

(19)



(11)

EP 4 339 544 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.03.2024 Patentblatt 2024/12

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F28D 7/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22020448.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F28D 7/022; F28D 7/0083; F28D 20/0034

(22) Anmeldetag: **19.09.2022**

(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

- **Vidic, Karl Jojo**
82049 Pullach (DE)
- **Ackel, Alexander**
82049 Pullach (DE)
- **Stapfer, Daniel**
82049 Pullach (DE)

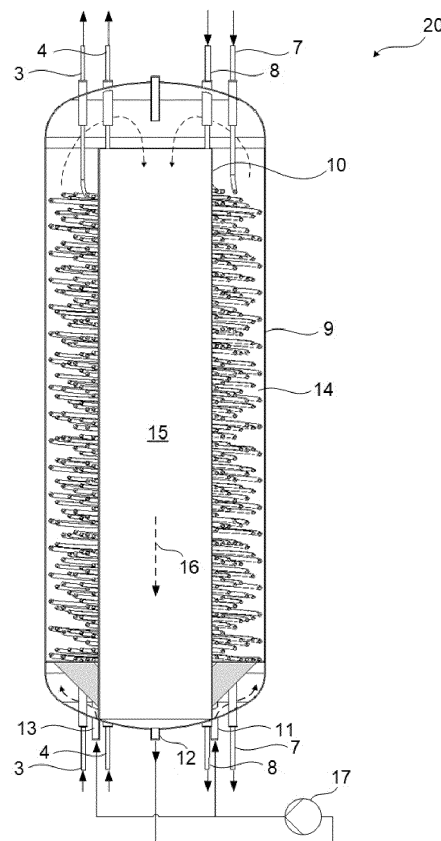
(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

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

(72) Erfinder:
• **Fahrner, Daniel**
82049 Pullach (DE)

(54) WÄRMETAUSCHERVORRICHTUNG UND VERWENDUNG DERSELBEN

(57) Die Erfindung betrifft eine Wärmetauschervorrichtung (20) mit einer Vielzahl von Rohren (1-8), die in mehreren konzentrischen Rohrlagen (21-28) schraubenförmig um ein Kernrohr (10) gewickelt sind, wobei jeweils eine Rohrlage (21-24) eines Rohrs (1-4) einer ersten Gruppe von Rohren in lateraler Richtung neben einer Rohrlage (25-28) eines Rohrs (5-8) einer zweiten Gruppe von Rohren angeordnet ist, und mit einem Mantel (9), der einen Außenraum (14) um die Rohre begrenzt, wobei die Rohre (1-4) der ersten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem ersten Fluidstrom ausgebildet sind, die Rohre (5-8) der zweiten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem zweiten Fluidstrom ausgebildet sind und der Außenraums (14) und das Innere (15) des Kernrohrs (10) zumindest über ein Ende des Kernrohrs (10) miteinander verbunden und zur Durchströmung mit einem dritten Fluidstrom ausgebildet sind, wobei im Betrieb Wärme zwischen den drei Fluidströmen übertragen wird. Die Erfindung eignet sich besonders zur Kühlung von Wasserstoff-Gas.

**Fig. 1**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Wärmetauschervorrichtung sowie auf eine Verwendung der Selbigen, insbesondere auf eine Wärmetauschervorrichtung mit integriertem Kältespeicher, weiter insbesondere auf eine solche Wärmetauschervorrichtung zur Kühlung von Wasserstoff-Gas, insbesondere zur Verwendung an Wasserstoff-Betankungsanlagen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Wärmetauschervorrichtungen sind aus dem Stand der Technik in vielfältigen Ausführungsformen bekannt. Genannt seien beispielhaft Plattenwärmetauscher oder gewinkelte Wärmetauscher. Ihr Einsatz reicht von der chemischen Verfahrenstechnik über die Prozessgasindustrie bis zur Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Sie werden immer dann eingesetzt, wenn mittels Wärmetausch zwischen zwei Fluidströmen ein erster Fluidstrom abgekühlt oder erwärmt und ein zweiter Fluidstrom entsprechend erwärmt oder abgekühlt werden soll. Zu diesem Zweck sind die Fluidströme stofflich voneinander getrennt, befinden sich aber in thermisch leitendem Kontakt.

[0003] Weiterhin nimmt die Bedeutung von Wasserstoff als Energieträger insbesondere zum Antrieb von Fahrzeugen zu Wasser, zu Land und zu Luft stetig an Bedeutung zu. Häufig ist es notwendig, den Wasserstoff vor der Betankung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen vorzukühlen. Im Folgenden sei, ohne Beschränkung der Allgemeinheit, der Hintergrund der Erfindung an diesem Beispiel näher erläutert. Die Betankung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen wird in der Regel über so genannte Betankungsprotokolle insofern geregelt, als dass es zu keiner Überhitzung im Fahrzeugtank kommt. Aufgrund des negativen Joule-Thompson-Effekts kommt es bei einer Entspannung von Wasserstoff etwa an Wasserstofftankstellen zu einer Erwärmung des Gases, wenn dieses vom Hochdruck des jeweiligen Wasserstoffspeichers auf den jeweiligen Fahrzeugstartdruck entspannt wird, wobei zusätzlich Reibungswärme anfällt. Die Betankungsprotokolle sehen vor, das Wasserstoffgas auf bis zu -40°C vorzukühlen, bevor es in den Fahrzeugdruckbehälter überströmt wird. Außerdem wird angestrebt, die Betankungsdauer mit Wasserstoff zu verkürzen, um im Vergleich mit den Betankungsdauern von benzin- oder dieselpetriebenen Fahrzeugen kompetitiv zu bleiben. Daher ist bezüglich der anfallenden Wärmeleistung, welche es tankstellenseitig abzuführen gilt, ein ausreichend leistungsfähiges Vorkühlsystem erforderlich.

[0004] Die lokal stark begrenzten räumlichen Verhältnisse und die begrenzt verfügbare elektrische Anschlussleistung stellen in der Praxis weitere auftretende Einschränkungen an Aufstellungsorten von Wasserstofftankstellen dar. Desweiteren weisen bisherige, am Markt verfügbare Wärmeübertrager oftmals ein erhöhtes Si-

cherheitsrisiko auf, da die Trennung des kühlenden und des zu kühlenden Mediums oft sehr dünnwandig ausgeführt ist, um den Wärmetausch zu erhöhen. Dünnwandige Ausführungen können jedoch zu Diffusion von Wasserstoff durch die dünnen Trennwände in einem Plattenwärmeübertrager in den Kühlkreis oder im Falle einer größeren Leckage zu einem direkten Übertritt von gasförmigem Wasserstoff in den Kühlkreis führen.

