



(11)

EP 3 594 596 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.01.2020 Patentblatt 2020/03

(51) Int Cl.:
F25J 3/04 (2006.01) **F25J 1/00** (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01) **F25J 5/00** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18020329.1**

(22) Anmeldetag: **13.07.2018**

(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:
• **Hölzl, Reinhold**
82538 Geretsried (DE)
• **Freko, Pascal**
82547 Eurasburg (DE)
• **Woitalka, Alexander**
81369 München (DE)
• **Haider, Patrick**
84405 Dorfen (DE)

(71) Anmelder:
• **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)
• **Technische Universität München**
80333 München (DE)

(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde AG
Technology & Innovation
Corporate Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES WÄRMEÜBERTRAGERS, ANORDNUNG MIT INEM WÄRMEÜBERTRAGER UND LUFTBEARBEITUNGSANLAGE MIT EINER ENTSPRECHENDEN ANORDNUNG**

(57) Die Erfindung schlägt ein Verfahren zum Betreiben eines Wärmeübertragers (100), der eine Wärmeaustauschzone (10) aufweist, die sich zwischen einem ersten Ende (11) und einem zweiten Ende (12) erstreckt, vor, wobei in einem ersten Betriebsmodus Fluide auf unterschiedlichen Temperaturniveaus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden, wodurch das erste Ende (11) der Wärmeaustauschzone (10) auf ein erstes Temperaturniveau gebracht wird und das zweite Ende (12) der Wärmeaustauschzone (10) auf ein zweites Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt, gebracht wird, wobei in einem zweiten Betriebsmodus das Durchleiten der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (2) geleitet werden, zumindest teilweise unterbunden wird, wodurch ein Temperaturübergang von dem ersten Ende (11) zu dem zweiten Ende (12) der Wärmeaustauschzone (10) bewirkt wird, und wobei in dem Verfahren mehrfach von dem ersten Betriebsmodus in den zweiten Betriebsmodus und von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umgeschaltet wird. Es ist vorgesehen, dass das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umfasst, die Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaus-

tauschzone (10) geleitet werden, bis zu einem Erhöhungszeitpunkt zunächst in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit ist, durch die erste Wärmeaustauschzone (10) zu leiten und erst ab dem Erhöhungszeitpunkt in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die erste Wärmeaustauschzone (10) zu leiten. Eine entsprechende Anordnung, die insbesondere als Luftbearbeitungsanlage ausgebildet ist, ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

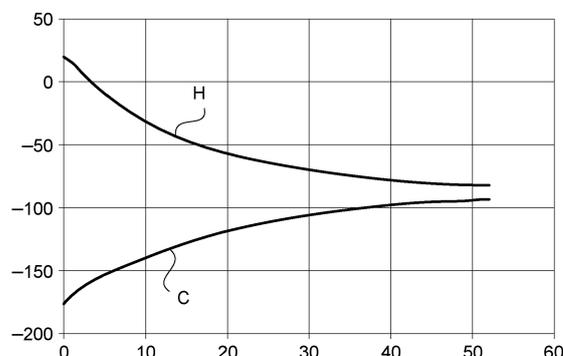


Fig. 1

EP 3 594 596 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Wärmeübertragers und eine Anordnung mit einem entsprechend betreibbaren Wärmeübertrager gemäß den Oberbegriffen der jeweiligen unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] In einer Vielzahl von Anwendungsgebieten werden Wärmeübertrager mit tiefkalten Fluiden, d.h. Fluiden mit Temperaturen von deutlich unter 0° C, insbesondere deutlich unter -100° C, betrieben. Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung überwiegend unter Bezugnahme auf die Hauptwärmeübertrager (auch als "Hauptwärmetauscher" oder "Hauptwärmeaustauscher" bezeichnet) von Luftzerlegungsanlagen beschrieben, sie eignet sich jedoch grundsätzlich auch zum Einsatz in anderen Anwendungsgebieten, beispielsweise für Anlagen zum Speichern und Rückgewinnen von Energie unter Verwendung von Flüssigluft oder die Erdgasverflüssigung.

[0003] Die vorliegende Erfindung eignet sich aus den nachfolgend erläuterten Gründen auch in besonderer Weise in Anlagen zur Verflüssigung gasförmiger Luftprodukte, beispielsweise von gasförmigem Stickstoff. Entsprechende Anlagen können insbesondere von Luftzerlegungsanlagen mit gasförmigem Stickstoff versorgt werden und diesen verflüssigen. Der Verflüssigung ist dabei nicht, wie in einer Luftzerlegungsanlage, eine Rektifikation nachgeschaltet. Daher können diese Anlagen bei Überwindung der nachfolgend erläuterten Probleme beispielsweise dann, wenn kein Bedarf an entsprechenden Verflüssigungsprodukten besteht, vollständig abgeschaltet und bis zur nächsten Verwendung im Standby gehalten werden.

[0004] Zum Aufbau und Betrieb von Hauptwärmeübertragern von Luftzerlegungsanlagen und anderer Wärmeübertrager sei auf einschlägige Fachliteratur, beispielsweise H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH, 2006, insbesondere Abschnitt 2.2.5.6, "Apparatus" verwiesen. Details zu Wärmeübertragern allgemein sind beispielsweise der Veröffentlichung "The Standards of the Brazed Aluminium Plate-Fin Heat Exchanger Manufacturers' Association", 2. Auflage, 2000, insbesondere Abschnitt 1.2.1, "Components of an Exchanger" zu entnehmen.

[0005] Ohne zusätzliche Maßnahmen erwärmen sich Wärmeübertrager von Luftzerlegungsanlagen und andere mit warmen und tiefkalten Medien durchströmte Wärmeübertrager beim Stillstand der zugehörigen Anlage und damit der Außerbetriebnahme des Wärmeübertragers, bzw. das sich in einem entsprechenden Wärmeübertrager ausbildende Temperaturprofil kann in einem solchen Fall nicht gehalten werden. Wird anschließend beispielsweise bei der Wiederinbetriebnahme in einen erwärmten oder wie unten erläutert temperaturoausgeglichene Wärmeübertrager Fluid eingespeist, das einen

großen Temperaturunterschied zur örtlichen Metalltemperatur aufweist, werden hierdurch aufgrund der thermischen Expansion bzw. Kontraktion des Metalls hohe thermische Spannungen hervorgerufen, die zur Schädigung des Wärmeübertragers führen können oder einen überproportional hohen Material- bzw. Fertigungsaufwand erfordern. Dies gilt sowohl dann, wenn warmes Fluid auf kälteres Metall trifft, als auch dann, wenn kaltes Fluid auf wärmeres Metall trifft.

[0006] Insbesondere kommt es bei einer Außerbetriebnahme eines Wärmeübertragers bevor dieser sich insgesamt erwärmt aufgrund der guten Wärmeleitung (Wärmelängsleitung) in dessen metallischem Material zu einem Angleich der Temperaturen am zuvor warmen Ende und am zuvor kalten Ende. Mit anderen Worten wird das zuvor warme Ende des Wärmeübertragers über die Zeit kälter und das zuvor kalte Ende des Wärmeübertragers wärmer, bis die genannten Temperaturen bei oder nahe bei einer Durchschnittstemperatur liegen. Dies ist auch in der beigefügten Figur 1 nochmals veranschaulicht. Die Temperaturen, die hier zum Zeitpunkt der Außerbetriebnahme bei ca. -175° C bzw. +20° C lagen, gleichen sich dabei über mehrere Stunden aneinander an und erreichen nahezu eine mittlere Temperatur.

[0007] Dieses Verhalten wird insbesondere dann beobachtet, wenn beim Abschalten einer Luftzerlegungsanlage der Hauptwärmeübertrager, der kälteisoliert untergebracht ist, zusammen mit der Rektifikationseinheit eingeblockt wird, d.h. wenn von außen kein Gas mehr zugeführt wird. In einem solchen Fall wird typischerweise lediglich Gas, das durch thermische Isolationsverluste anfällt, kalt abgeblasen. Entsprechendes gilt auch, wenn eine Anlage zur Verflüssigung eines gasförmigen Luftprodukts, beispielsweise von Flüssigstickstoff, abgeschaltet wird.

[0008] Bei einer ggf. anschließend erfolgenden Einspeisung von warmem Fluid am abgekühlten warmen Ende des Wärmeübertragers bei seiner Wiederinbetriebnahme erhöht sich dort schlagartig die Temperatur. Entsprechend verringert sich die Temperatur am erwärmten kalten Ende bei der Wiederinbetriebnahme, falls dort entsprechendes kaltes Fluid eingespeist wird, schlagartig. Dies führt zu den bereits erwähnten Materialspannungen und damit ggf. zu Schäden.

[0009] Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, Maßnahmen anzugeben, die eine Wiederinbetriebnahme eines entsprechenden Wärmeübertragers nach längerer Außerbetriebnahme ohne die erwähnten nachteiligen Effekte ermöglichen.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Wärmeübertragers und eine Anordnung mit einem entsprechend betreibbaren Wärmeübertrager, die insbesondere als eine Luftbearbeitungsanlage, Anlage zur Speicherung und Rückgewinnung von elektrischer Energie oder Anlage

zur Verflüssigung eines Luftprodukts ausgebildet sein kann, mit den Merkmalen der jeweiligen unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0011] Zunächst werden nachfolgend einige zur Beschreibung der vorliegenden Erfindung verwendete Begriffe erläutert und definiert.

