Gases GH und eine hellere Schattierung (rechts) entspricht etwa der Temperatur der austretenden Warmfraktion WF.

[0018] In **Figur 2** ist eine Schnittzeichnung durch eine Variante des Ranque-Hielsch-Rohres als Wirbelrohr 20 dargestellt. Anders als bei dem zuvor beschriebenen Wirbelrohr 10 nach Ranque-Hielsch in **Figur 1** ist der Auslass 23 für die Warmfraktion WF vollkommen verschlossen. Der Ranque-Hielsch-Effekt bricht dadurch nicht zusammen, sondern die
35 Wärme der Warmfraktion WF wird über die Rohrwand RW auf die Kühlrippen 27 in ein Gehäuse 24 des Wirbelrohres 20 abgeleitet, wo ein Teilstrom TS des unter Druck stehenden Gases GH, der durch den Strömungseingang 25 in das Gehäuse 24 eingetreten ist, die Wärme aufnimmt und über den Strömungsausgang 26 das Gehäuse 24 verlässt. Von außen gesehen unterscheidet sich diese zweite Variante des Ranque-Hielsch-Rohres vom Ranque-Hielsch-Rohr nach **Figur 1** durch den Weg der Wärme. In dem zuvor beschriebenen Wirbelrohr 10 nach Ranque-Hielsch in **Figur 1** wird
40 die Wärme mit der Warmfraktion WF im Wirbel W1 transportiert und mit der Warmfraktion WF aus dem Wirbelrohr 10 durch den Auslass 13 transportiert, hingegen wird die Wärme in der Variante des Ranque-Hielsch-Rohres in **Figur 2** durch die Rohrwand RW nach außen in das Gehäuse 24 transportiert und über einen Teilstrom TS des einströmenden Gases GH als Warmfraktion WF abtransportiert, welche durch Auslass 26 das Gehäuse 24 verlässt.

[0019] In der Legende zu **Figur 2** sind drei verschiedene Thermometer unter je einem schattierten Quadrat dargestellt, die die je einer Schattierung der Wirbel W1 und W2 zugeordnet werden können. Schwarz (links) bedeutet kalt und entspricht der Temperatur der austretenden Kaltfraktion KF. Eine mitteldunkle Schattierung (Mitte) entspricht etwa der
45 Temperatur des unter Druck stehenden, eintretenden Gases GH und eine hellere Schattierung (rechts) entspricht etwa der Temperatur der austretenden Warmfraktion WF.

[0020] Schließlich gibt es Varianten eines Wirbelrohres, die dem Wirbelrohr 10 in **Figur 10** ähneln, bei denen der
50 Auslass 13 für die Warmfraktion WF verschlossen ist und die Wärme durch die Rohrwand RW in die atmosphärische Umgebung strömt. Solche Wirbelrohre arbeiten wie eine Drossel, die durch Wärmeabgabe eine zusätzliche Abkühlung des durch das Wirbelrohr strömenden Gases erzeugen. Gegenstand der Erfindung ist es, diese im Stand der Technik ungenutzte Wärme in den stromabwärts gerichteten Gasstrom zu leiten.

[0021] In **Figur 3** ist eine Skizze einer ersten und einfachen Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage
55 dargestellt. Gas aus einer Quelle Q strömt von der Gashochdruckseite GH über einen Eingang 101 in die Gasentspannungsanlage 100. Nach Passage eines Sperr-/Regelventils 104 strömt das Gas unter hohem Druck, wie zum Beispiel 80 bar in mindestens ein Wirbelrohr 10, 20. Das Wirbelrohr 10, 20 kann dabei die in **Figur 1** und **2** dargestellten Aufbau haben. Um den hohen Durchsatz von 50.000 Nm³/ und noch weit mehr zu erreichen, der in einer solchen Gasentspan-

nungsanlage 100 entspannt werden muss, ist es möglich, dass Wirbelrohre je einer Stufe, hier der ersten Stufe, parallel zueinander verschaltet sind. Dabei können zwei Wirbelrohre, aber auch fünf, zehn oder einhundert, gar eintausend Wirbelrohre der ersten Stufe parallel miteinander verschaltet werden. Das Gas der Warmfraktion WF aus dem zweiten Auslass 13, 23 des Wirbelrohres 10, 20 kann in dieser Stufe einen Druck von 67 bar aufweisen.

[0022] Die Kaltfraktion KF aus dem ersten Auslass 12, 22 des mindestens einen ersten Wirbelrohres 10, 20, das eine deutlich geringere Temperatur, dargestellt durch Thermometer T3, hat als das Eingangsgas, das die Temperatur hat, die durch Thermometer T1 dargestellt ist, strömt in den Einlass 11', 21' mindestens eines Wirbelrohres 10', 20' der zweiten Stufe in der Kaskade aus Wirbelrohren. Dieses kältere Gas der Kaltfraktion KF des Wirbelrohres 10, 20 der ersten Stufe wird erneut entspannt, zum Beispiel auf einen Druck von 50 bar bis hinunter auf 3 bar.

[0023] An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Drucksprung über ein Wirbelrohr die Temperatur der Warmfraktion und der Kaltfraktion bestimmt. Dabei gilt stets, dass die Wärmemengen, die in der Warmfraktion und in der Kaltfraktion enthalten sind, abzüglich der Volumenarbeit, die bei der Entspannung vom Gas geleistet worden ist, der Wärmemenge in dem Gas auf der Eingangsseite entspricht. Durch drosseln der verschiedenen Auslässe des Wirbelrohres kann die Temperatur der Kaltfraktion und auch der Warmfraktion eingestellt werden, wobei sich die zuvor genannte Randbedingung stets von selbst einstellt.