[0005] Es besteht daher ein Bedarf an platzsparenden, leistungsfähigen und sicheren Vorrichtungen zur Kühlung bzw. allgemeiner auch zur Erwärmung von Fluidströmen, insbesondere aber zur Kühlung von Wasserstoffgas.

15 Offenbarung der Erfindung

[0006] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Wärmetauschvorrichtung und auf eine Verwendung einer solchen Wärmetauschvorrichtung gemäß den unabhängigen Patentansprüchen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Erfindungsgemäß weist die Wärmetauschervorrichtung eine Vielzahl von Rohren auf, die in mehreren konzentrischen Rohrlagen schraubenförmig um ein Kernrohr gewickelt sind, wobei eine Rohrlage eines Rohrs einer ersten Gruppe von Rohren in radialer bzw. lateraler Richtung neben einer Rohrlage eines Rohrs einer zweiten Gruppe von Rohren angeordnet ist. Mit anderen Worten ist jeweils ein Rohr einer ersten Gruppe von Rohren schraubenförmig um ein Kernrohr gewickelt, wobei jeweils ein Rohr einer zweiten Gruppe von Rohren konzentrisch und benachbart zu dem Rohr der ersten Gruppe ebenfalls schraubenförmig um das Kernrohr gewickelt ist. Es sei darauf hingewiesen, dass der Steigungswinkel benachbarter Rohre unterschiedlich sein kann. In jedem Fall sind die Rohre der ersten und der zweiten Gruppe lateral bzw. in einer Projektion auf eine Querschnittsfläche radial nebeneinander angeordnet und konzentrisch zueinander. Die erfindungsgemäße Wärmetauschervorrichtung weist weiterhin einen Mantel auf, der einen Außenraum um die Rohre begrenzt. Bei der erfindungsgemäßen Wärmetauschervorrichtung sind die Rohre der ersten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem ersten Fluidstrom ausgebildet, die Rohre der zweiten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem zweiten Fluidstrom ausgebildet und der Außenraum und das Innere des Kernrohres sind zumindest über ein offenes (oder zumindest teilweise offenes) Ende des Kernrohres miteinander verbunden und zur Durchströmung mit einem dritten Fluidstrom ausgebildet, wobei im Betrieb Wärme zwischen den drei Fluidströmen übertragen wird. Insbesondere handelt es sich bei den drei Fluidströmen um jeweils unterschiedliche Fluidströme bzw. um Fluidströme verschiedener Zusammensetzung. Ein Fluidstrom kann in flüssiger oder in gasförmiger Phase vorliegen. Auch ein Gemisch von flüssiger und gasförmiger Phase ist möglich.

[0008] In einer Ausführungsform ist der dritte Fluidstrom ein Kälteübertragungsmedium, wobei insbesondere zusätzlich eine Abkühlung des ersten Fluidstroms durch den zweiten Fluidstrom stattfindet. Auf diese Weise kann ein kombiniertes System aus Wärmeübertrager und Kältespeicher mit hoher Leistungsdichte bei hohem volumetrischen Ausnutzungsgrad der Vorrichtung geschaffen werden. Hierzu tragen die spiralförmigen Rohrleitungen und der spezielle Strömungspfad des dritten Fluidstroms, in dem betrachteten Beispiel als Kälteübertragungsmedium ausgestaltet, bei. Insbesondere kann dabei der Mantel der Wärmetauschervorrichtung, der Teil eines Gehäuses sein kann, optimiert dimensioniert werden, um insgesamt eine hohe Spitzenkälteleistung bei geringen Durchschnittskälteleistungen über einen längeren Zeitraum zu realisieren. Dabei wird beispielsweise eine hohe Spitzenkälteleistung während der Betankung mit Wasserstoff erzielt. Nach dem Betankungsvorgang kann der Kältespeicher regenerieren. Es sei nochmals betont, dass anstelle von Wasserstoff andere Medien gekühlt werden können. Weiterhin sei betont, dass gemäß den physikalischen Prinzipien die genannten Vorteile der erfindungsgemäßen Wärmetauschervorrichtung auch für eine Erwärmung eines Fluidstroms gültig bleiben. In diesem Fall kann anstelle des genannten Kältespeichers ein Wärmespeicher durch den dritten Fluidstrom ausgebildet werden. Im letztgenannten Beispiel würde beispielsweise ein erster Fluidstrom durch Wärmetausch mit einem zweiten Fluidstrom erwärmt werden.

[0009] In einer Ausführungsform sind die Rohre der ersten Gruppe von Rohren an einer Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung für den ersten Fluidstrom und/oder an einer Austrittsseite der Wärmetauschervorrichtung für den ersten Fluidstrom nebeneinander angeordnet oder zusammengeführt. Diese Maßnahme erleichtert die Zufuhr von erstem Fluidstrom beziehungsweise die Entnahme von erstem Fluidstrom. Entsprechend können die Rohre der zweiten Gruppe von Rohren an einer Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung für den zweiten Fluidstrom und/oder an einer Austrittsseite der Wärmetauschervorrichtung für den zweiten Fluidstrom nebeneinander angeordnet oder zusammengeführt sein. Im genannten Beispiel der Wasserstoff-Gaskühlung kann beispielsweise Wasserstoff aus einem Hochdrucktank über einen einzigen Einlassstutzen mehreren zusammengeführten Rohren der ersten Gruppe von Rohren an der Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung zugeführt werden. Der gekühlte Wasserstoff kann anschließend den praktischerweise nebeneinander angeordneten Rohren der ersten Gruppe an der Austrittsseite der Wärmetauschervorrichtung entnommen werden. Dabei können auch die Austrittsenden mehrerer oder aller Rohre der ersten Gruppe zusammengeführt beziehungsweise zusammengefasst sein, um größere Mengen gekühlten Wasserstoffs einem Verbraucher zuführen zu können.