[0012] Ein "Wärmeübertrager" ist im hier verwendeten Sprachgebrauch ein Apparat, der zur indirekten Übertragung von Wärme zwischen zumindest zwei z.B. im Gegenstrom zueinander geführten Fluidströmen ausgebildet ist. Ein Wärmeübertrager zum Einsatz im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmeübertragerabschnitten gebildet sein, z.B. aus einem oder mehreren Plattenwärmeübertragerblöcken. Ein Wärmeübertrager weist "Passagen" auf, die zur Fluidführung eingerichtet und von anderen Passagen fluidisch getrennt bzw. nur über die jeweiligen Header ein- und ausgangsseitig verbunden sind. Diese werden nachfolgend als "Wärmeübertragerpassagen" bezeichnet. Häufig werden in der Fachwelt die Begriffe "Wärmeübertrager" und "Wärme(aus)taucher" synonym verwendet. Dies gilt auch hier.

[0013] Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere die gemäß der deutschen Fassung der ISO 15547-2:2005 als Rippen-Platten-Wärmeaustauscher (engl. Plate-Fin Heat Exchangers) bezeichneten Apparate. Ist nachfolgend von einem "Wärmeübertrager" die Rede, sei daher hierunter insbesondere ein Rippen-Platten-Wärmeaustauscher verstanden. Ein Rippen-Platten-Wärmeaustauscher weist eine Vielzahl übereinanderliegender flacher Kammern bzw. langgestreckter Kanäle auf, die jeweils durch gewellte oder anderweitig strukturierte und miteinander verbundene, beispielsweise verlötete Platten, i.d.R. aus Aluminium, voneinander getrennt sind. Die Platten werden mittels Seitenstäben (engl. Side Bars) stabilisiert und über diese miteinander verbunden. Die Strukturierung der Wärmeübertragerplatten dient insbesondere dazu, die Wärmeaustauschfläche zu vergrößern, aber auch dazu, die Stabilität des Wärmeübertragers zu erhöhen. Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf gelötete Rippen-Platten-Wärmeaustauscher aus Aluminium.

Wie erwähnt, kann die vorliegende Erfindung in Luftzerlegungsanlagen bekannter Art, aber auch beispielsweise in Anlagen zum Speichern und Rückgewinnen von Energie unter Verwendung von Flüssiglufte und in Anlagen zur Verflüssigung von gasförmigen Luftprodukten zum Einsatz kommen. Die Speicherung und Rückgewinnung von Energie unter Verwendung von Flüssiglufte wird im Englischen auch als Liquid Air Energy Storage (LAES) bezeichnet. Eine entsprechende Anlage ist beispielsweise in der EP 3 032 203 A1 offenbart.

[0014] Zu Zeiten hohen Stromangebots wird in LAES-Anlagen in einem ersten Betriebsmodus Luft unter entsprechendem Stromverbrauch verdichtet, abgekühlt,

verflüssigt und in einem isolierten Tanksystem gespeichert. Zu Zeiten geringen Stromangebots wird in einem zweiten Betriebsmodus die in dem Tanksystem gespeicherte verflüssigte Luft, insbesondere nach einer Druckerhöhung mittels einer Pumpe, angewärmt und damit in den gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt. Ein hierdurch erhaltener Druckstrom wird in einer Entspannungsturbine entspannt, die mit einem Generator gekoppelt ist. Die in dem Generator gewonnene elektrische Energie wird beispielsweise in ein elektrisches Netz zurückgespeist.

[0015] Eine entsprechende Speicherung und Rückgewinnung von Energie ist grundsätzlich nicht nur unter Verwendung von Flüssiglufte möglich. Vielmehr können in dem ersten Betriebsmodus auch andere unter Verwendung von Luft gebildete tiefkalte Flüssigkeiten gespeichert und in dem zweiten Betriebsmodus zur Gewinnung von elektrischer Energie verwendet werden. Beispiele für entsprechende tiefkalte Flüssigkeiten sind flüssiger Stickstoff oder flüssiger Sauerstoff bzw. Komponentengemische, die überwiegend aus flüssigem Stickstoff oder flüssigem Sauerstoff bestehen. In entsprechenden Anlagen können auch externe Wärme und Brennstoff eingekoppelt werden, um die Effizienz und die Ausgangsleistung zu steigern, insbesondere unter Verwendung einer Gasturbine, deren Abgas zusammen mit dem im zweiten Betriebsmodus aus dem Luftprodukt gebildeten Druckstrom entspannt wird. Auch für derartige Anlagen eignet sich die Erfindung.

[0016] Zur Bereitstellung entsprechender tiefkalter Flüssigkeiten können klassische Luftzerlegungsanlagen dienen. Wenn Flüssiglufte verwendet wird, ist es auch möglich, reine Luftverflüssigungsanlagen einzusetzen. Als Oberbegriff für Luftzerlegungsanlagen und Luftverflüssigungsanlagen wird daher nachfolgend auch der Begriff "Luftbearbeitungsanlagen" verwendet.

Vorteile der Erfindung

[0017] Grundsätzlich kann ein Wärmeübertrager während eines Stillstands der zugehörigen Anlage mit kaltem Gas aus einem Tank oder Abgas aus der stehenden Anlage durchströmt werden, um eine Erwärmung zu vermeiden bzw. das ausgebildete Temperaturprofil zu halten. Ein derartiger Betrieb ist jedoch in herkömmlichen Verfahren ggf. nur aufwendig zu realisieren.

[0018] Insbesondere bei geringen Mengen entsprechender kalter Gase bzw. geringen Strömungsgeschwindigkeiten im Wärmeübertrager kann eine Fehlverteilung innerhalb eines Wärmeübertragerblocks und insbesondere über mehrere Wärmeübertragerblöcke hinweg nicht ausgeschlossen werden. Grundsätzlich ist es jedoch wünschenswert, die eingesetzten Gasmengen gering zu halten, um beispielsweise Produktverluste bzw. grundsätzlich den Verbrauch von entsprechenden tiefkalten Medien zu vermeiden. Ferner sind zur Umsetzung entsprechender Maßnahmen stets gewisse Mengen an Fluiden erforderlich, die zur Temperierung eines entspre-

chenden Wärmeübertragers zusätzlich verbraucht werden.

[0019] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Verfahren zum Betreiben eines Wärmeübertragers, der eine Wärmeaustauschzone aufweist, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt, vor, wobei in einem ersten Betriebsmodus Fluide auf unterschiedlichen Temperaturniveaus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone geleitet werden, wodurch das erste Ende der Wärmeaustauschzone auf ein erstes Temperaturniveau gebracht wird und das zweite Ende der Wärmeaustauschzone auf ein zweites Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt, gebracht wird. Ein derartiger erster Betriebsmodus entspricht einem üblichen Betrieb des Wärmeübertragers, der zur Temperierung entsprechender Fluide, die in Form eines oder mehrerer gleicher oder unterschiedlicher Fluidströme bereitgestellt werden können, verwendet wird. Wie insoweit üblich, wird dabei zumindest ein abzukühlendes erstes Fluid von dem ersten zu dem zweiten Ende und zumindest ein zu erwärmendes zweites Fluid von dem zweiten zu dem ersten Ende durch die Wärmeaustauschzone geführt. Entsprechende Temperaturniveaus können insbesondere zumindest teilweise in einem tiefkalten Bereich liegen. So kann das erste Temperaturniveau insbesondere bei 0 bis 100 °C, beispielsweise bei ca. 20 °C und das zweite Temperaturniveau insbesondere bei -100 bis -200 °C, beispielsweise bei ca. -175 °C liegen.

[0020] Im Rahmen des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens wird in einem zweiten Betriebsmodus das Durchleiten der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone geleitet werden, zumindest teilweise unterbunden. Ein entsprechender Wärmeübertrager kann dabei auch insbesondere vollständig "eingeblockt" werden, d.h. es wird keine Fluiddurchströmung mehr vorgenommen und allenfalls vorhandenes, verdampfendes Fluid wird abgeführt. Ein entsprechender Wärmeübertrager kann dabei insbesondere zusammen mit weiteren Apparaten in einer sogenannten Coldbox angeordnet sein. Eine entsprechende Außerbetriebnahme kann insbesondere bei einer Anlage zur Verflüssigung eines gasförmigen Luftprodukts, beispielsweise von gasförmigem Stickstoff, vorteilhaft sein, da diese nicht wie eine Luftzerlegungsanlage an ein Rektifikationssäulensystem angebunden ist.

[0021] Durch das zumindest teilweise Unterbinden des Durchleitens der Fluide wird ein Temperaturübergang von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende der Wärmeaustauschzone bzw. ein zunehmender Temperaturengleich, wie er bereits mehrfach zuvor erläutert wurde, bewirkt. Zu weiteren Details wird auf Figur 1 und die zugehörigen Erläuterungen weiter unten verwiesen.