[0024] Das Gas der zweiten Kaltfraktion KF' aus dem mindestens einen zweiten Wirbelrohr 10', 20' der zweiten Stufe in der Kaskade wird sodann als flüssiges Gas (LNG) angezogen und in einem isolierten Tank gelagert.

[0025] In **Figur 4** ist eine Skizze einer zweiten Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage als Gasentspannungsanlage 200 dargestellt. Diese Gasentspannungsanlage 200 entspricht in ihrer Funktion etwa der Gasentspannungsanlage 100 aus **Figur 3**, wobei jedoch 3 Stufen von Wirbelrohren hintereinandergeschaltet sind.

[0026] Gas aus einer Quelle Q strömt von der Gashochdruckseite GH über einen Eingang 201 in die Gasentspannungsanlage 200. Nach Passage eines Sperr-/Regelventils 204 strömt das Gas unter hohem Druck, wie zum Beispiel 80 bar in mindestens ein Wirbelrohr 10, 20. Das Wirbelrohr 10, 20 kann dabei die in **Figur 1** und **2** dargestellten Aufbau haben. Um den hohen Durchsatz von $50.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ und noch weit mehr zu erreichen, der in einer solchen Gasentspannungsanlage 200 entspannt werden muss, ist es auch in dieser Gasentspannungsanlage 200 möglich, dass Wirbelrohre je einer Stufe, hier der ersten Stufe, parallel zueinander verschaltet sind. Dabei können zwei Wirbelrohre, aber auch fünf, zehn oder einhundert, gar eintausend Wirbelrohre der ersten Stufe parallel miteinander verschaltet werden. Das Gas der Warmfraktion WF aus dem zweiten Auslass 13, 23 des Wirbelrohres 10, 20 kann in dieser Stufe einen Druck von 67 bar aufweisen.

[0027] Die Kaltfraktion KF aus dem ersten Auslass 12, 22 des mindestens einen ersten Wirbelrohres 10, 20, das eine deutlich geringere Temperatur, dargestellt durch Thermometer T3, hat als das Eingangsgas, das die Temperatur hat, die durch Thermometer T1 dargestellt ist, strömt in den Einlass 11', 21' mindestens eines Wirbelrohres 10', 20' der zweiten Stufe in der Kaskade aus Wirbelrohren. Dieses kältere Gas der Kaltfraktion KF des Wirbelrohres 10, 20 der ersten Stufe wird erneut entspannt, zum Beispiel auf einen Druck von 50 bar.

[0028] Das Gas der zweiten Kaltfraktion KF' aus dem mindestens einen zweiten Wirbelrohr 10', 20' der zweiten Stufe in der Kaskade wird sodann einer dritten Wirbelrohrstufe, nämlich Wirbelrohr 10'', 20'' zugeführt. In diesem Wirbelrohr 10'', 20'' wird der Druck des Gases für eine Niederdruckleitung zum Beispiel auf ca. 3 bar entspannt. Das Gas der dritten Kaltfraktion KF'' aus dem mindestens einen dritten Wirbelrohr 10'', 20'' der dritten Stufe in der Kaskade wird sodann als flüssiges Gas (LNG) angezogen und in einem isolierten Tank gelagert. In dieser Gasentspannungsanlage wird beispielhaft ein Gas mit einem Druck von 87 bar am Eingang 101 auf einen Druck von 67 bar an der Senke S1 der ersten Wirbelrohrstufe, auf einen Druck von 50 bar an der Senke S2 der zweiten Wirbelrohrstufe und auf einen Druck von drei bar an der Senke S3 der dritten Wirbelrohrstufe für drei verschiedene Gasableitungsnetze entspannt.

[0029] In **Figur 5** eine dritte Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage als Gasentspannungsanlage 300 skizziert. Diese Gasentspannungsanlage 300 entspricht in die ersten beiden Stufen der Kaskade der Schaltung aus **Figur 1**, jedoch wird der Ausgang der zweiten Wirbelrohrstufe in eine Kältemaschine KM geleitet, wo das Gas endgültig verflüssigt wird. Die in der Kältemaschine KM anfallende Abwärme wird über einen Wärmetauscher WT, der auch in die Kältemaschine WM integriert sein kann, auf das Gas der zweiten Wirbelrohrstufe übertragen. Diese Anlagenkonfiguration erlaubt es, zum Beispiel einen Druck von 67 in der ersten Wirbelrohrstufe, nämlich an der Senke S1 herzustellen und einen Druck von beispielsweise 50 bar an der Senke S2 der zweiten Wirbelrohrstufe herzustellen. Da die Drucksprünge hier nicht besonders groß sind, ist es möglich, dass die Temperatur der Kaltfraktion KF' der zweiten Wirbelrohrstufe nicht ausreicht, um flüssiges Gas zu erzeugen. In dieser Anlagenkonfiguration wirken die ersten beiden Stufen als Vorkühler für die Kältemaschine KM, wobei das Warmgas der Warmfraktionen WF und WF' in die entsprechenden Gasableitungsnetze abgeleitet wird. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass in dieser Anlagenkonfiguration keine Abwärme an die atmosphärische Luft abgegeben wird, aber auch keine Wärme aus der atmosphärischen Luft entnommen wird. Diese Gasentspannungsanlage arbeitet wie die bereits beschriebenen Gasentspannungsanlagen unabhängig von der atmosphärischen Außentemperatur.