[0010] In einer weiteren Ausgestaltung liegen die Eintrittsseite der ersten Gruppe von Rohren in die Wärme-

tauschervorrichtung und die Eintrittsseite der zweiten Gruppe von Rohren in die Wärmetauschervorrichtung jeweils an einem der beiden gegenüberliegenden Enden der Wärmetauschervorrichtung bezogen auf eine Hauptströmungsrichtung, sodass der erste und der zweite Fluidstrom im Gegenstrom durch die Wärmetauschervorrichtung geführt werden. Die genannte Hauptströmungsrichtung verläuft in der Praxis parallel zur Längsrichtung des Kernrohres der Wärmetauschervorrichtung. Geht man von einer auf dem Grund stehenden Wärmetauschervorrichtung mit senkrecht stehendem Kernrohr aus, kann folglich die Eintrittsseite der ersten Gruppe von Rohren an einem unteren Ende der Wärmetauschervorrichtung liegen, während die Eintrittsseite der zweiten Gruppe von Rohren an einem oberen Ende der Wärmetauschervorrichtung liegt. Die den entsprechenden Rohrgruppen zugeführten Fluidströme werden somit im Gegenstrom durch die Wärmetauschervorrichtung geführt.

[0011] In einer Ausführungsform weist die Wärmetauschervorrichtung eine Umwälzpumpe auf, die ausgebildet ist, um den dritten Fluidstrom in eine erste Richtung durch den Außenraum und in eine entgegengesetzte zweite Richtung durch das Innere des Kernrohres zu leiten. Der dritte Fluidstrom wird durch die Umwälzpumpe somit durch den Außenraum an den spiralförmig gewickelten Rohren vorbei und anschließend über ein offenes Ende des Kernrohres in das Innere des Kernrohres geleitet, das es in entgegengesetzter Richtung durchströmt, um anschließend wieder durch den Außenraum geleitet zu werden. Die Umwälzpumpe ist zweckmäßigerweise an einem Ende der Wärmetauschervorrichtung angeordnet, beispielsweise am und/oder außerhalb des Kopf- oder Bodenbereichs der Wärmetauschervorrichtung. Bei dieser Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die Umwälzpumpe ansaugseitig mit einer Abgangsleitung aus dem Inneren des Kernrohrs und druckseitig mit einer Zugangsleitung zu dem Außenraum der Wärmetauschervorrichtung verbunden ist. Es kann dabei zweckmäßig sein, wenn der dritte Fluidstrom im Gegenstrom zu dem zweiten Fluidstrom geführt wird. Im oben genannten Beispiel des zu kühlenden Wasserstoff-Fluidstroms, der beispielsweise den ersten Fluidstrom bildet, würde auf diese Weise der dritte Fluidstrom seinerseits den zweiten Fluidstrom im Gegenstrom kühlen, der wiederum den Wasserstoff-Fluidstrom kühlt.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform bilden die um das Kernrohr gewickelten Rohre eine äußere Umfangsbegrenzung, die im Wesentlichen zylindrische Form aufweist und die von einem zylindrischen Mantel umgeben ist. In diesem Fall ist die radial außengelegene Rohrwicklung von zylindrischer Form und wird von einem zylindrischen Mantel umgeben. Um eine möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeit des dritten Fluidstroms und somit eine hohe Turbulenz in diesem dritten Fluidstrom zu erzielen, ist es zweckmäßig, wenn der laterale Abstand zwischen benachbarten Rohren und/oder der laterale Abstand zwischen radial außengelegener Rohrwicklung und dem Mantel und/oder der laterale Abstand

der radial innengelegenen Rohrwicklung zum Kernrohr jeweils möglichst gering ausgeführt ist. Insbesondere kann bei diesen Geometrien durch ein geringes Spaltmaß ein geringer Druckverlust im dritten Fluidstrom verursacht werden. Gleichzeitig kann die Effektivität des Wärmetauschs durch die hohe Turbulenz des dritten Fluidstroms noch erhöht werden.

[0013] In einer anderen Ausgestaltung bilden die um das Kernrohr gewickelten Rohre eine äußere Umfangsbegrenzung, die im Wesentlichen sphärische, also kugelförmige Form aufweist und die von einem sphärisch geformten Mantel umgeben ist. Hierbei kann das Kernrohr weiterhin zylindrisch ausgeformt sein. Das Kernrohr kann in einer weiteren Ausführungsvariante sphärisch ausgeführt werden, um einen möglichst geringen Abstand zur innersten Rohrwicklung zu erzielen, wodurch sich verbesserte Strömungsprofile im Kälteträgermedium erzielen lassen.

[0014] In einer zweckmäßigen Ausgestaltung ist der Mantel der Wärmetauschervorrichtung isoliert oder Bestandteil einer Isolation der Wärmetauschervorrichtung. Beispielsweise ist der Mantel Bestandteil des Behältnisses, in dem die Wärmetauschervorrichtung untergebracht ist. Die äußere Isolation des Behältnisses kann sowohl als Doppelmantel-Vakuumisolation als auch basierend auf einer Armaflex- oder Aerogel-Isolierung ausgeführt werden. Die Isolation vermeidet in bekannter Weise einen Wärmeeintrag beziehungsweise einen Wärmeartrag durch die bzw. an die Umgebung.

[0015] Wie bereits oben skizziert, ist in einer Ausführungsform die zweite Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem Kältemittel als zweiten Fluidstrom ausgelegt, das im Betrieb dem ersten Fluidstrom Wärme entzieht. Als Kältemittel werden in der Regel Stoffe bezeichnet, die beim Phasenübergang von flüssig zu gasförmig der Umgebung Wärme entziehen. Als Kältemittel kommen bspw. Kohlendioxid, Ammoniak, Kohlenwasserstoffe wie Fluor- oder Fluorchlorkohlenwasserstoffe einzeln oder auch im Gemisch zum Einsatz.

[0016] Wie ebenfalls bereits oben angesprochen, ist der Außenraum und das Innere des Kernrohres zur Durchströmung mit einem Kälteträgermedium als dritten Fluidstrom ausgelegt, das im Betrieb als Kältespeicher wirkt. Als Kälteträgermedium bezeichnet man üblicherweise ein Gemisch aus Wasser und Natriumchlorid oder Wasser und Kaliumformiat ("Sole"), ein Gemisch aus Wasser und Glykol oder ein Monoethylenglykol enthaltendes Gemisch. Solche Gemische weisen einen erniedrigten Gefrierpunkt auf und beinhalten einen Korrosionsschutz. Der durch das Kälteträgermedium entstehende Kältespeicher entzieht sowohl dem ersten als auch dem zweiten Fluidstrom Wärme. Die Umwälzung des Kälteträgermedium ist zweckmäßig, um einen möglichst effizienten Wärmetransfer zwischen dem ersten Fluidstrom und dem zweiten Fluidstrom beziehungsweise dem Kälteträgermedium selbst zu gewährleisten.