[0022] In dem Verfahren wird mehrfach von dem ersten Betriebsmodus in den zweiten Betriebsmodus und von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umgeschaltet. Entsprechende Umschaltvorgän-

ge können grundsätzlich bei unterschiedlichen Anlagen erfolgen, sie sind jedoch insbesondere bei Anlagen von Bedeutung, in denen routinemäßig eine alternierende Betriebsweise erfolgt, beispielsweise Anlagen zur Speicherung und Rückgewinnung von elektrischer Energie unter Einsatz von Flüssigluft oder anderen flüssigen Luftprodukten. Insbesondere in derartigen Anlagen ist die vorliegende Erfindung von besonderem Vorteil. Grundsätzlich kann die vorliegende Erfindung in beliebigen Anlagen zum Einsatz kommen, in denen ein Wärmeübertrager entsprechend betrieben werden kann. Es kann sich beispielsweise um Anlagen zur Erdgasverflüssigung und Trennung von Erdgas, die erwähnten LAES-Anlagen, Anlagen zur Luftzerlegung, Verflüssigungskreisläufe aller Art (insbesondere für Luft und Stickstoff) mit und ohne Luftzerlegung, Ethylenanlagen (also insbesondere Trennanlagen, die zur Bearbeitung von Gasgemischen aus Steamcrackern eingerichtet sind), Anlagen, in denen Kühlkreisläufe, beispielsweise mit Ethan oder Ethylen auf unterschiedlichen Druckniveaus zum Einsatz kommen, und Anlagen, in denen Kohlenmonoxid- und/oder Kohlendioxidkreisläufe vorgesehen sind, handeln.

[0023] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umfasst, die Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone geleitet werden, bis zu einem Erhöhungszeitpunkt zunächst in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit ist, durch die Wärmeaustauschzone zu leiten und erst ab dem Erhöhungszeitpunkt in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die erste Wärmeaustauschzone zu leiten. Es versteht sich dabei, dass das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus auch in Form eines graduellen bzw. rampenförmigen Übergangs erfolgen kann. Auch in einem derartigen Fall ist die zweite Menge pro Zeiteinheit (bei der rampenförmigen Erhöhung) geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit (nach der Erhöhung). Es können auch Rampen mit unterschiedlichen Anstiegen Verläufe mit Rampen und Plateaus und dergleichen verwendet werden. Entsprechendes gilt auch für eine rampenförmige Erhöhung nach dem Erhöhungszeitpunkt.

[0024] Die vorliegende Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, dass die thermisch induzierten Spannungen beim Wiederanfahren eines Wärmeübertragers, insbesondere eines Rippen-Platten-Wärmeübertragers aus einem temperaturnausgeglichenen Zustand, wie er insbesondere nach längerer Phasen eines erläuterten zweiten Betriebsmodus vorliegen können, stark von der Geschwindigkeit des Wiederanfahrens abhängen kann. Während hohe Massenströme zu großen thermischen Spannungen führen können, kann der Thermostress bei geringen Anfahrsgeschwindigkeiten mit hinreichend kleinen Massenströmen erheblich reduziert werden. Weiteres ist insbesondere unter Bezugnahme auf Figur 3 unten veranschaulicht.

[0025] Da kalte und warme Ströme meistens im Ge-

genstrom zueinander in einen entsprechenden Wärmeübertrager geleitet werden, wird das Temperaturprofil beim Anfahren des Apparats von den beiden Enden ausgehend mit fortschreitender Zeit bis hin zum Inneren des Wärmeübertragers bzw. seiner Wärmeaustauschzone eingestellt. Hat der Wärmeübertrager in sensiblen Bereichen, die sich typischerweise in den terminalen Bereichen einer entsprechenden Wärmeaustauschzone befinden, beispielsweise in einem sensitiven Bereich von Modulverbindungen, bereits die größten während des Übergangs zum Normalbetrieb auftretenden Temperaturänderungen erfahren, treten hier im weiteren Verlauf nur noch reduzierte Gradienten und damit reduzierte thermische Spannungen auf. Die vorliegende Erfindung schlägt daher mit den oben erwähnten Maßnahmen vor, zunächst Fluide mit einer geringeren Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone zu führen und erst daran anschließend, nämlich dann, wenn die Temperaturveränderung in entsprechenden sensiblen Bereichen bereits hinreichend erfolgt ist, die Menge zu erhöhen bzw. eine maximale Menge einzustellen.

[0026] Die vorliegende Erfindung ermöglicht insbesondere eine signifikante Lebensdaueroptimierung bzw. -verbesserung von Rippen-Platten-Wärmeübertragern bei Wiederanfahrvorgängen aus temperaturosgleichenen Zuständen bzw. bei hohen Temperaturdifferenzen zwischen eintretenden Strömen und Metalltemperaturen des Wärmeübertragers. Erfindungsgemäß vorgeschlagene Inbetriebnahmevorgänge sind insbesondere auch für bestehende Topologien (evtl. durch eine Nachrüstung von Oberflächentemperaturmessungen bzw. Sensoren und/oder entsprechende Sensoren an Ein- und/oder Ausspeisestellen des Wärmeübertragers, insbesondere in Verbindung zu Turbinen) durchführbar, da die vorliegende Erfindung im Wesentlichen um die Optimierung der dynamischen Anfahrweise implementiert werden kann. Insbesondere die Hauptwärmeübertrager von Luftzerlegungsanlagen können durch den Einsatz der vorliegenden Erfindung einer lastflexiblen Betriebsweise (zur Ausnutzung von bspw. Strommarktpreisen) über die Anlagenlebensdauer besser widerstehen. Auf diese Weise ermöglicht die vorliegende Erfindung eine Vermeidung von ungeplanten Stillständen, Reparaturkosten und Ersatzteilbeschaffungen.

[0027] Die erfindungsgemäß vorgeschlagene Betriebsweise einer entsprechenden Anlage lässt sich operativ beispielsweise mittels Oberflächentemperaturmessungen beobachten. Damit kann der Anfahrvorgang überwacht und der Zeitpunkt, an dem der Anfahrvorgang ggf. beschleunigt werden kann, gut vorhergesagt werden.

[0028] Ein entsprechender Erhöhungszeitpunkt kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung also zumindest teilweise auf Grundlage einer oder mehrerer Temperaturmessungen an einem oder mehreren Punkten der Wärmeaustauschzone festgelegt werden. Hierbei ist besonders vorteilhaft, wenn derartige Temperaturmessungen sich auf eine sensible Zone wie den erwähnten Be-

reich der Modulverbindung beziehen. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können jedoch auch andere, sich aus der Konstruktion des Wärmeübertragers ergebende sensible Bereiche berücksichtigt werden. Ein entsprechender Bereich kann insbesondere über eine Längskoordinate, die dem Ende einer Modulverbindung entspricht, definiert werden. Auch eine Messung an anderer Stelle ist grundsätzlich möglich, sofern auf diese Weise beispielsweise auf eine Temperatur an einer entsprechenden sensiblen Stelle rückgeschlossen werden kann, beispielsweise auf Grundlage bekannter Materialeigenschaften und ggf. Modellrechnungen hinsichtlich Wärmeausbreitung und Fluidodynamik. Insbesondere können im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein oder mehrere Oberflächentempertursensoren zum Einsatz kommen, die einfach und kostengünstig in bestehenden Wärmeübertragern nachgerüstet werden können.

[0029] Ist ein entsprechender Wärmeübertrager beispielsweise hinsichtlich Material- und thermischen Eigenschaften hinreichend genau charakterisiert ist, und sind die Temperaturen und eingesetzten Fluidströme bekannt, kann ggf. auch auf eine Temperaturmessung verzichtet werden, weil davon ausgegangen werden kann, dass nach einer bestimmten Zeit in den sensiblen Zonen ein entsprechender Temperaturwert erreicht ist. Daher ist es alternativ oder zusätzlich auch möglich, den Erhöhungszeitpunkt zumindest teilweise auf Grundlage eines ab einem Einleiten des Umschaltens verstrichenen Zeitraums und/oder auf Grundlage eines ab dem Beginn der Einspeisung der Fluide, die in dem zweiten Betriebsmodus in der zweiten Menge pro Zeiteinheit eingesetzt werden, verstrichenen Zeitraums festzulegen. Es ist beispielsweise auch möglich, den Umschaltzeitpunkt auf Grundlage einer Gesamtmenge der Fluide, die in dem zweiten Betriebsmodus in der zweiten Menge pro Zeiteinheit eingesetzt werden, zu bestimmen.

[0030] Wie mehrfach erwähnt, entfaltet die vorliegende Erfindung ihre besonderen Vorteile dann, wenn der Wärmeübertrager als ein Rippen-Platten-Wärmeübertrager ausgebildet ist. Ein derartiger Rippen-Platten-Wärmeübertrager kann insbesondere aus Aluminium und/oder Edelstahl ausgebildet sein. Ein entsprechender Wärmeübertrager kann auch beispielsweise mittels 3D-Druck hergestellt sein. Insbesondere bei derartigen Wärmeübertragern treten ggf. bei wiederholten Anfahrvorgängen die erwähnten potentiell hohen thermischen Spannungen auf.

[0031] Besonders vorteilhaft ist das erfindungsgemäße Verfahren dann einsetzbar, wenn die Wärmeaustauschzone eine sich ausgehend von dem ersten Ende erstreckende erste terminale Teilzone, eine sich ausgehend von dem zweiten Ende erstreckende zweite terminale Teilzone und eine zwischen der ersten terminalen Teilzone und der zweiten terminalen Teilzone angeordnete zentrale Teilzone aufweist, wobei der Erhöhungszeitpunkt dann als erreicht festgelegt wird, wenn festgestellt oder prognostiziert wird, dass eine oder mehrere Temperaturwerte in zumindest einer der terminalen Teil-

zonen eine vorgegebene Temperatur über- oder unterschreiten.