[0030] In **Figur 6** ist schließlich eine vierte Variante der erfindungsgemäßen Gasentspannungsanlage als Gasentspannungsanlage 400 dargestellt. In dieser Gasentspannungsanlage 400 sind zwei voneinander unabhängige und

unterschiedliche technische Merkmale umgesetzt. Die Schaltung der Gasentspannungsanlage 400 in Figur 6 entspricht zunächst der Schaltung der Gasentspannungsanlage 200, dargestellt in Figur 4. Ein erstes technisches Merkmal ist hier, dass die Warmfraktion WF der ersten Wirbelrohrstufe aus dem mindestens einen ersten Wirbelrohr 10, 20 über einen ersten Verdichter VD1 wieder dem Eingang 401 der Gasentspannungsanlage 400 zugeführt wird. Hier ist also ein Verdichter VD2 mit seinem Eingang an den zweiten Ausgang 13, 23 des mindestens einen ersten Wirbelrohres 10, 20 angeschlossen und mit seinem Ausgang mit dem Eingang 401 der Gasentspannungsanlage 101 verbunden. Beim Verdichten wird das Gas erwärmt und wärmt somit den Gaszustrom der Anlage, wodurch auch die Temperaturen der Kaltfraktionen KF, KF', und KF'' der ersten, zweiten und dritten Wirbelrohrstufe beeinflusst werden. Ziel der Gasentspannungsanlage ist es, auf der Gasableitungsseite kein zu kaltes Gas zu erzeugen.

[0031] Ein von dem ersten Verdichter VD1 unabhängig einsetzbares technisches Merkmal ist, dass die Warmfraktion WF der dritten Wirbelrohrstufe aus dem mindestens einen dritten Wirbelrohr 10'', 20'' über einen Verdichter VD2 dem zweiten Ausgang 13', 23' des Wirbelrohres 10', 20' der zweiten Wirbelrohrstufe zugeführt wird. Die vereinten Gase strömen sodann in das als Senke S angeschlossene Gasableitungsnetz, von zum Beispiel 50 bar. Beim Verdichten wird das Gas erwärmt und wärmt somit das abgeleitete Gas der Gasentspannungsanlage. Auch in dieser Gasentspannungsanlage wird keine Wärme an die Atmosphäre abgegeben und auch keine Wärme der Atmosphäre entzogen. Auch diese Gasentspannungsanlage 400 arbeitet unabhängig vom klimatischen Aufstellungsort.

[0032] Anstelle der Kältemaschine ist es auch möglich, einen Verdichter der Warmfraktion der dritten Wirbelrohrstufe nachzuschalten. So kann vorgesehen sein, dass das mindestens eine dritte Wirbelrohr mit seinem zweiten Ausgang für die Warmfraktion über einen Verdichter mit dem zweiten Ausgang des mindestens einen zweiten Wirbelrohres verbunden ist, so dass die zweiten Ausgänge des mindestens einen zweiten Wirbelrohres und des mindestens einen dritten Wirbelrohres mit dem Gasmitteldrucknetz als Senke verbunden sind. Auch durch die Verdichtung wird Wärme in das Gasmitteldrucknetz als Senke geleitet. Der Unterschied des Einsatzes der Kältemaschine als dritte Stufe und des Verdichters zwischen dritter Stufe und dem Ausgang der zweiten Stufe ist die Wärme- und Stoffbilanz. Da die Wirbelrohre einen relativ schmalbandigen Parametersatz aufweisen, innerhalb derer sie arbeiten, kann durch den Einsatz der Kältemaschine mit Ableitung nur der Wärme in den Gasstrom der Gasmitteldruckseite oder durch Zuleitung der verdichteten Warmfraktion der dritten Wirbelrohrstufe die Strömungsbilanz sehr flexibel eingestellt werden. So ist es auch möglich, eine Kältemaschine und einen Verdichter parallel zu schalten, um beliebige Wärme- und Strömungsbilanzen in der Anlage zu erzeugen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Wirbelrohr	27	Kühlrippe
10'	Wirbelrohr		
10''	Wirbelrohr	100	Gasentspannungsanlage
11	Einlass	101	Eingang
11'	Einlass	104	Sperr -/Regelventil
11''	Einlass		
12	Auslass, Kaltfraktion	200	Gasentspannungsanlage
12'	Auslass, Kaltfraktion	204	Sperr -/Regelventil
12''	Auslass, Kaltfraktion		
13	Auslass, Warmfraktion	300	Gasentspannungsanlage
13'	Auslass, Warmfraktion	304	Sperr -/Regelventil
13''	Auslass, Warmfraktion		
		T1	Thermometer
20	Wirbelrohr	T2	Thermometer
21	Einlass,	T2'	Thermometer
22	Auslass, Kaltfraktion	T2''	Thermometer
23	Auslass, Warmfraktion	T3	Thermometer
24	Gehäuse	T3'	Thermometer
25	Strömungseingang	T3''	Thermometer
26	Strömungsausgang		
GH	Gas, Hochdruckseite	S2	Gassenke
GM	Gas, Mitteldruckseite	S3	Gassenke
GN	Gas, Niederdruckseite	TS	Teilstrom
KF	Kaltfraktion	VD1	Verdichter
KF'	Kaltfraktion	VD2	Verdichter