[0017] In dem oben bereits behandelten Beispiel ist die erste Gruppe von Rohren zur Durchströmung von

Wasserstoff-Gas als ersten Fluidstrom ausgelegt. In dieser Konfiguration ist die erfindungsgemäße Wärmetauschervorrichtung zur Verwendung zur Kühlung von Wasserstoff-Gas, insbesondere an Wasserstoff-Betankungsanlagen, geeignet. In dieser Ausführungsform bietet die Wärmetauschervorrichtung eine hohe Spitzenkälteleistung während der Betankung mit Wasserstoff bei geringen Durchschnittskälteleistungen über einen längeren Zeitraum. Der Kältespeicher kann sich jeweils nach einem Betankungsvorgang regenerieren, das heißt seinerseits abgekühlt werden. Zu diesem Zweck läuft beispielsweise während der Betankung eine Kältemaschine und in den Pausenzeiten regeneriert die Kältemaschine den Kältespeicher, indem sie "nachläuft", das bedeutet, sie spritzt weiterhin Kältemittel in die Expansionsventile am Kältemittelrohreintritt ein.

[0018] In dieser Verwendung können die Austrittsenden der Rohre der ersten Gruppe von Rohren an ihrer Austrittsseite je nach Wasserstoffbedarf einzeln zur Abgabe von gekühltem Wasserstoff verwendet werden oder aber zu mehreren zusammengefasst zur Abgabe von gekühltem Wasserstoff verwendet werden. Dies hängt in der Praxis von der Größe des mit Wasserstoff zu versorgenden Fahrzeugs ab.

[0019] Im Folgenden sollen die Erfindung und ihre Vorteile anhand von konkreten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Diese Ausführungsbeispiele sollen den Schutzbereich der Erfindung nicht einschränken, sondern dienen lediglich der Erläuterung der Erfindung. Der Schutzbereich der Erfindung ist durch die anhängenden Patentansprüche festgelegt.

[0020] Kurze Beschreibung der Figuren

- Figur 1 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmetauschervorrichtung im Längsschnitt und
- Figur 2 zeigt einen Querschnitt von oben durch den oberen Teil der Wärmetauschervorrichtung aus Figur 1, sodass die Zu- bzw. Ableitungen der einzelnen Rohre erkennbar sind.

Detaillierte Beschreibung

[0021] Die Figuren 1 und 2 werden im Folgenden gemeinsam behandelt. Gleiche Bezugszeichen weisen auf gleiche Elemente hin. Der Längsschnitt der Figur 1 entspricht einem Schnitt entlang der Linie II aus Figur 2. Deshalb sind in Figur 1 nur die Rohrleitungen bzw. Rohre 3, 4 und 7, 8 mit ihren Zu- bzw. Ableitungen zu sehen.

[0022] Wie aus Figur 2 ersichtlich, umfasst die Wärmetauschervorrichtung 20 eine Vielzahl von Rohren 1 bis 8, die in mehreren konzentrischen Rohrlagen 21 bis 28 schraubenförmig um ein Kernrohr 10 gewickelt sind. Wie aus Figur 2 erkennbar, bildet das Rohr 4 die innerste Rohrlage 24, gefolgt von der Rohrlage 28 des Rohres 8, gefolgt von der Rohrlage 23 des Rohres 3, gefolgt von der Rohrlage 27 des Rohres 7, gefolgt von der Rohrlage 22 des Rohres 2, gefolgt von der Rohrlage 26 des Rohres

6, gefolgt von der Rohrlage 21 des Rohres 1, gefolgt von der Rohrlage 25 des Rohres 5. In diesem Ausführungsbeispiel bilden die Rohre 1 bis 4 eine erste Gruppe von Rohren, die Rohre 5 bis 8 eine zweite Gruppe von Rohren. Eine Rohrlage einer ersten Gruppe von Rohren ist somit in radialer Richtung der Figur 2 (oder allgemeiner in lateraler Richtung) neben einer Rohrlage einer zweiten Gruppe von Rohren angeordnet. Mit anderen Worten wechseln sich die Rohrlagen der Rohre der ersten Gruppe mit den Rohrlagen der Rohre der zweiten Gruppe ab. Hierdurch wird ein effektiver Wärmetausch zwischen den entsprechenden Fluidströmen, die durch die Rohre der ersten bzw. zweiten Gruppe strömen, gewährleistet. In Figur 1 sind besagte Rohrlagen 21 bis 28 im Längsschnitt zu sehen. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Rohrlagen in Figur 1 nicht bezeichnet.

[0023] Weiterhin umfasst die Wärmetauschervorrichtung 20 einen Mantel 9, der einen Außenraum 14 um die Rohre 1 bis 8 begrenzt. Aus Figuren 1 und 2 ist weiterhin ersichtlich, dass der Rohrmantel des Kernrohrs 10 möglichst nah an der innersten Rohrlage 24 des Rohres 4 liegt, und dass der Mantel 9 der Wärmetauschervorrichtung 20 möglichst nah an der äußersten Rohrlage 25 des Rohres 5 liegt. Hierzu wird weiter unten noch näher ausgeführt.

[0024] Die Rohre 1 bis 4 der ersten Gruppe von Rohren ist zur Durchströmung mit einem ersten Fluidstrom ausgebildet, wobei es sich bei dem hier behandelten Ausführungsbeispiel um ein Wasserstoff-Gas handelt. Wie bereits mehrfach betont, können auch andere Gase oder auch Flüssigkeiten verwendet werden. Die Rohre 5 bis 8 der zweiten Gruppe von Rohren sind zur Durchströmung mit einem zweiten Fluidstrom ausgebildet, bei dem es sich im vorliegenden Ausführungsbeispiel um ein Kältemittel handelt. Kältemittel können mittels eines Kompressors in die flüssige Phase verdichtet werden. Beim Entspannen in die gasförmige Phase wird der Umgebung Wärme für den Phasenübergang entzogen. Es können auch andere Kühlmedien zum Einsatz kommen. Schließlich sind der Außenraum 14 und das Innere 15 des Kernrohrs 10 an mindestens einem zumindest zum Teil offenen Ende des Kernrohrs 10, in Figur 1 am oberen Ende, miteinander verbunden und, wie durch die gestrichelten Pfeile angedeutet, zur Durchströmung mit einem dritten Fluidstrom ausgebildet, bei dem es sich im vorliegenden Ausführungsbeispiel um ein Kälteübertragungsmedium handelt. Solche Kälteübertragungsmedien werden auch als Sole oder Kühlsole bezeichnet, basieren aber nicht zwangsläufig auf Salzlösungen. Der Begriff bezeichnet auch Produkte, die auf Glykol-Lösungen basieren. Glykol-basierte Kühltölen besitzen Gefrierpunkte bis - 58 Grad Celsius und meist eine deutlich geringere Korrosivität gegenüber Metallen bzw. sind dahingehend mit speziellen Korrosionsschutzmitteln ausgerüstet. Wiederum können prinzipiell auch andere Kältemedien Einsatz finden. Weiterhin sei nochmals betont, dass das vorliegende Ausführungsbeispiel sich auf die Kühlung des ersten Fluidstroms bezieht, aber auch Anwendungen denkbar