[0032] Insbesondere kann dabei der Wärmeübertrager eine Anzahl von Modulen aufweisen, die miteinander mittels Modulverbindungen verbunden sind, wobei in den terminalen Teilzonen jeweils ein oder mehrere der Modulverbindungen angeordnet ist oder sind, und wobei die zentrale Teilzone frei von den Modulverbindungen ist. Die vorliegende Erfindung erlaubt durch die langsame Anfahrweise eine gezielte Schonung der Bereiche mit den Modulverbindungen oder anderen sensiblen Zonen, also der ersten und zweiten terminalen Teilzone, die hinsichtlich rapider Temperaturänderungen besonders kritisch sind. Modulverbindungen sind insbesondere aufgrund ihrer Kerbwirkung besonders kritisch, jedoch sind die terminalen Endzonen grundsätzlich bezüglich thermisch induzierter Spannungen sensibel, auch wenn hier keine Modulverbindung vorhanden sind. Zu Details sei auf die obigen Erläuterungen ausdrücklich verwiesen.

[0033] In dem erfindungsgemäßen Verfahren kann, wie erwähnt, der Erhöhungszeitpunkt insbesondere dann als erreicht festgelegt werden, wenn festgestellt oder prognostiziert wird, dass eine oder mehrere Temperaturwerte in zumindest einer der terminalen Teilzonen eine vorgegebene Temperatur über- oder unterschreiten. Genauer kann in einem solchen Fall der Erhöhungszeitpunkt dann als erreicht festgelegt werden, wenn festgestellt oder prognostiziert wird, dass eine oder mehrere Temperaturwerte in den ersten terminalen Teilzonen eine vorgegebene Temperatur überschreiten und/oder wenn festgestellt oder prognostiziert wird, dass eine oder mehrere Temperaturwerte in der zweiten terminalen Teilzone eine vorgegebene Temperatur unterschreiten.

[0034] Die Umschaltung zwischen der ersten und der zweiten Menge pro Zeiteinheit kann schlagartig oder graduell erfolgen. Mit anderen Worten kann in einer besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umfassen, eine Menge pro Zeiteinheit der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone geleitet werden, bis zu dem Erhöhungszeitpunkt kontinuierlich oder stufenweise zu erhöhen. Auf diese Weise lassen sich Temperatursprünge weiter verringern.

[0035] Zur Klarstellung wird festgehalten, dass in einem Verfahren der vorliegenden Erfindung insbesondere in dem ersten Betriebsmodus ein oder mehrere erste Fluide der Wärmeaustauschzone an deren erstem Ende auf dem ersten Temperaturniveau zugeführt, durch die Wärmeaustauschzone geleitet und der Wärmeaustauschzone an deren zweitem Ende auf dem zweiten Temperaturniveau entnommen wird oder werden, und dass in dem ersten Betriebsmodus ein oder mehrere zweite Fluide der Wärmeaustauschzone an deren zweitem Ende auf dem zweiten Temperaturniveau zugeführt, durch die Wärmeaustauschzone geleitet und der Wär-

meaustauschzone an deren erstem Ende auf dem ersten Temperaturniveau entnommen wird oder werden.

[0036] Die vorliegende Erfindung erstreckt sich auch auf eine Anordnung mit einem Wärmeübertrager, der eine Wärmeaustauschzone aufweist, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt, wobei technische Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, in einem ersten Betriebsmodus Fluide auf unterschiedlichen Temperaturniveaus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone zu leiten, wodurch das erste Ende der Wärmeaustauschzone auf ein erstes Temperaturniveau und das zweite Ende der Wärmeaustauschzone auf ein zweites Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt, gebracht werden, wobei technische Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, in einem zweiten Betriebsmodus das Durchleiten der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in den ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone geleitet werden, zumindest teilweise zu unterbinden, wodurch ein Temperaturübergang von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende der Wärmeaustauschzone bewirkt wird, und wobei technische Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, in dem Verfahren mehrfach von dem ersten Betriebsmodus in den zweiten Betriebsmodus und von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umzuschalten.

[0037] Die Anordnung zeichnet sich durch technische Mittel aus, die dafür eingerichtet sind, das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus derart vorzunehmen, dass die Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone geleitet werden, bis zu einem Erhöhungszeitpunkt zunächst in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit ist, durch die erste Wärmeaustauschzone geleitet werden und erst ab dem Erhöhungszeitpunkt in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die erste Wärmeaustauschzone geleitet werden.

[0038] Zu Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Anordnung, die insbesondere dazu eingerichtet ist, ein Verfahren durchzuführen, wie es zuvor erläutert wurde, sei auf die obigen Ausführungen ausdrücklich verwiesen. Insbesondere weist eine derartige Anlage eine Steuereinrichtung auf, die dazu ausgebildet ist, bei Bedarf, beispielsweise nach einem festen Schaltmuster, auf Grundlage eines Sensorsignals oder auf Anforderung, zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus umzuschalten.

[0039] Eine entsprechende Anordnung kann insbesondere geeignete Sensoren aufweisen, insbesondere Temperatur- und/oder Dehnungssensoren.

[0040] Wie erwähnt, erstreckt sich die vorliegende Erfindung auch auf eine Anordnung, die Mittel zur Verflüssigung und/oder Tieftemperaturtrennung von Luft und/oder zumindest eines gasförmigen Luftprodukts aufweist. Diese zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, dass sie eine Anordnung mit einem Wärmeübertra-

ger darstellt, wie sie soeben erläutert wurde. Insbesondere kann die Anordnung als Luftzerlegungsanlage ausgebildet sein. Sie umfasst in diesem Fall ein Destillations säulensystem grundsätzlich bekannter Art. Eine entsprechende Anordnung kann insbesondere auch als Anlage zum Speichern und Rückgewinnen von Energie ausgebildet sein. Eine entsprechende Anordnung kann aber auch als Anlage zur Verflüssigung von Stickstoff oder als eine andere Anlage der zuvor erläuterten Art ausgebildet sein. Zu Merkmalen und Vorteilen sei auf die obigen Erläuterungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens verwiesen.

[0041] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die eine Ausführungsform der Erfindung und entsprechende Wärmeaustauschdiagramme zeigen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0042]

Figur 1 veranschaulicht Temperaturverläufe am warmen und kalten Ende eines erfindungsgemäß betriebbaren Wärmeübertrager nach Außerbetriebnahme.

Figur 2 veranschaulicht einen Rippen-Platten-Wärmeübertrager, der unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung betrieben werden kann.

Figur 3 veranschaulicht einen Zusammenhang zwischen Fluidströmungen und thermischen Spannungen in einem Rippen-Platten-Wärmeübertrager.

Figur 4 veranschaulicht Temperaturgradienten in einem Rippen-Platten-Wärmeübertrager zu unterschiedlichen Durchströmungszeitpunkten.

Figur 5 veranschaulicht eine Anlage zur Stickstoffverflüssigung, die unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung betrieben werden kann

[0043] In den Figuren sind identische oder einander funktional oder bedeutungsmäßig entsprechende Elemente mit identischen Bezugszeichen angegeben und werden der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0044] Figur 1 veranschaulicht Temperaturen in einem Wärmeübertrager, insbesondere einem Rippen-Platten-Wärmeübertrager, nach einer Außerbetriebnahme, d.h. in einem zuvor und nachfolgend auch als "zweitem Betriebsmodus" bezeichneten Betriebsmodus, in dem ein Durchleiten von Fluiden durch den Wärmeübertrager un-

terbunden wird, in Form eines Temperatur-Zeit-Diagramms.

[0045] In dem in Figur 1 dargestellten Temperatur-Zeit-Diagramm sind dabei eine mit H bezeichnete Temperatur am warmen Ende des Wärmeübertragers bzw. seiner Wärmeaustauschzone (zuvor und nachfolgend auch als "erstes Ende" bezeichnet) und eine mit C bezeichnete Temperatur am kalten Ende ("zweites Ende") jeweils in °C auf der Ordinate gegenüber einer Zeit in Stunden auf der Abszisse veranschaulicht.

[0046] Wie aus Figur 1 ersichtlich, beträgt die Temperatur H am ersten (warmen) Ende der Wärmeaustauschzone zu Beginn der Außerbetriebnahme, und damit die Temperatur in einem regulären Betrieb des Wärmeübertragers bzw. zum Ende des zuvor und nachfolgend als "erstem Betriebsmodus" bezeichneten Betriebsmodus, in dem entsprechende Fluide durch den Wärmeübertrager geleitet werden, ca. 20 °C und die Temperatur C am zweiten (kalten) Ende ca. -175 °C. Diese Temperaturen gleichen sich über die Zeit zunehmend einander an. Hierfür ist die hohe Wärmeleitfähigkeit der in dem Wärmeübertrager verbauten Materialien verantwortlich. Mit anderen Worten fließt hier Wärme vom ersten (warmen) Ende in Richtung des zweiten (kalten) Endes. Zusammen mit dem Wärmeeintrag aus der Umgebung ergibt sich dabei eine mittlere Temperatur von ca. -90 °C. Die deutliche Temperaturerhöhung am zweiten (kalten) Ende der Wärmeaustauschzone kommt zum größten Teil durch den internen Temperatursausgleich in dem Wärmeübertrager zustande und nur in einem geringeren Anteil durch externen Wärmeeintrag.

