



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
01.02.2017 Patentblatt 2017/05

(51) Int Cl.:
F25J 3/04 (2006.01) F28C 3/06 (2006.01)
F28C 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16001509.5**

(22) Anmeldetag: **07.07.2016**

(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:
MA MD

(72) Erfinder:
• **Dowy, Stefan**
83024 Rosenheim (DE)
• **Pullnig, Bernhard**
86152 Ausburg (DE)

(30) Priorität: **28.07.2015 EP 15002236**

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

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(54) **LUFTZERLEGUNGSANLAGE, BETRIEBSVERFAHREN UND STEUEREINRICHTUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine Luftzerlegungsanlage (100), in der zur Kühlung verdichteter Luft ein Kühlwasserkreislauf (10) mit einem Rückkühlwerk (11) bereitgestellt ist, wobei das Rückkühlwerk (11) dazu eingerichtet ist, Kühlwasser unter Verwendung von Kühlluft abzukühlen. Das Rückkühlwerk (11) ist derart ausgebildet ist,

dass es zumindest bei einer Feuchtkugeltemperatur der Kühlluft von mehr als 289 K das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt. Ein entsprechendes Betriebsverfahren und eine Steuereinrichtung sind ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

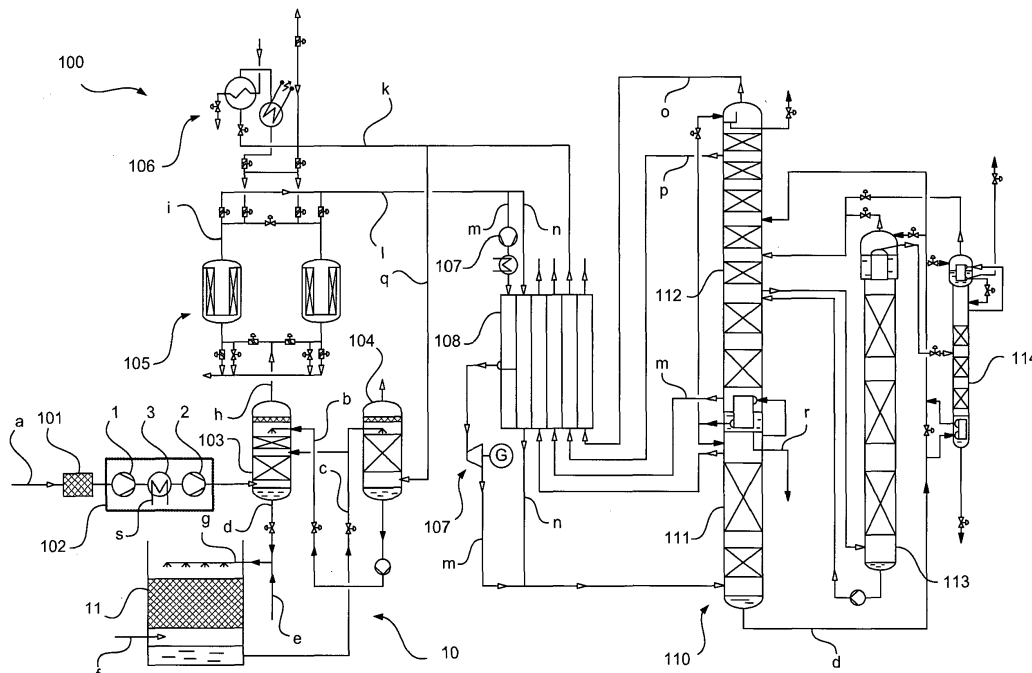


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Luftzerlegungsanlage, ein Verfahren zum Betreiben einer Luftzerlegungsanlage und eine Steuereinrichtung für eine derartige Luftzerlegungsanlage gemäß den jeweiligen Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] Die Herstellung von Luftprodukten in flüssigem oder gasförmigem Zustand durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in Luftzerlegungsanlagen ist bekannt und beispielsweise bei H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH, 2006, insbesondere Abschnitt 2.2.5, "Cryogenic Rectification", beschrieben. Die vorliegende Erfindung eignet sich für unterschiedliche Ausführungsformen entsprechender Luftzerlegungsanlagen.

[0003] Luftzerlegungsanlagen weisen Destillationssäulensysteme auf, die beispielsweise als Zweisäulensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrsäulensysteme ausgebildet sein können. Neben den Destillationssäulen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand (beispielsweise flüssigem Sauerstoff, LOX, gasförmigem Sauerstoff, GOX, flüssigem Stickstoff, LIN und/oder gasförmigem Stickstoff, GAN), also den Destillationssäulen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können Destillationssäulen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein.