sind, bei denen der erste Fluidstrom erwärmt wird. Selbstverständlich sind Ausführungsformen mit weniger oder mehr Rohren denkbar oder mit anders dimensionierten Rohren 1-8, Kernrohren 10 bzw. Mäntel 9.

[0025] Wie aus Figur 1 ersichtlich, sind die Rohre 1 bis 4 der ersten Gruppe von Rohren an einer Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung 20 für den ersten Fluidstrom, die in Figur 1 im unteren linken Teil der Wärmetauschervorrichtung 20 liegt, sowie an der Austrittsseite, der in Figur 1 an der oberen linken Seite der Wärmetauschervorrichtung 20 liegt, jeweils nebeneinander angeordnet. Dies erleichtert sowohl die Zufuhr als auch die Abfuhr des ersten Fluidstroms. Analoges gilt für die Rohre 5 bis 8 der zweiten Gruppe von Rohren, die an der Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung 20 für den zweiten Fluidstrom, hier im oberen rechten Teil der Wärmetauschervorrichtung 20, sowie an der Austrittsseite, in Figur 1 im unteren rechten Teil der Wärmetauschervorrichtung 20 jeweils nebeneinander angeordnet sind. Auch eine Zusammenführung der einzelnen Rohre ist denkbar, um diese gleichzeitig mit einem Fluidstrom zu versorgen bzw. gleichzeitig die entsprechenden Fluidströme zu entnehmen.

[0026] Im dargestellten Ausführungsbeispiel liegt die Eintrittsseite der ersten Gruppe von Rohren 1 bis 4 an einem unteren Ende der Wärmetauschervorrichtung 20 und somit bezogen auf eine Hauptströmungsrichtung durch die Wärmetauschervorrichtung 20, die parallel zur Längsachse des Kernrohrs 10 liegt, gegenüber der Eintrittsseite der zweiten Gruppe von Rohren 5 bis 8, die am oberen Ende der Wärmetauschervorrichtung 20 angeordnet ist. Auf diese Weise können der erste und der zweite Fluidstrom im Gegenstrom durch die Wärmetauschervorrichtung 20 geführt werden. Es ist aber auch möglich, dass die genannten Eintrittsseiten am gleichen Ende der Wärmetauschervorrichtung 20 liegen, sodass die entsprechenden Fluidströme im Gleichstrom durch die Wärmetauschervorrichtung 20 geführt werden. Jeder Fluidstrom besitzt Vektorkomponenten in die genannte Hauptströmungsrichtung, die sich mit ihrer Orientierung nach oben oder nach unten ändern kann, je nachdem in welche Richtung der betreffende Fluidstrom gerichtet ist.

[0027] In der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform wird der dritte Fluidstrom/das Kälteübertragungsmedium mittels einer Umwälzpumpe 17 aus dem Inneren 15 des Kernrohrs 10 in Strömungsrichtung 16 angesaugt und über die Zugangsleitungen 11 und 13 in den Außenraum 14 gepumpt. Dazu ist die Umwälzpumpe 17 ansaugseitig mit einer Abgangsleitung 12 aus dem Inneren 15 des Kernrohrs 10 und druckseitig mit den Zugangsleitungen 11, 13 zu dem Außenraum 14 verbunden. Dort umströmt der dritte Fluidstrom/das Kälteübertragungsmedium die Rohrlagen 21 bis 28, bis es im oberen Teil der Wärmetauschervorrichtung 20 umgelenkt und wieder in das Innere 15 des Kernrohrs 10 eingeleitet wird. Auf diese Weise wird ein ständiger Strom von Kälteübertragungsmedium im Inneren der Wärmetauschervorrichtung 20 aufrechterhalten. Dies resultiert in einem Kältespeicher, durch den sowohl

der erste als auch der zweite Fluidstrom gekühlt werden. Dies führt zu einer hohen Leistungsdichte bei hohem volumetrischen Ausnutzungsgrad. Hierdurch wird es möglich, hohe Peak-Kälteleistungen beispielsweise während eines Betankungsvorgangs mit Wasserstoff-Gas zu realisieren und gleichzeitig geringe Durchschnittskälteleistungen über ein längeres Zeitintervall (Betankungsvorgang und anschließende Erholung des Kältespeichers) zu erzielen.