[0047] Wie mehrfach erwähnt, kann es im dargestellten Fall zu starken thermischen Spannungen kommen, wenn das erste (warme) Ende des Wärmeübertragers nach einiger Zeit in dem zweiten Betriebsmodus ohne weitere Maßnahmen wieder mit einem warmen Fluid von im dargestellten Beispiel ca. 20 °C beaufschlagt wird. Entsprechendes gilt für ein zweites (kaltes) Ende.

[0048] Figur 2 veranschaulicht einen Rippen-Platten-Wärmeübertrager, der unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung betrieben werden kann. Dieser ist insgesamt mit 100 bezeichnet und grundsätzlich in bekannter Weise, wie beispielsweise in der eingangs erwähnten Fachliteratur dokumentiert, ausgebildet. Der Wärmeübertrager ist hier zum Wärmetausch zwischen zwei Fluiden ausgebildet. Die vorliegende Erfindung kann jedoch insbesondere auch zum Betrieb von entsprechenden Wärmeübertragern, in denen mehr als zwei Fluide einem Wärmetausch unterworfen werden, ausgebildet sein.

[0049] Der Wärmeübertrager 100 ist im dargestellten Beispiel aus zwei Modulen 1, 2 aufgebaut, die grundsätzlich identisch ausgestaltet sein können. Anstelle von zwei Modulen 1, 2 können im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch Wärmeübertrager mit mehr als zwei Modulen verwendet werden. Die Module 1, 2 sind im dargestellten Beispiel miteinander mittels Modulverbindungen verbunden, die jedoch nur an den beiden Enden der zwei

Module 1, 2 bereitgestellt sind. Die Modulverbindungen 1,2 können beispielsweise als Elemente ausgebildet sein, die jeweils mit den Modulen 1, 2 verlötet sind.

[0050] Die Module 1, 2, alternativ auch ein entsprechender Wärmeübertrager 100 insgesamt, sind jeweils aus Wärmeübertragerplatten 4 aufgebaut, von denen im dargestellten Beispiel nur eine spezifisch bezeichnet ist. Die Wärmeübertragerplatten 4 können insbesondere miteinander verlötet sein. Sie sind insbesondere alternierend in Gruppen zusammengefasst, die getrennt voneinander durchströmt werden können.

[0051] Die beiden Module 1, 2 können jeweils über Header 5 und 7 mit einem warmen bzw. einem kalten Fluid beaufschlagt werden. Entsprechende Fluide werden dabei mittels Stutzen 51 bzw. 71 in die jeweiligen Header eingespeist. Ein warmes Fluid wird mittels des Headers 5 auf eine Gruppe von Wärmeübertragerplatten 4 der Module 1, 2 verteilt.

[0052] Nachdem das mittels des Headers 5 eingespeiste Fluid die Module 1, 2 durchströmt hat, wird es mittels des Headers 6 gesammelt und in abgekühltem Zustand über einen hier nicht sichtbaren Stutzen abgeleitet. Entsprechend wird ein kaltes Fluid mittels des Headers 7 auf eine andere Gruppe von Wärmeübertragerplatten 4 der Module 1, 2 verteilt. Nachdem das mittels des Headers 7 eingespeiste Fluid die Module 1, 2 durchströmt hat, wird es mittels des Headers 8 gesammelt und in erwärmtem Zustand über den Stutzen 81 abgeleitet. Wie erwähnt, kann ein entsprechender Wärmeübertrager 100 auch zur Bearbeitung weiterer Fluidströme eingerichtet sein. Hierzu sind entsprechende Gruppen von Wärmeübertragerplatten 4 und Header bereitgestellt.

[0053] Zum Wärmetausch durchströmen entsprechende Fluide eine hier mit 10 bezeichnete Wärmeaustauschzone 10 des Wärmeübertragers 100, die sich zwischen einem hier mit 11 bezeichneten ersten Ende und einem hier mit 12 bezeichneten zweiten Ende erstreckt. In einem regulären ("ersten") Betriebsmodus werden in der zuvor erläuterten Weise dabei Fluide auf unterschiedlichen Temperaturniveaus in einer bestimmten ("ersten") Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone 10 geleitet. Auf diese Weise wird das erste Ende 11 der Wärmeaustauschzone 10 auf ein bestimmtes ("erstes") Temperaturniveau und das zweite Ende 12 der Wärmeaustauschzone 10 ebenfalls auf ein bestimmtes ("zweites") Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt, gebracht.

[0054] Wird der Wärmeübertrager 100 außer Betrieb genommen ("zweiter" Betriebsmodus), wird das Durchleiten der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone 2 geleitet werden, zumindest teilweise unterbunden. Auf diese Weise wird ein Temperaturübergang von dem ersten Ende 11 zu dem zweiten Ende 12 der Wärmeaustauschzone 10 bewirkt. In einem entsprechenden Verfahren wird mehrfach von dem ersten Betriebsmodus in den zweiten Betriebsmodus und von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus

umgeschaltet. Hierdurch kann es ohne den Einsatz der im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgeschlagenen Maßnahmen zu sehr starken thermischen Spannungen kommen, wie mehrfach zuvor erläutert. Dies gilt insbesondere im Fall eines Wärmeübertragers 100, der aus mehreren Modulen 1, 2 aufgebaut und mittels entsprechender Modulverbindungen 3 miteinander verbunden ist.

[0055] Der hier dargestellte Wärmeübertrager 100 zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass die Wärmeaustauschzone 10 eine sich ausgehend von dem ersten Ende 11 erstreckende erste terminale Teilzone 13 und eine sich ausgehend von dem zweiten Ende 12 erstreckende zweite terminale Teilzone 14 aufweist und in den terminalen Teilzonen 13, 14 jeweils die Modulverbindungen 3 angeordnet sind. Eine zentrale Teilzone der Wärmeaustauschzone 10 ist hingegen frei von den Modulverbindungen 3.

[0056] Im Rahmen von Untersuchungen hat sich, wie ebenfalls erwähnt, gezeigt, dass die thermisch induzierten Spannungen beim Wiederanfahren eines entsprechenden Wärmeübertragers 100, insbesondere eines Rippen-Platten-Wärmeübertragers aus einem temperaturausgeglichenen Zustand, d.h. wenn der zweite Betriebsmodus über längere Zeit durchgeführt wurde, stark von der Geschwindigkeit des Wiederanfahrens abhängen kann. Während hohe Massenströme zu großen thermischen Spannungen führen können, kann der Thermostress bei geringen Anfahrsgeschwindigkeiten mit hinreichend kleinen Massenströmen nahezu vollständig vermieden werden.

[0057] Figur 3 veranschaulicht hierzu einen Zusammenhang zwischen Fluidströmungen und thermischen Spannungen in einem Rippen-Platten-Wärmeübertrager. In Figur 3 sind ein normierter kalter Massenstrom in dimensionslosen Einheiten, also eine Menge eines pro Zeiteinheit dem Wärmeübertrager zugeführten kalten Fluids, auf der Abszisse und eine normierte maximale thermische Spannung in dimensionslosen Einheiten auf der Ordinate aufgetragen.

[0058] Wie ersichtlich, sind die bei geringen Massenströmen induzierten thermischen Spannungen deutlich geringer als bei höheren Massenströmen. Die vorliegende Erfindung nutzt diese Erkenntnis und schlägt insbesondere vor, einen entsprechenden Wärmeübertrager zunächst unter Verwendung geringerer Fluidmengen pro Zeiteinheit wieder anzufahren. Insbesondere wird eine Fluidmenge erst dann erhöht, wenn die Bereiche, in denen Modulverbindungen eines aus mehreren Modulen aufgebauten Rippen-Platten-Wärmeübertragers, beispielsweise eines Wärmeübertragers, wie er in Figur 2 dargestellt ist, angeordnet sind, bereits ausreichend temperiert sind, da sich in derartigen Bereichen besonders negative Auswirkungen der thermischen Spannungen ergeben. Dies wird unter Bezugnahme auf Figur 4 weiter erläutert.

[0059] Mit anderen Worten schlägt die vorliegende Erfindung vor, das Umschalten von dem zweiten Betriebs-

modus in den ersten Betriebsmodus derart vorzunehmen, dass die Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone eines entsprechenden Wärmeübertrager geleitet werden, bis zu einem Erhöhungszeitpunkt zunächst in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit ist, durch die erste Wärmeaustauschzone zu leiten und erst ab dem Erhöhungszeitpunkt in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die erste Wärmeaustauschzone zu leiten.