(fortgesetzt)

KF"	Kaltfraktion	W1	Wirbel
KM	Kältemaschine	W2	Wirbel
Q	Gasquelle	WF	Warmfraktion
RW	Rohrwand	WF'	Warmfraktion
S	Gassenke	WF"	Warmfraktion
S1	Gassenke	WT	Wärmetauscher

Patentansprüche

1. Gasentspannungsanlage (100, 200, 300, 400) zur Entspannung und Mengensteuerung von Gas zum Einsatz zwischen

- einer ersten, gastromaufwärts gelegenen Gasquelle (Q), wie ein Gastank, ein Gasmitteldrucknetz oder Gas-hochdrucknetz oder ein Kavernenspeicher und
 - einer zweiten, gastromabwärts gelegenen Gassenke (S), wie ein Verbraucher, ein Gasniederdrucknetz oder eine Gasversorgungsleitung,

aufweisend

- mindestens ein erstes Wirbelrohr (10, 20), das über einen Eingang (101) in Strömungsverbindung mit der ersten, gastromaufwärts gelegenen Gasquelle (Q) steht,
 wobei das Gas aus der Gasquelle (Q) in das mindestens eine erste Wirbelrohr (10, 20) in einen tangentialen Einlass (11, 21) einströmt, und aus zwei Auslässen in Form eines ersten Auslasses (12, 22) für eine erste Kaltfraktion (KF) des Gases und in Form eines zweiten Auslasses (13, 23) für eine zweite Warmfraktion (WF) des Gases ausströmt,

dadurch gekennzeichnet, dass

die aus dem ersten Auslass (12, 22) des mindestens einen Wirbelrohres (10, 20) strömende Kaltfraktion (KF) des Gases in Strömungsverbindung mit einem Einlass (11', 21') mindestens eines zweiten Wirbelrohres (10', 20') steht und aus zwei Auslässen in Form eines ersten Auslasses (12', 22') für eine erste Kaltfraktion (KF') des Gases und in Form eines zweiten Auslasses (13', 23') für eine zweite Warmfraktion (WF') des Gases ausströmt,
 wobei die Warmfraktion (WF') des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') mit der zweiten, gastrom-abwärts gelegenen Gassenke (S, S2) in Strömungsverbindung steht, und
 wobei die Kaltfraktion (KF') des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') mit einem Ausgang für ver-flüssigtes Gas (LNG) in Strömungsverbindung steht.

2. Gasentspannungsanlage nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

zwischen dem mindestens einen zweiten Wirbelrohr (10', 20') und dem Ausgang für verflüssigtes Gas (LNG) min-destens ein drittes Wirbelrohr (10'', 20'') geschaltet ist, wobei
 der zweite Auslass (13, 23) des mindestens einen ersten Wirbelrohres (10, 20) mit einem Gashochdrucknetz als Senke (S1) verbunden ist,
 der zweite Auslass (13', 23') des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') mit einem Gasmitteldrucknetz als Senke (S2) verbunden ist, und wobei
 der zweite Auslass (13, 23) des mindestens einen dritten Wirbelrohres (10'', 20'') mit einem Gasniederdrucknetz als Senke (S3) verbunden ist.

3. Gasentspannungsanlage nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

zwischen dem mindestens einen zweiten Wirbelrohr (10', 20') und dem Ausgang für verflüssigtes Gas (LNG) min-destens eine Kältemaschine (KM) geschaltet ist, wobei
 die Abwärme der Kältemaschine (KM) über einen Wärmetauscher (WT) in den Gasstrom geleitet ist, der als Warm-

fraktion (WF') aus dem zweiten Auslass (13, 23) des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') strömt und mit einem Gasmitteldrucknetz als Senke (S2) verbunden ist.

4. Gasentspannungsanlage nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

das mindestens eine dritte Wirbelrohr (10", 20") mit seinem zweiten Ausgang (13", 23") für die Warmfraktion (WF") über einen Verdichter (VD2) mit dem zweiten Ausgang (13', 13") des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') verbunden ist, so dass die zweiten Ausgänge (13', 13", 23', 23") des mindestens einen zweiten Wirbelrohres (10', 20') und des mindestens einen dritten Wirbelrohres (10", 20") mit dem Gasmitteldrucknetz als Senke (S2) sind.

5. Gasentspannungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

das mindestens eine erste Wirbelrohr (10, 20) mit seinem zweiten Ausgang (13, 23) für die Warmfraktion (WF) über einen Verdichter (VD1) mit dem Eingang (101, 201, 301, 401) der Gasentspannungsanlage (100, 200, 300, 400) in Strömungsverbindung steht.

6. Gasentspannungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

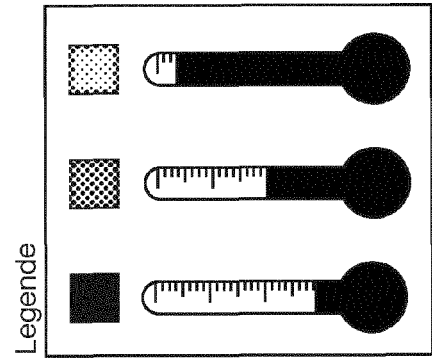
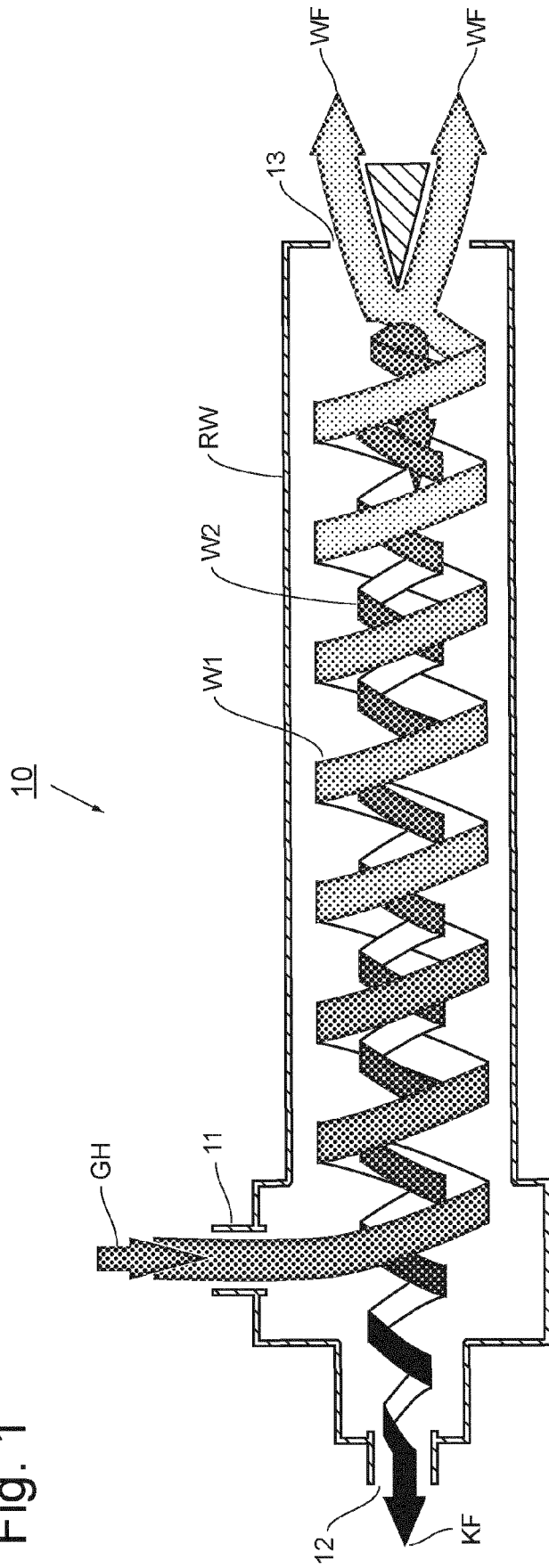
mindestens eines der Wirbelrohre (10, 20, 10', 20', 10", 20") als Batterie von mehr als einem Wirbelrohr geschaltet ist, wobei innerhalb einer Batterie mindestens zwei Wirbelrohre parallel zueinander geschaltet sind.

7. Gasentspannungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Verdichter und eine Kältemaschine parallel zueinander geschaltet sind und Gas und Wärme aus dem zweiten Auslass einer Wirbelrohrstufe, das als Warmfraktion das mindestens eine Wirbelrohr verlässt, von einem geringeren Druckniveau auf ein höheres Druckniveau transportiert.