[0028] In Betrieb der Wärmetauschervorrichtung 20 erfolgt der Wasserstoff-Gaseintritt in den Rohrleitungen 1 bis 4 an der Unterseite (oder an der Oberseite), wobei der Kältemiteleintritt in die Rohrleitungen 5 bis 8 an der Oberseite (oder ebenfalls an der Unterseite) der Wärmetauschervorrichtung 20 erfolgt. Die Rohrleitungen 5 bis 8 können auch als Kühlrohre bezeichnet werden. Die Rohre 1 bis 4 sind so ausgelegt, dass Wasserstoff gemäß gültiger Betankungsprotokolle vorgekühlt werden kann, beispielsweise bis zu 1000 bar, bis zu - 40 Grad Celsius, bis zu 300 g/s. Der Außenraum 14 innerhalb des Mantels 9 ist mit einem Kälteübertragungsmedium gefüllt, beispielsweise ein Glycol-Wassergemisch oder ein Kaliumformiat-Wassergemisch oder eine vergleichbare Lösung. Die Umwälzpumpe 17 fördert das Kälteübertragungsmedium in den Außenraum 14, in dem sich die Spiralrohre bzw. Rohrlagen 21 bis 28 befinden. Das Kälteübertragungsmedium strömt somit die Spiralrohre quer an und wird am höchsten Punkt der Wärmetauschervorrichtung 20 um 180 Grad umgelenkt, sodass es anschließend durch das Kernrohr 10 wieder nach unten fließt und durch den Rohranschluss 12 wieder saugseitig zur Umwälzpumpe 17 geführt wird. Wie bereits ausgeführt, ist die Umwälzung des Kälteübertragungsmediums vorteilhaft, um einen möglichst effizienten Wärmetransfer zwischen dem Kälteübertragungsmedium einerseits und dem Wasserstoff bzw. Kältemittel andererseits zu gewährleisten. Um eine möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeit und somit eine hohe Turbulenz im Kälteübertragungsmedium zu erzielen, sind die jeweiligen lateralen Abstände zwischen den einzelnen Rohrlagen 21 bis 28 und/oder zwischen innerer Rohrlage 24 und Kernrohr 10 und/oder zwischen äußerer Rohrlage 25 und Mantel 9 möglichst gering ausgeführt. Diese geringen Spaltmaße führen überdies zu einem nur geringen Druckverlust.

[0029] Das Material der Kühlrohre 5 bis 8 kann beispielsweise ein Edelstahl ab 12 % Chromgehalt, das Material der Wasserstoff-Gasrohre 1 bis 4 kann beispielsweise HP120 oder HP160 sein. Die Wandstärke der Kühlrohre 5 bis 8 kann geringer ausfallen als die der Wasserstoff-Gasrohre 1 bis 4. Während die Wandstärke der Kühlrohre beispielsweise 1 - 2 mm, beispielsweise 1,5 mm bei einem Außendurchmesser von 16 mm und einem Innendurchmesser von 13 mm, beträgt, beträgt die Wandstärke der Wasserstoff-Gasrohre zweckmäßigerweise das zwei- bis dreifache, beispielsweise 4,05 mm bei einem Außendurchmesser von 19,1 mm und einem Innendurchmesser von 11 mm. Die Durchmesser der Rohrlagen 21 bis 24 betragen zwischen 0,5 und 1,0 m. Selbstverständlich sind andere Abmessungen je nach

Einsatzfall und Kapazität denkbar. Die Anzahl der Windungen der spiralförmig gewickelten Rohre kann beispielsweise von innen nach außen abnehmen; weiterhin kann die Anzahl der Windungen für die Kühlrohre 5 bis 8 jeweils größer sein als die Anzahl der Windungen für die Wasserstoff-Gasrohre 1 bis 4. Entsprechend können die Steigungswinkel im Aufriss variieren. Gleiches gilt für die Rohrlängen der jeweiligen Rohre.

[0030] Im dargestellten Ausführungsbeispiel der Wasserstoff-Gaskühlung beträgt der Inhalt an Kälteübertragungsmedium zwischen 1,5 bis 2,5 oder 1,8 bis 2,2 oder etwa 2 m³, die Höhe des Behältnisses der Wärmetauschervorrichtung 20 beträgt zwischen 2,0 und 2,5 m oder ca. 2,2 bis 2,4 m und der Außendurchmesser kann maximal 1,5 m betragen, was jedoch der äußeren Isolation des Mantels 9 geschuldet ist, die beispielsweise als Doppelmantel-Vakuumisolation oder basierend auf beispielsweise Armaflex oder Aerogel ausgeführt werden kann.

[0031] Das dargestellte Ausführungsbeispiel, insbesondere mit den oben angegebenen Dimensionen, ist geeignet zur Vorkühlung von Wasserstoff-Gas in Wasserstoff-Betankungsanlagen. Weiterhin überall dort, wo mit geringen Durchschnittskälteleistungen hohe Peak-Kälteleistungen übertragen werden müssen. Dies kann auch in der Prozessgasindustrie als auch in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie der Fall sein. Bei der Wasserstoff-Betankung wird gasförmiger Wasserstoff über die Rohre 1 bis 4 bei einer maximalen Temperatur von 100 Grad Celsius an die Wärmetauschervorrichtung 20 angeliefert. An der Austrittsseite der Wärmetauschervorrichtung 20 kann über die betreffenden Rohrleitungen 1 bis 4 gekühltes Wasserstoff-Gas von bis zu - 40 Grad Celsius, bspw. bei etwa - 33°C entnommen werden. Je nach Bedarf können zwei oder mehr Rohrleitungen 1 bis 4 für den Betankungsvorgang zusammengefasst bzw. zusammengelegt werden. Damit wird eine hoch effiziente Betankungskühlung für Wasserstoff betriebene Kraft- und Nutzfahrzeuge unter Einhaltung der Anforderungen hinsichtlich elektrischer Anschlussleistung bei zeitgleich hoch effizienter Ausnutzung eines üblicherweise signifikant begrenzten Platzangebots an Tankstellen gewährleistet. Weiterhin kann das Kälteübertragungsmedium auch für andere Kühlzwecke genutzt werden, wenn weitere Anschlüsse an der Wärmetauschervorrichtung 20 vorgesehen werden und Überschusskälte zur Verfügung steht.

Patentansprüche

1. Wärmetauschervorrichtung (20) mit

einer Vielzahl von Rohren (1-8), die in mehreren konzentrischen Rohrlagen (21-28) schraubenförmig um ein Kernrohr (10) gewickelt sind, wobei jeweils eine Rohrlage (21-24) eines Rohrs (1-4) einer ersten Gruppe von Rohren in lateraler Richtung neben einer Rohrlage (25-28) eines Rohrs (5-8) einer zweiten Gruppe von Rohren