[0060] Da kalte und warme Ströme in einem entsprechenden Wärmeübertrager, wie auch in dem in Figur 2 gezeigten Beispiel, typischerweise im Gegenstrom zueinander geleitet werden, wird das Temperaturprofil beim Anfahren, d.h. vom Übergang von dem zweiten in den ersten Betriebsmodus, von den beiden Enden ausgehend mit fortschreitender Zeit bis hin zum Inneren des Wärmeübertragers bzw. der Wärmeaustauschzone, eingestellt. Hat der Wärmeübertrager, z.B. in einem sensitiven Bereich von Modulverbindungen, bereits die größten während des Übergangs zum ersten Betriebsmodus auftretenden Temperaturänderungen erfahren, treten hier anschließend nur noch reduzierte Gradienten und damit stark reduzierte Thermospannungen im weiteren Verlauf auf. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden dabei insbesondere die Temperaturänderungen entsprechender sensitiver Bereiche mit verringerten Fluidmengen bewirkt. Erst anschließend wird ein entsprechender Wärmeübertrager mit den vollen Fluidmengen betrieben.

[0061] In Figur 4 sind jeweils Diagramme 410 bis 460 dargestellt, in denen jeweils Temperaturverläufe 401 bis 406 in einer Wärmeaustauschzone eines Wärmeübertragers, beispielsweise des Wärmeübertragers 100 gemäß Figur 2 zu unterschiedlichen Zeitpunkten dargestellt. Die Zeitpunkte liegen dabei jeweils nach einem Zeitpunkt, bei dem sich ein ausgeglichenes Temperaturprofil durch einen Wärmeübergang vom warmen zum kalten Ende eingestellt hat, weil die Fluidzufuhr unterbunden wurde, also nach einiger Zeit im zweiten Betriebsmodus. Zur besseren Anschaulichkeit und Vergleichbarkeit mit Figur 2 ist dabei in dem Diagramm 410 die Wärmeaustauschzone und deren Teilzonen hier ebenfalls mit 10, 13 und 14 bezeichnet.

[0062] Zu dem mit Diagramm 410 veranschaulichten Zeitpunkt hat sich dabei nur eine geringfügige Temperaturveränderung an den äußersten Enden der Wärmeaustauschzone 10 ergeben, die zunächst nur die Teilzonen 13 und 14 betrifft. Mit zunehmender Zeit ergeben sich die Temperaturprofile 402 bis 406. Die höchsten Spannungen treten dabei insbesondere dann auf, wenn der sich einstellende Temperaturgradient am hier inneren Ende der Modulverbindungen anliegt, was in etwa zu den Zeitpunkten, die hier mit den Diagrammen 430 und 440 angegeben sind, der Fall ist.

[0063] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden entsprechende Thermospannungen insbesondere dadurch reduziert, dass in den Zeiträumen, in denen die

Bereiche der Modulverbindungen große Temperaturänderungen erfahren, gezielt geringere Massenströme einzusetzen (entsprechend den Diagrammen 410 bis 440). Hat sich der örtliche Temperaturgradient bereits über die Modulverbindungen ausgebildet (entsprechend Diagramm 550), kann die Anfahrsgeschwindigkeit ggf. wieder beschleunigt und damit an übliche Prozeduren angelehnt werden, ohne weitere signifikante Spannungsspitzen zu erzeugen.

[0064] In Figur 5 ist eine Anlage zur Stickstoffverflüssigung, die unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung betrieben werden kann, schematisch veranschaulicht und insgesamt mit 500 bezeichnet.

[0065] Die in Figur 1 veranschaulichte Anlage 500 weist insbesondere einen Wärmeübertrager 100 der zuvor erläuterten Art oder einen vergleichbaren Wärmeübertrager auf. Anlagen zur Stickstoffverflüssigung sind grundsätzlich bekannt und nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt.

[0066] Der Anlage 500 wird im dargestellten Beispiel gasförmiger Stickstoff (Strom a) zugeführt, der beispielsweise mittels einer Luftzerlegungsanlage bereitgestellt werden kann. Der gasförmige Stickstoff wird einem mehrstufigen Verdichter 510 zugeführt und verdichtet. Ein Teil des verdichteten gasförmigen Stickstoffs (Strom b) wird in Turbinenboostern 520, 530, die jeweils mit Nachkühlern versehen sind, weiter verdichtet und dem Wärmeübertrager 100 warmseitig zugeführt. Der Rest (Strom c) bleibt unverdichtet und wird ebenfalls dem Wärmeübertrager 100 warmseitig zugeführt.

[0067] Ein Teilstrom d des Stroms b wird dem Wärmeübertrager 100 auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen, in einer Entspannungsturbine des Turbinenboosters 520 entspannt und in einen Behälter 540 eingespeist. Ein weiterer Teilstrom e des Stroms c wird dem Wärmeübertrager 100 kaltseitig entnommen und über eine nicht gesondert bezeichnete Drossel in den Behälter 540 entspannt.

[0068] Der Strom c wird dem Wärmeübertrager 100 auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen, in einer Entspannungsturbine des Turbinenboosters 530 entspannt, dem Wärmeübertrager 100 auf einem Zwischentemperaturniveau zugeführt und zusammen mit gasförmigem Stickstoff aus dem Behälter 540 als Strom f auf einem Zwischendruckniveau in den Verdichter 510 zurückgeführt.

[0069] Flüssiger Stickstoff aus dem Behälter 540 wird in einem Unterkühler 550, der mit einem Teil dieses Stickstoffs (Strom g) gekühlt wird, unterkühlt und als Strom h in einen Speichertank 560 entspannt. In dem Speichertank 560 bildet sich nun aufgrund von Verdampfung gasförmiger Stickstoff, der bei Bedarf als Strom i über eine Leitung und ein Ventil ungenutzt abgelassen werden kann. Daneben bildet sich beim Transport des flüssigen Stickstoffs vom Unterkühler 550 über die entsprechende Leitung (Strom h) in den Speichertank 200 Flashgas, das ebenfalls unerwünscht ist.

[0070] Es kann nun eine weitere Leitung vorgesehen sein, über die gasförmiger und kalter Stickstoff aus dem Speichertank 560 als Strom k zurück in den Verflüssigungsprozess geführt werden kann. Im hier gezeigten Fall wird dieser gasförmige Stickstoff stromaufwärts des Unterkühlers 550 mit dem Strom g vereinigt.

[0071] Auf diese Weise kann die Kälteenergie des Stroms k im Wärmeüberträger 100 genutzt werden, wodurch der gesamte Verflüssigungsprozess effizienter wird. Ein durch die Vereinigung der Ströme g und k gebildeter Strom l kann zudem nach Erwärmung wieder dem Strom a zugeführt werden, d.h. die im Strom k geführte Menge gasförmigen Stickstoffs wird über den Strom l dem Strom a und damit wieder dem Verflüssigungsprozess zugeführt.

[0072] Wie erwähnt, kann die Anlage 500 dann, wenn die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen implementiert werden, je nach Bedarf an flüssigem Stickstoff nach Belieben an- und abgeschaltet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Wärmeübertragers (100), der eine Wärmeaustauschzone (10) aufweist, die sich zwischen einem ersten Ende (11) und einem zweiten Ende (12) erstreckt, wobei in einem ersten Betriebsmodus Fluide auf unterschiedlichen Temperaturniveaus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden, wodurch das erste Ende (11) der Wärmeaustauschzone (10) auf ein erstes Temperaturniveau gebracht wird und das zweite Ende (12) der Wärmeaustauschzone (10) auf ein zweites Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt, gebracht wird, wobei in einem zweiten Betriebsmodus das Durchleiten der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (2) geleitet werden, zumindest teilweise unterbunden wird, wodurch ein Temperaturübergang von dem ersten Ende (11) zu dem zweiten Ende (12) der Wärmeaustauschzone (10) bewirkt wird, und wobei in dem Verfahren mehrfach von dem ersten Betriebsmodus in den zweiten Betriebsmodus und von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umgeschaltet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umfasst, die Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden, bis zu einem Erhöhungszeitpunkt zunächst in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit ist, durch die erste Wärmeaustauschzone (10) zu leiten und erst ab dem Erhöhungszeitpunkt in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die erste Wärmeaustauschzone (10) zu leiten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Erhöhungszeitpunkt zumindest teilweise auf Grundlage einer oder mehrerer Temperaturmessungen an einem oder mehreren Punkten der Wärmeaustauschzone (10) festgelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem der Erhöhungszeitpunkt zumindest teilweise auf Grundlage eines ab einem Einleiten des Umschaltens verstrichenen Zeitraums festgelegt wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Wärmeüberträger (100) als ein Rippenplatten-Wärmeüberträger ausgebildet ist.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Wärmeaustauschzone (10) eine sich ausgehend von dem ersten Ende (11) erstreckende erste terminale Teilzone (13), eine sich ausgehend von dem zweiten Ende (12) erstreckende zweite terminale Teilzone (14) und eine zwischen der ersten terminalen Teilzone (13) und der zweiten terminalen Teilzone (14) angeordnete zentrale Teilzone aufweist, wobei der Erhöhungszeitpunkt dann als erreicht festgelegt wird, wenn festgestellt oder prognostiziert wird, dass eine oder mehrere Temperaturwerte in zumindest einer der terminalen Teilzonen (13, 14) eine vorgegebene Temperatur über- oder unterschreiten.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der Wärmeüberträger (100) eine Anzahl von Modulen (1, 2) aufweist, die miteinander mittels Modulverbindungen (3) verbunden sind, wobei in den terminalen Teilzonen (13, 14) jeweils ein oder mehrere der Modulverbindungen (3) angeordnet ist oder sind, und wobei die zentrale Teilzone frei von den Modulverbindungen (3) ist.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umfasst, eine Menge pro Zeiteinheit der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden, bis zu dem Erhöhungszeitpunkt kontinuierlich oder stufenweise zu erhöhen.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem in dem ersten Betriebsmodus ein oder mehrere erste Fluide der Wärmeaustauschzone (10) an deren erstem Ende (11) auf dem ersten Temperaturniveau zugeführt, durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet und der Wärmeaustauschzone (10) an deren zweitem Ende (12) auf dem zweiten Temperaturniveau entnommen wird oder werden, und bei dem in dem ersten Betriebsmodus ein oder mehrere zweite Fluide der Wärmeaustauschzone (10)

an deren zweitem Ende (12) auf dem zweiten Temperaturniveau zugeführt, durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet und der Wärmeaustauschzone (10) an deren erstem Ende (11) auf dem ersten Temperaturniveau entnommen wird oder werden.