[0004] Die Destillationssäulensysteme von Luftzerlegungsanlagen werden bei unterschiedlichen Betriebsdrücken in ihren Destillationssäulen betrieben. Bekannte Doppelsäulensysteme weisen beispielsweise eine sogenannte (Hoch-)Drucksäule und eine sogenannte Niederdrucksäule auf. Der Betriebsdruck der Hochdrucksäule beträgt beispielsweise 4,3 bis 6,9 bar, insbesondere etwa 5,5 bar. Die Niederdrucksäule wird bei einem Betriebsdruck von beispielsweise 1,2 bis 1,7 bar, insbesondere etwa 1,4 bar, betrieben. Bei den hier angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke im Sumpf entsprechender Destillationssäulen. Die genannten Drücke werden nachfolgend auch als "Destillationsdrücke" bezeichnet, weil bei ihnen die fraktionierte Destillation der jeweils eingespeisten Luft innerhalb der Destillationssäulen erfolgt. Dies schließt nicht aus, dass in einem Destillationssäulensystem an anderer Stelle auch noch andere Drücke vorliegen können.

[0005] In die Destillationssäulensysteme wird abgekühlte Druckluft (Einsatzluft) eingespeist, die mittels unterschiedlicher Luftverdichter oder Kombinationen aus unterschiedlichen Luftverdichtern (beispielsweise Hauptluftverdichtern und Nachverdichtern) auf Druck gebracht wird. Sämtliche Luftverdichter können mehrstufig ausgeführt sein. Da in einer Luftzerlegungsanlage etwa 95% des Energiebedarfs durch die genannten Luftverdichter entsteht, ist an dieser Stelle das größte Potential zur Einsparung vorhanden. Es besteht grundsätzlich der Bedarf nach energetisch effizienteren Verfahren und Anlagen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Vor diesem Hintergrund stellt die vorliegende Erfindung eine Luftzerlegungsanlage, ein Verfahren zum Betreiben einer Luftzerlegungsanlage und eine Steuereinrichtung für eine derartige Luftzerlegungsanlage mit den jeweiligen Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche bereit. Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Die in den Luftverdichtern einer Luftzerlegungsanlage auf Druck gebrachte Einsatzluft wird typischerweise zur Abführung der bei der Verdichtung erzeugten Verdichtungswärme in unterschiedlich ausgeführten Kühleinrichtungen rückgekühlt. Diese Kühleinrichtungen umfassen beispielsweise Zwischen- und Nachkühler zwischen und stromab einer oder mehrerer Verdichtungsstufen, wie insoweit bekannt. Die Rückkühlung der in einem Hauptluftverdichter einer Luftzerlegungsanlage verdichteten Luft kann beispielsweise unter anderem in einem mit Kühlwasser aus einem Kühlwasserkreislauf betriebenen Direktkontaktkühler erfolgen. Zusätzlich können indirekte Wärmetauscher vorgesehen sein, die ebenfalls mit Kühlwasser betrieben werden können. Anschließend wird die Einsatzluft in bekannten Verfahren in einem Hauptwärmetauscher auf tiefkalte Temperaturen, d.h. Temperaturen von deutlich unter 0 °C, gebracht.

[0008] Die Rückkühlung erfolgt insbesondere zu dem Zweck, die Leistungsaufnahme der Luftverdichter zu verringern. Umso niedriger dabei die Kühlwassertemperatur ist, desto weiter kann die Prozessluft abgekühlt werden, was in einer geringeren Leistungsaufnahme der Luftverdichter resultiert. Zusätzlich tritt die Prozessluft dadurch auch bereits kälter in den eigentlichen Prozess der Luftzerlegung ein, unter anderem in den Hauptwärmetauscher. Daher ist die zu übertragende Wärme am Hauptwärmetauscher geringer, weshalb dieser mit einem geringeren Volumen ausgeführt werden kann und zusätzlich weniger Kälte durch Entspannung erzeugt werden muss. Eine Kälteerzeugung auf entsprechend niedrigen Temperaturniveaus von beispielsweise 120 bis 200 K hat beträchtliche exergetische Verluste zur Folge, die deutlich größer sind als bei der Kühlung von Kühlwasser, die bei nahezu Umgebungstemperatur erfolgt. Zudem sind größer auszuführende kryogene Bauteile (Wärmetauscher, Turbinen, Ventile) ausgesprochen kostenintensiv.