- angeordnet ist,
und mit einem Mantel (9), der einen Außenraum (14) um die Rohre begrenzt, wobei die Rohre (1-4) der ersten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem ersten Fluidstrom ausgebildet sind, die Rohre (5-8) der zweiten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem zweiten Fluidstrom ausgebildet sind und der Außenraums (14) und das Innere (15) des Kernrohrs (10) zumindest über ein Ende des Kernrohres (10) miteinander verbunden und zur Durchströmung mit einem dritten Fluidstrom ausgebildet sind, wobei im Betrieb Wärme zwischen den drei Fluidströmen übertragen wird.
2. Wärmetauschervorrichtung (20) nach Anspruch 1, wobei die Rohre (1-4) der ersten Gruppe von Rohren an einer Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung (20) für den ersten Fluidstrom und/oder an einer Austrittsseite der Wärmetauschervorrichtung (20) für den ersten Fluidstrom nebeneinander angeordnet oder zusammengeführt sind und/oder wobei die Rohre (5-8) der zweiten Gruppe von Rohren an einer Eintrittsseite der Wärmetauschervorrichtung (20) für den zweiten Fluidstrom und/oder an einer Austrittsseite der Wärmetauschervorrichtung (20) für den zweiten Fluidstrom nebeneinander angeordnet oder zusammengeführt sind.
 3. Wärmetauschervorrichtung (20) nach Anspruch 2, wobei die Eintrittsseite der ersten Gruppe von Rohren und die Eintrittsseite der zweiten Gruppe von Rohren jeweils an einem der beiden gegenüberliegenden Enden der Wärmetauschervorrichtung (20) bezogen auf eine Hauptströmungsrichtung liegen, so dass der erste und der zweite Fluidstrom im Gegenstrom durch die Wärmetauschervorrichtung (20) geführt werden.
 4. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Wärmetauschervorrichtung (20) eine Umwälzpumpe (17) aufweist, die ausgebildet ist, um den dritten Fluidstrom in eine erste Richtung durch den Außenraum (14) und in eine entgegengesetzte zweite Richtung (16) durch das Innere (15) des Kernrohrs (10) zu leiten.
 5. Wärmetauschervorrichtung (20) nach Anspruch 4, wobei die Umwälzpumpe (17) ansaugseitig mit einer Abgangsleitung (12) aus dem Inneren (15) des Kernrohrs (10) und druckseitig mit einer Zugangsleitung (11, 13) zu dem Außenraum (14) verbunden ist.
 6. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die um das Kernrohr (10) gewickelten Rohre (1-8) eine äußere Umfangsbegrenzung bilden, die im Wesentlichen zylindrische Form aufweist und die von einem zylindrischen Mantel (9) umgeben ist.
 7. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die um das Kernrohr (10) gewickelten Rohre (1-8) eine äußere Umfangsbegrenzung bilden, die im Wesentlichen sphärische Form aufweist und die von einem sphärisch geformten Mantel (9) umgeben ist.
 8. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Mantel (9) isoliert ist oder Teil einer Isolation der Wärmetauschervorrichtung (20) ist.
 9. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rohre (5-8) der zweiten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit einem Kältemittel als zweiten Fluidstrom ausgelegt ist, das im Betrieb dem ersten Fluidstrom Wärme entzieht.
 10. Wärmetauschervorrichtung (20) nach Anspruch 9, wobei das Kältemittel zumindest eines der nachfolgenden Elemente aufweist: Kohlendioxid, Ammoniak, ein Kohlenwasserstoff, ein Fluorkohlenwasserstoff, ein Fluorchlorkohlenwasserstoff.
 11. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Außenraum (14) und das Innere (15) des Kernrohrs (10) zur Durchströmung mit einem Kälteübertragungsmedium als dritten Fluidstrom ausgelegt ist, das im Betrieb als Kältespeicher wirkt.
 12. Wärmetauschervorrichtung (20) nach Anspruch 11, wobei das Kälteübertragungsmedium ein Gemisch aus Wasser und Natriumchlorid und/oder aus Wasser und Kaliumformiat und/oder aus Wasser und Glycol und/oder Monoethylenglycol umfasst.
 13. Wärmetauschervorrichtung (20) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rohre (1-4) der ersten Gruppe von Rohren zur Durchströmung mit Wasserstoff-Gas als ersten Fluidstrom ausgelegt ist.
 14. Verwendung einer Wärmetauschervorrichtung (20) nach Anspruch 13 zur Kühlung von Wasserstoff-Gas, insbesondere an Wasserstoff-Betankungsanlagen.
 15. Verwendung nach Anspruch 14, wobei die Austrittsenden der Rohre (1-4) der ersten Gruppe von Rohren an ihrer Austrittsseite je nach Wasserstoffbedarf einzeln oder zu mehreren zusammengefasst zur Abgabe von gekühltem Wasserstoff verwendet werden.