5

9. Anordnung mit einem Wärmeübertrager (100), der eine Wärmeaustauschzone (10) aufweist, die sich zwischen einem ersten Ende (11) und einem zweiten Ende (12) erstreckt, wobei technische Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, in einem ersten Betriebsmodus Fluide auf unterschiedlichen Temperaturniveaus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (10) zu leiten, wodurch das erste Ende (11) der Wärmeaustauschzone (10) auf ein erstes Temperaturniveau und das zweite Ende (12) der Wärmeaustauschzone (10) auf ein zweites Temperaturniveau, das unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegt, gebracht werden, wobei technische Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, in einem zweiten Betriebsmodus das Durchleiten der Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in den ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (2) geleitet werden, zumindest teilweise zu unterbinden, wodurch ein Temperaturübergang von dem ersten Ende (11) zu dem zweiten Ende (12) der Wärmeaustauschzone (10) bewirkt wird, und wobei technische Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, in dem Verfahren mehrfach von dem ersten Betriebsmodus in den zweiten Betriebsmodus und von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus umzuschalten, **gekennzeichnet durch** technische Mittel, die dafür eingerichtet sind, das Umschalten von dem zweiten Betriebsmodus in den ersten Betriebsmodus derart vorzunehmen, dass die Fluide, die in dem ersten Betriebsmodus in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden, bis zu einem Erhöhungszeitpunkt zunächst in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die geringer als die erste Menge pro Zeiteinheit ist, durch die erste Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden und erst ab dem Erhöhungszeitpunkt in der ersten Menge pro Zeiteinheit durch die erste Wärmeaustauschzone (10) geleitet werden.
10. Anordnung nach Anspruch 9, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 eingerichtete technische Mittel aufweist.
11. Anordnung (100) nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, die Mittel zur Verflüssigung und/oder Tieftemperaturtrennung von Luft und/oder eines oder mehrerer gasförmiger Luftprodukte aufweist.
12. Anordnung (100) nach Anspruch 11, bei der die Mittel zur Verflüssigung und/oder Tieftemperaturtren-

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

nung von Luft ein Destillationssäulensystem (20) umfassen.