[0009] Kühlwasserkreisläufe von Luftzerlegungsanlagen umfassen typischerweise Rückkühlwerke, in dem das erwärmte Kühlwasser des Kühlwasserkreislaufs mittels Kühlluft durch Verdunstungskühlung gekühlt wird. Insbesondere können als Rückkühlwerke Kühltürme bekannter Art eingesetzt werden, wie auch unten erläutert. Entsprechende Luftzerlegungsanlagen sind beispielsweise in der EP 0 644 390 A1 und der JP 5 885093 A1 gezeigt. Die dabei eingesetzte Kühlluft stammt dabei typischerweise aus der Umgebung der Luftzerlegungsanlage und weist daher eine von der Umgebung abhängige Temperatur, einen von der Umgebung abhängigen Druck und einen von der Umgebung abhängigen Feuchtegehalt auf. Aus diesen drei Parametern kann die Feuchtkugeltemperatur bestimmt werden.

[0010] Die Feuchtkugeltemperatur ist ein Maß für die Kühlgrenztemperatur, also die tiefste Temperatur, die das Kühlwasser durch direkte Verdunstungskühlung in einem entsprechenden Rückkühlwerk theoretisch erreichen kann. Bekanntermaßen steht die Wasserabgabe einer feuchten Oberfläche mit dem Wasseraufnahmevermögen der umgebenden Atmosphäre im Gleichgewicht. Aufgrund der Verdunstungskälte liegt die Kühlgrenztemperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte unterhalb der Lufttemperatur. Die Temperaturabsenkung bei der Verdunstungskühlung ist umso größer, je trockener die umgebende Luft ist. Der in einem entsprechenden Rückkühlwerk tatsächlich erreichte Temperaturunterschied zwischen der Feuchtkugeltemperatur und dem gekühlten Kühlwasser wird in der Fachwelt als Kühlgrenzabstand bezeichnet. Die Güte eines Rückkühlwerks, beispielsweise eines Kühlturms, wird durch die spezifische Packungsoberfläche, das Verhältnis von Flüssigkeit zu Gas und den Druckverlust bestimmt. Um einen geringen Kühlgrenzabstand zu erreichen, wie er aufgrund der vorstehend angegebenen Vorteile einer geringeren Kühlwassertemperatur grundsätzlich wünschenswert ist, fallen daher grundsätzlich höhere Investitionskosten zur Erstellung von Rückkühlwerken an.

[0011] Der verwendete Kühlgrenzabstand richtet sich daher nach wirtschaftlichen Erwägungen, die die genannten Aspekte einbeziehen. In bisherigen Publikationen zu zwangsbelüfteten Rückkühlwerken in Industrieanlagen wird meist ein Kühlgrenzabstand von 3 bis 5 K als ökonomisch angegeben, siehe beispielsweise Z. K. Morvay & D.D. Gvozdenac, "Applied Industrial Energy and Environmental Management, Part III: Toolbox - Fundamentals for Analysis and Calculation of Energy and Environmental Performance, Toolbox 12: Cooling Towers", Chichester, Wiley, 2008. Diese Angabe erfolgt jedoch herkömmlicherweise ohne Nennung der entsprechenden Umgebungsbedingungen und der daraus resultierenden Feuchtkugeltemperatur. Technisch realisierbar sind auch Rückkühlwerke mit einem Kühlgrenzabstand von deutlich unter 3 K, dies wird jedoch herkömmlicherweise als unwirtschaftlich bezeichnet. Entsprechend geringe Kühlgrenzabstände werden herkömmlicherweise lediglich im Labormaßstab eingesetzt, wie beispielsweise gemäß der Veröffentlichung von V.D. Papaefthimiou et al., "Thermodynamic Study of Wet Cooling Tower Performance", Int. J. Energ. Res. 30(6), 2006, 411-426, der Fall.

[0012] Zu weiteren Details bezüglich Rückkühlwerken und deren Auslegung sei auf einschlägige Fachliteratur, beispielsweise H.-D. Held, H.-G. Schnell, Kühlwasser: Verfahren der Systeme der Aufbereitung und Kühlung von Süßwasser, Brackwasser- und Meerwasser zur industriellen Kühlung, 5. Auflage, Vulkan, 2000, H. Rietschel, K. Fitzner, Raumklimatechnik, Band 2: Raumluft und Raumkühltechnik, 16. Auflage, Springer, 2008, J.J. McKetta, Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Band 58, Marcel Dekker, 1997, P.N. Ananthanarayanan, Basic Refrigeration and Air Conditioning, 3. Auflage, Tata McGraw-Hill, 2006 und B. Buecker, Power Plant Water Chemistry: A Practical Guide, PennWell, 1997, verwiesen. Insbesondere sei betont, dass der mittels eines Rückkühlwerks erzielbare Kühlgrenzabstand durch den Fachmann aufgrund bekannter Berechnungsverfahren zuverlässig vorhersagbar ist. Ist daher nachfolgend davon die Rede, dass ein Rückkühlwerk derart ausgebildet ist, dass es Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die um einen maximalen Temperaturwert oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt, stellt dies eine Anweisung an den Fachmann dar, ein Rückkühlwerk derart zu dimensionieren, dass es die genannte Eigenschaft aufweist, also einen entsprechenden Kühlgrenzabstand besitzt. Insbesondere wird der Fachmann dabei die spezifische Packungsoberfläche, das Verhältnis von Flüssigkeit zu Gas und den Druckverlust in geeigneter Weise berücksichtigen bzw. vorsehen.