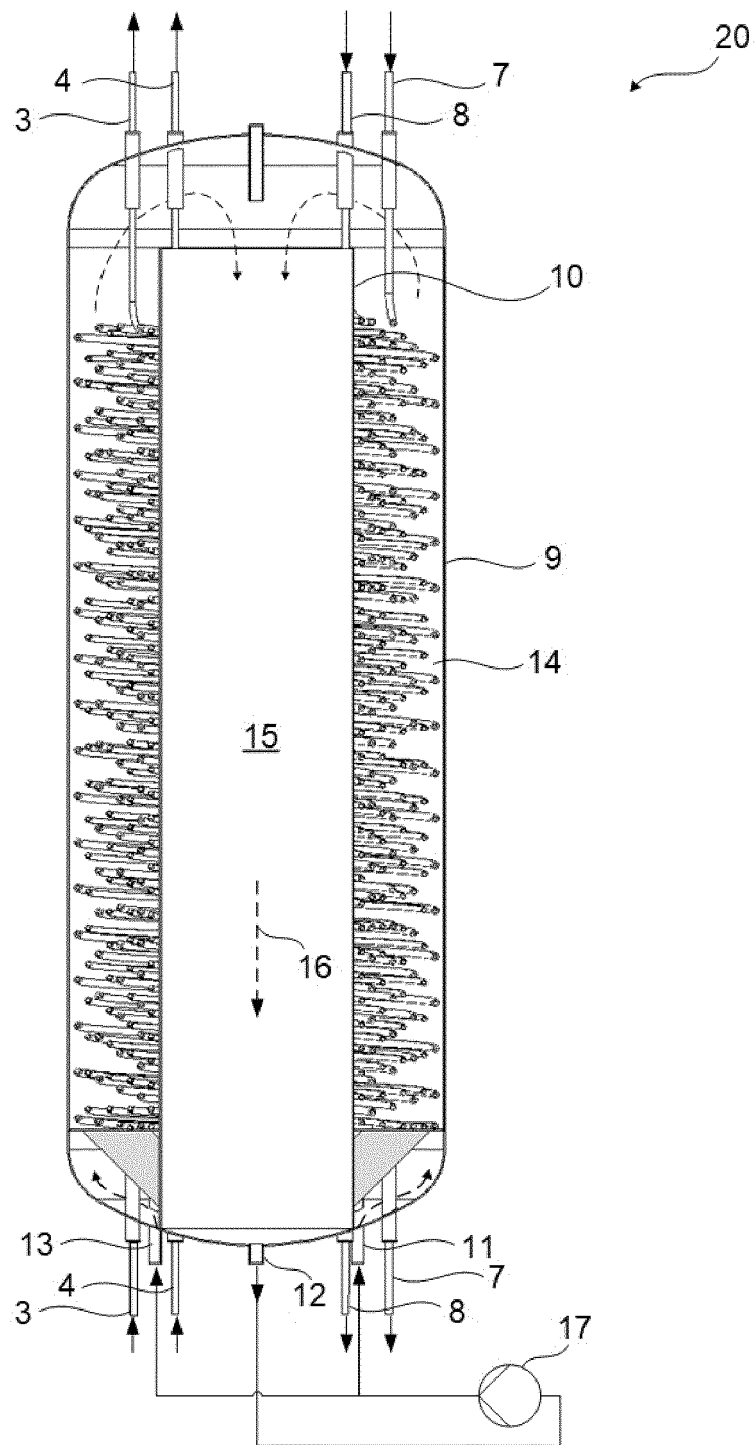


Fig. 1

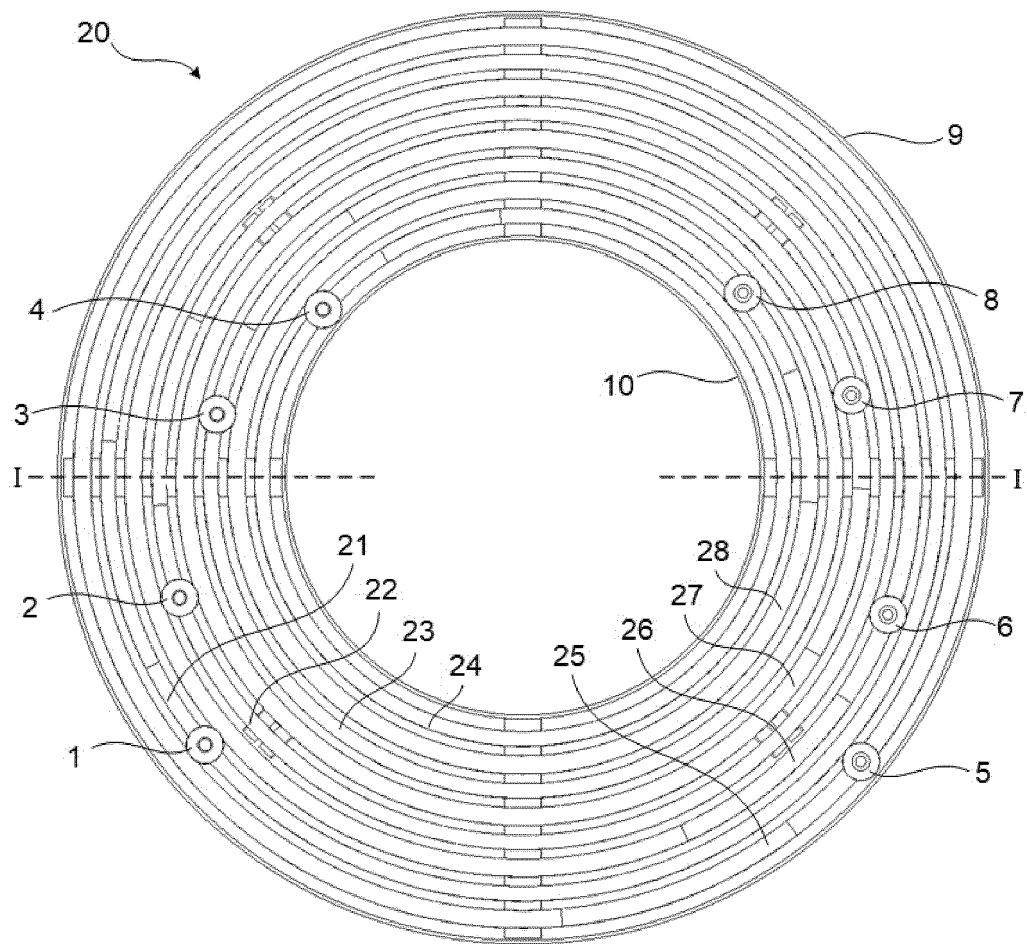


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0448

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	WO 2021/238684 A1 (UNIV CHINA PETROLEUM EAST CHINA [CN]) 2. Dezember 2021 (2021-12-02)	1-3, 6-15	INV. F28D7/00
Y	* Abbildung 1 *	4, 5	
X	DE 31 14 404 A1 (MOTOREN WERKE MANNHEIM AG [DE]) 11. November 1982 (1982-11-11) * Abbildung 3 *	1, 6, 8-13	
Y	US 2008/149317 A1 (BAKER BENJAMIN PAUL [AU]) 26. Juni 2008 (2008-06-26) * Abbildung 2 *	4, 5	
A	US 2021/270535 A1 (SCHÖNBERGER MANFRED [DE] ET AL) 2. September 2021 (2021-09-02) * Abbildung 1 *	1	
A	DE 21 29 585 A1 (LOHSE GEORG) 23. Dezember 1971 (1971-12-23) * Abbildung 11 *	1	
A	CN 111 765 780 A (ZHEJIANG PETROLEUM & CHEMICAL CO LTD) 13. Oktober 2020 (2020-10-13) * Abbildungen 1, 2, 5 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F28D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 21. Februar 2023	Prüfer Vassoille, Bruno
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 0448

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.

21-02-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2021238684 A1	02-12-2021	CN 111595180 A	28-08-2020
		WO 2021238684 A1	02-12-2021

DE 3114404 A1	11-11-1982	KEINE	

US 2008149317 A1	26-06-2008	CA 2604159 A1	12-10-2006
		EP 1872076 A1	02-01-2008
		NZ 562961 A	31-03-2011
		US 2008149317 A1	26-06-2008
		US 2009301695 A1	10-12-2009
		WO 2006105605 A1	12-10-2006

US 2021270535 A1	02-09-2021	US 2021270535 A1	02-09-2021
		WO 2020007502 A1	09-01-2020

DE 2129585 A1	23-12-1971	KEINE	

CN 111765780 A	13-10-2020	KEINE	

EPO FORM P0461

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