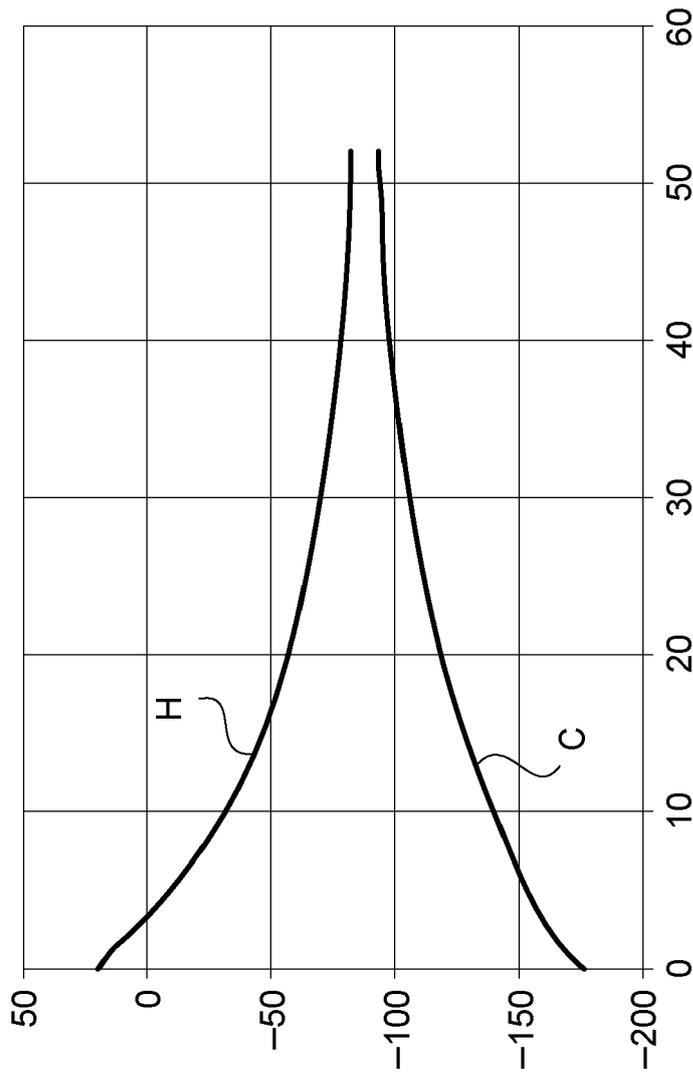


Fig. 1

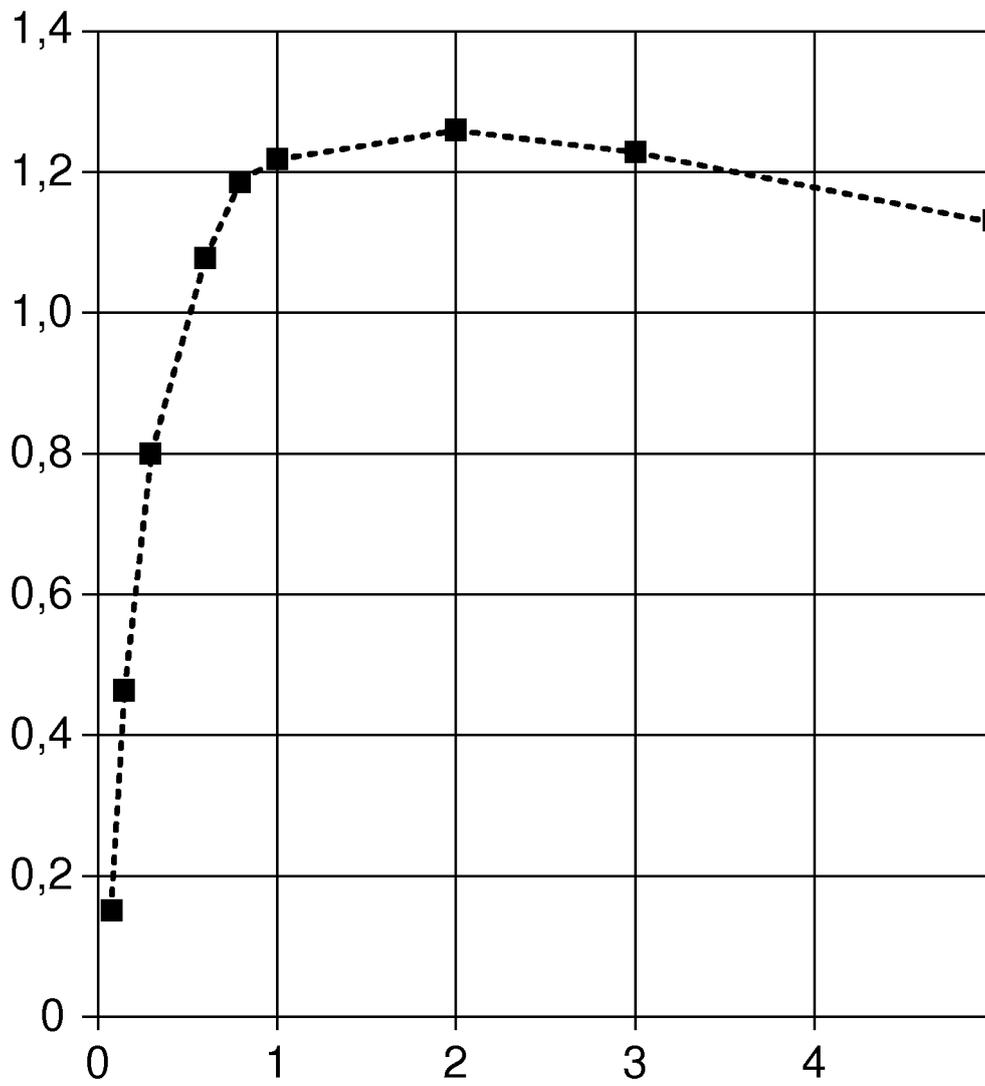


Fig. 3

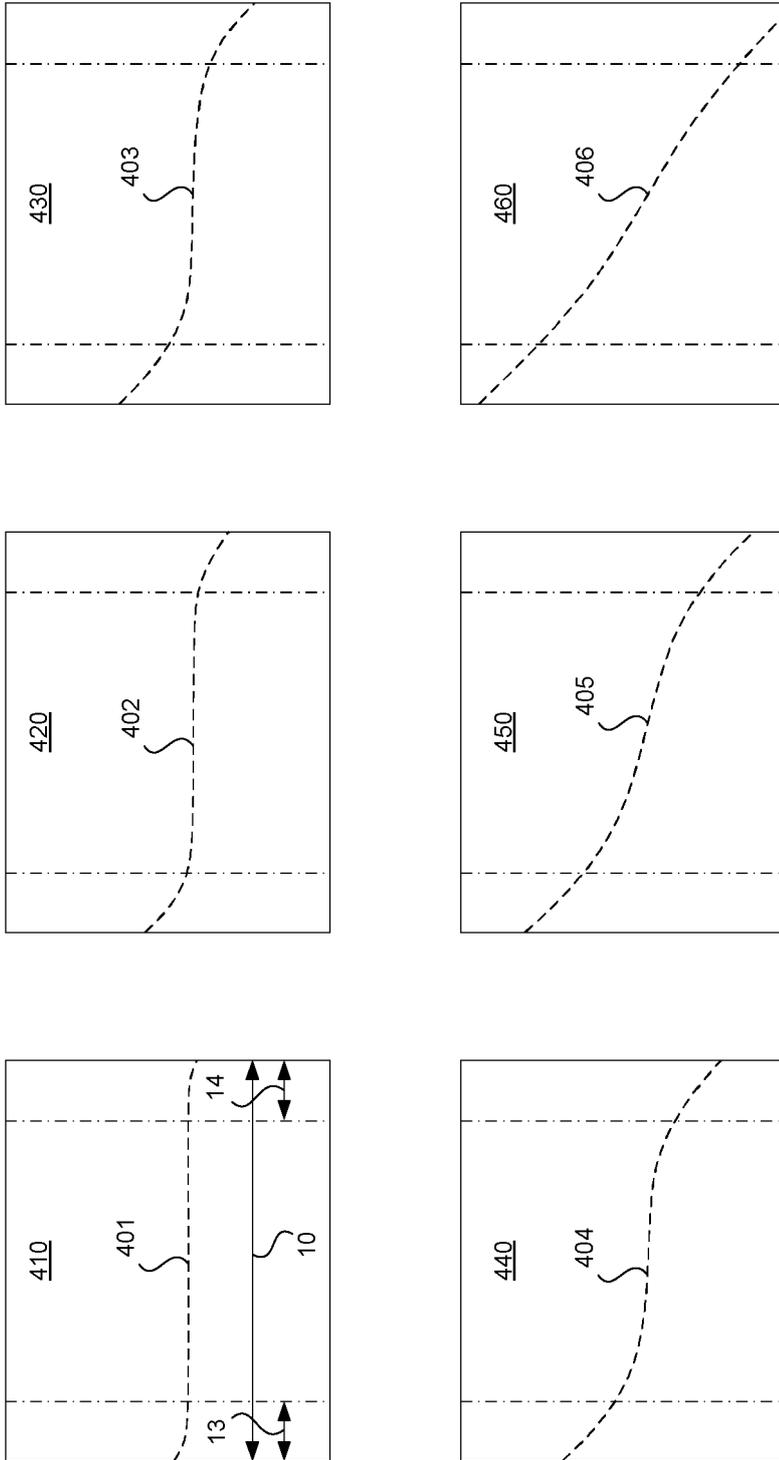


Fig. 4

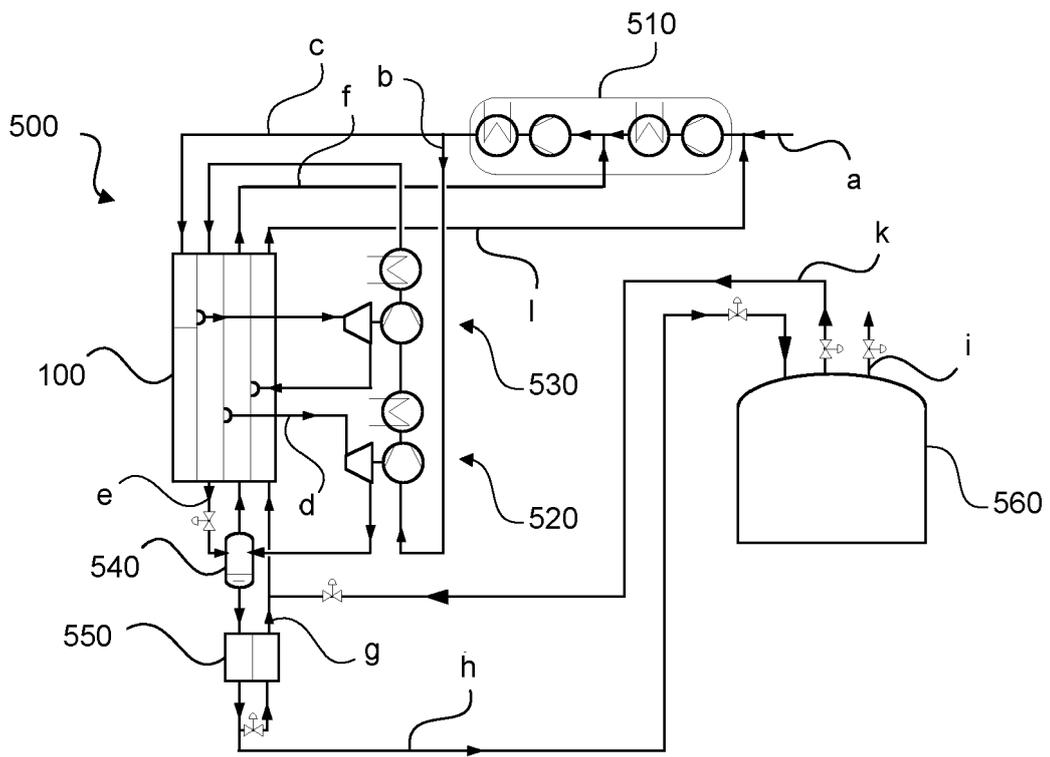


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 18 02 0329

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)
X	US 2017/292783 A1 (CHEN FEI [US] ET AL) 12. Oktober 2017 (2017-10-12)	1-3,5, 7-10	INV. F25J3/04 F25J1/00 F25J1/02 F25J5/00
Y	* Absätze [0007] - [0009], [0140], [0141]; Abbildung 10 *	2,3,5,6	
X	US 2002/174678 A1 (WILDING BRUCE M [US] ET AL) 28. November 2002 (2002-11-28)	1,2,4, 7-10	
Y	* Absätze [0056] - [0058], [0076]; Abbildung 2 *	2,3,5,6	
X	US 3 469 271 A (ICHIHARA KIYOSHI ET AL) 30. September 1969 (1969-09-30)	1,3,4, 6-12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F25J
Y	* Spalte 3, Zeilen 18-29; Abbildungen 1,2 *	2,5,6	
	* Spalte 4, Zeilen 54-73 * * Spalte 5, Zeilen 18-36 *		
Y	DE 10 2009 042994 A1 (LINDE AG [DE]) 31. März 2011 (2011-03-31) * das ganze Dokument *	2,5	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 16. Januar 2019	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, 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 18 02 0329

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.

16-01-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017292783 A1	12-10-2017	AU 2017202136 A1	26-10-2017
		CA 2963210 A1	06-10-2017
		CN 107345735 A	14-11-2017
		EP 3255364 A1	13-12-2017
		JP 2017187274 A	12-10-2017
		KR 20170114988 A	16-10-2017
		RU 2017111464 A	05-10-2018
		US 2017292783 A1	12-10-2017
US 2002174678 A1	28-11-2002	AU 2002346035 A1	09-09-2003
		BR 0215515 A	21-12-2004
		CA 2473185 A1	04-09-2003
		CL 2004001541 A1	29-04-2005
		CL 2007003576 A1	30-05-2008
		CN 1615415 A	11-05-2005
		CO 5590980 A2	30-12-2005
		EA 200400811 A1	30-12-2004
		EC SP045189 A	03-01-2005
		EP 1478874 A1	24-11-2004
		EP 1867939 A2	19-12-2007
		EP 1867940 A2	19-12-2007
		ES 2628502 T3	03-08-2017
		ES 2688165 T3	31-10-2018
		HK 1078120 A1	08-06-2007
		JP 5600249 B2	01-10-2014
		JP 5761895 B2	12-08-2015
		JP 2005519153 A	30-06-2005
		JP 2009150646 A	09-07-2009
		JP 2009263674 A	12-11-2009
		KR 20040086270 A	08-10-2004
		MX PA04006605 A	04-10-2004
		NZ 533794 A	22-12-2006
		NZ 550201 A	31-07-2008
		PL 206099 B1	30-06-2010
		US 2002174678 A1	28-11-2002
US 2003192343 A1	16-10-2003		
US 2003196452 A1	23-10-2003		
WO 03072991 A1	04-09-2003		
ZA 200404910 B	30-03-2005		
US 3469271 A	30-09-1969	DE 1501716 A1	08-01-1970
		JP S4936109 B1	27-09-1974
		US 3469271 A	30-09-1969
DE 102009042994 A1	31-03-2011	KEINE	

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 3032203 A1 **[0013]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006 **[0004]**
- The Standards of the Brazed Aluminium Plate-Fin Heat Exchanger Manufacturers' Association. 2000 **[0004]**