Fig. 1



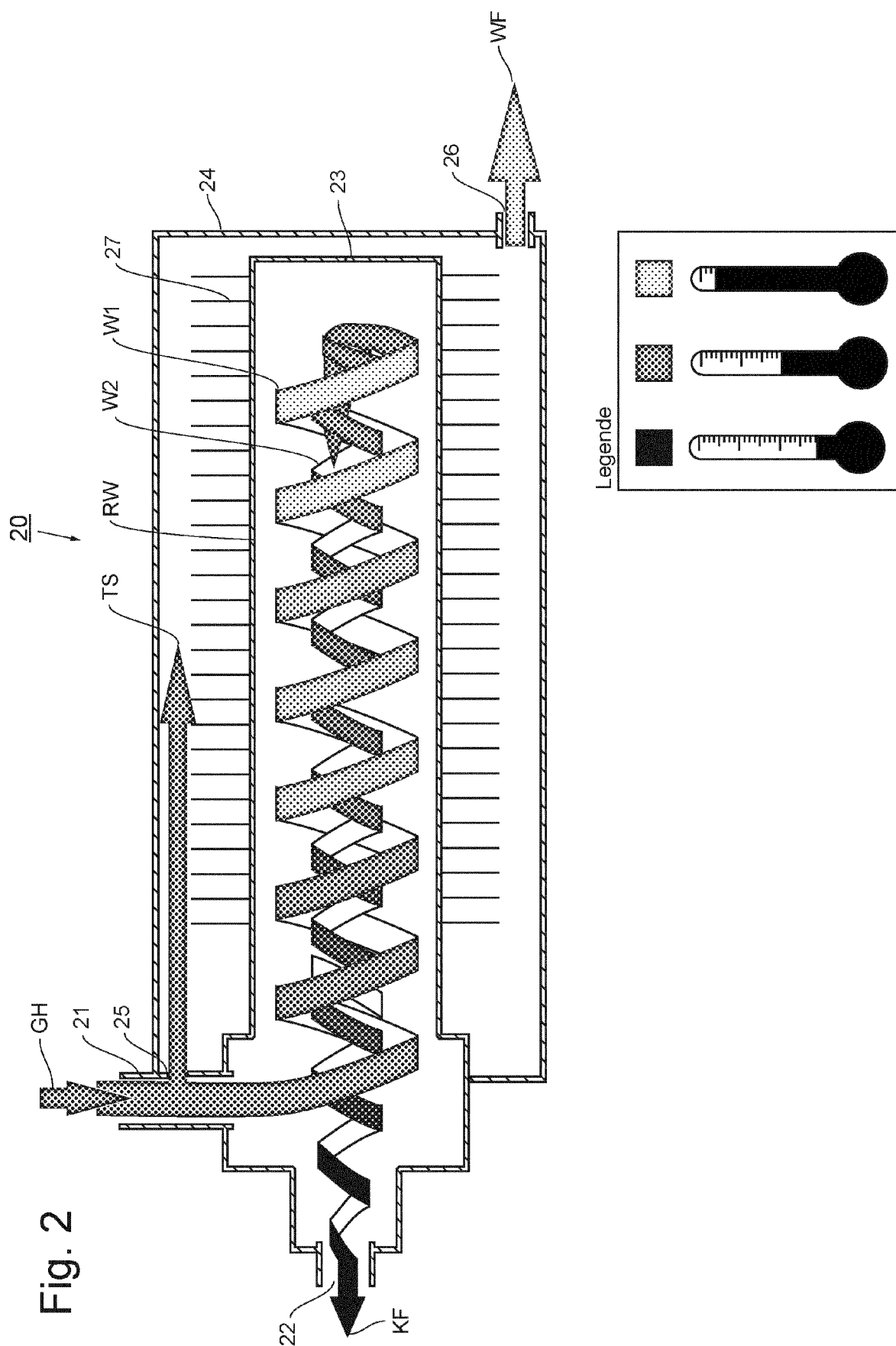


Fig. 3

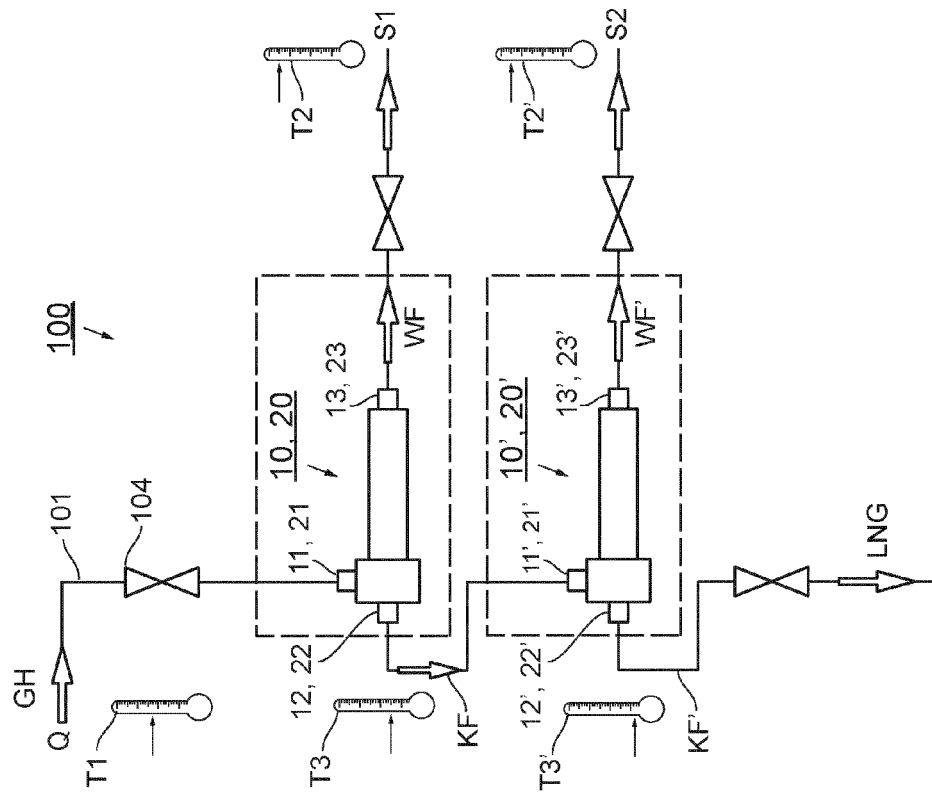


Fig. 4

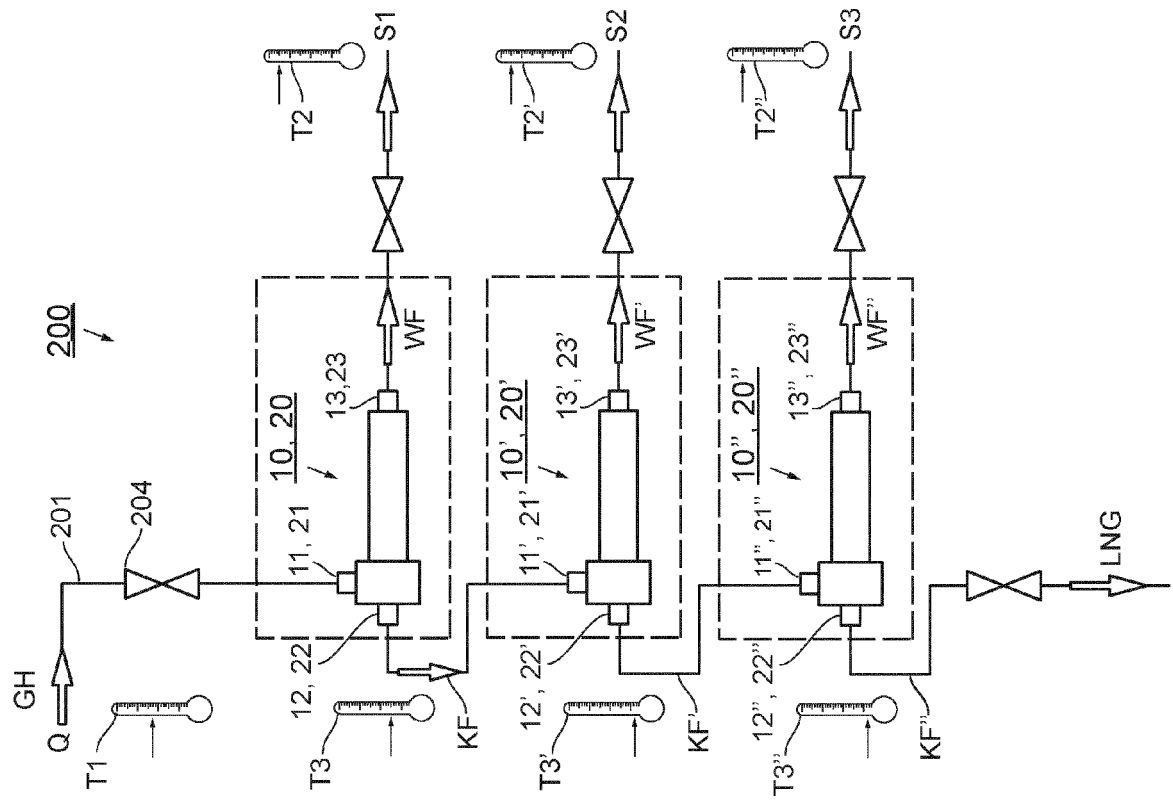


Fig. 5

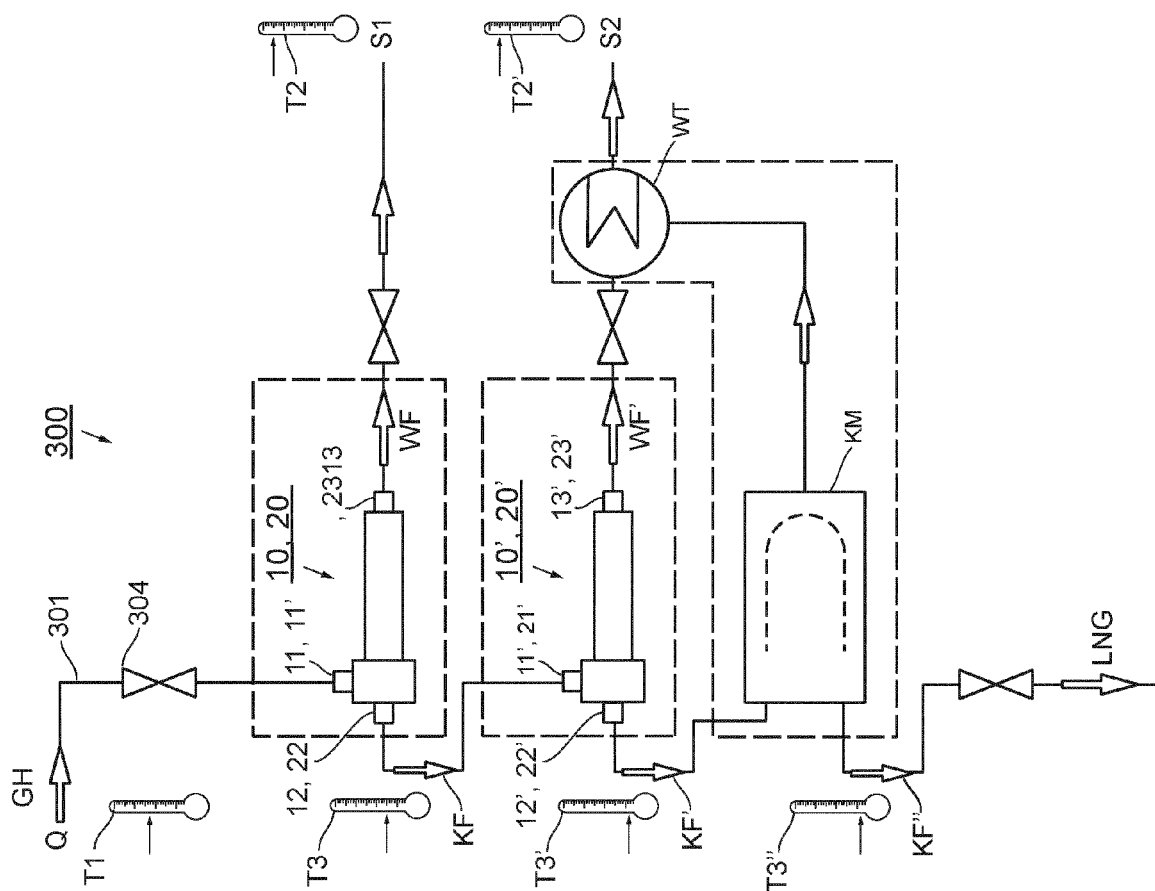
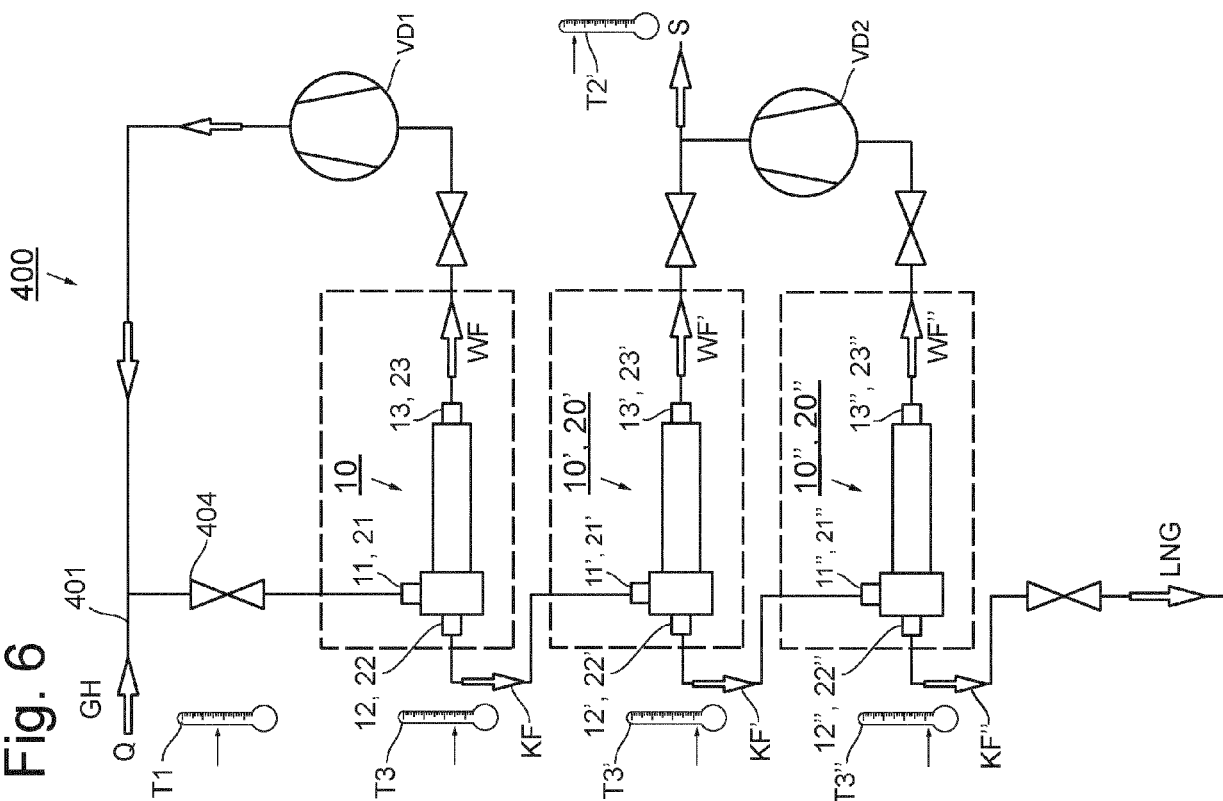


Fig. 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 19 0940

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 2019/090885 A1 (UNIV DALIAN TECH [CN]) 16. Mai 2019 (2019-05-16) * Abbildungen 1,2 *	1-7	INV. F17D1/04 F17D1/075
A	US 2011/056570 A1 (BAYLIFF TODD ALLAN [US] ET AL) 10. März 2011 (2011-03-10) * das ganze Dokument *	1-7	
A	US 2005/045033 A1 (NICOL DONALD V [US] ET AL) 3. März 2005 (2005-03-03) * das ganze Dokument *	1-7	
X	US 3 775 988 A (FEKETE L) 4. Dezember 1973 (1973-12-04) * Spalte 5, Zeile 45 - Spalte 6, Zeile 24; Abbildung 1 *	1-7	
A	GB 1 268 069 A (STRUTHERS SCIENT & INTERNAT CO [US]) 22. März 1972 (1972-03-22) * das ganze Dokument *	1-7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F17D F17C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 1. Februar 2021	Prüfer Forsberg, Peter
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 : mündliche 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 19 0940

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.

01-02-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2019090885 A1	16-05-2019	CN 107940235 A	20-04-2018
		US 2020072418 A1	05-03-2020
		WO 2019090885 A1	16-05-2019
US 2011056570 A1	10-03-2011	AR 078279 A1	26-10-2011
		AR 078341 A1	02-11-2011
		CA 2773479 A1	17-03-2011
		CA 2773536 A1	17-03-2011
		US 2011056570 A1	10-03-2011
		WO 2011031576 A1	17-03-2011
		WO 2011031780 A2	17-03-2011
US 2005045033 A1	03-03-2005	KEINE	
US 3775988 A	04-12-1973	KEINE	
GB 1268069 A	22-03-1972	CA 920503 A	06-02-1973
		GB 1268069 A	22-03-1972
		US 3672179 A	27-06-1972

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

- DD 108146 [0006]