Vorteile der Erfindung

[0013] Erfindungsgemäß wurde überraschend und im Gegensatz zur herrschenden Meinung zu zwangsbelüfteten Rückkühlwerken (siehe beispielsweise die bereits zitierte Veröffentlichung Z.K. Morvay & D.D. Gvozdenac) erkannt, dass, bezogen auf die Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership, TCO), ein Kühlgrenzabstand unter 3 K für eine Vielzahl von Luftzerlegungsanlagen wirtschaftliche Vorteile bietet. Dabei sollte der Kühlgrenzabstand in Abhängigkeit des Kapitalwerts (in Geldeinheiten pro kW, Net Present Value, NPV) bei gegebener Feuchtkugeltemperatur unter Designbedingungen ausgewählt werden. Anlagen mit identischem Kapitalwert können somit unabhängig von den jeweiligen Umgebungsbedingungen ein Rückkühlwerk mit gleicher spezifisch abgeführter Wärmemenge erhalten. Dies ermöglicht eine systematische Auswahl der Kühltürme in Abhängigkeit des Kapitalwerts. Wie erwähnt, wird nach herrschender Meinung, insbesondere für reale industrielle Anwendungen wie Luftzerlegungsanlagen, ein Kühlgrenzabstand deutlich oberhalb von 3 K als sinnvoll angesehen. In der mehrfach zitierten Veröffentlichung von Z.K. Morvay & D.D. Gvozdenac wird eine Reihe von Effizienzverbesserungen vorgeschlagen, aber gerade nicht die Absenkung des Kühlgrenzabstands.

[0014] Die vorliegende Erfindung schlägt daher eine Luftzerlegungsanlage vor, in der zur Kühlung verdichteter Luft

ein Kühlwasserkreislauf mit einem Rückkühlwerk bereitgestellt ist, wobei das Rückkühlwerk dazu eingerichtet ist, Kühlwasser unter Verwendung von Kühlluft abzukühlen. Die erfindungsgemäße Luftzerlegungsanlage zeichnet sich dadurch aus, dass das Rückkühlwerk dazu eingerichtet ist, dass es zumindest bei einer Feuchtkugeltemperatur der Kühlluft von mehr als 289 K das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt. Mit anderen Worten wird mittels des Rückkühlwerks der erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage ein Kühlgrenzabstand von 3 K oder weniger, insbesondere auch 2 K oder weniger oder 1 K oder weniger, unter den genannten Bedingungen erzielt.

[0015] Wie sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung herausgestellt hat, ist die häufig in der Literatur vorzufindende Aussage, Rückkühlwerke mit einem Kühlgrenzabstand von weniger als 2 K seien technisch nicht realisierbar, falsch. Ebenso wurde die üblicherweise getroffene Verallgemeinerung, lediglich ein Kühlgrenzabstand von 3 bis 5 K wäre ökonomisch sinnvoll, als nicht richtig erkannt. Eine Angabe zur Realisierbarkeit sowie des ökonomischen Nutzens von Rückkühlwerken mit einem festgelegtem Kühlgrenzabstand unter Missachtung der Feuchtkugeltemperatur ist, wie im Rahmen der vorliegenden Erfindung erkannt wurde, nicht aussagekräftig.

[0016] Durch eine Verringerung des Kühlgrenzabstands auf Werte unter 3 K kann, wie erfindungsgemäß erkannt und nachfolgend dokumentiert, bei mittleren und hohen Feuchtkugeltemperaturen von mehr als 289 K die Wirtschaftlichkeit von Luftzerlegungsanlagen deutlich gesteigert werden. Die vorliegende Erfindung beruht damit auf einer wesentlichen Neubewertung zum Stand des Wissens der Kühlturmauslegung in Bezug auf Luftzerlegungsprozesse und kryogene Prozesse im Allgemeinen.

[0017] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung konnte gezeigt werden, dass ein effizienter arbeitendes Rückkühlwerk, das das Kühlwasser sehr nahe an das thermodynamisch mögliche Minimum (also die Feuchtkugeltemperatur) rückkühlt, eine signifikante Energieeinsparung der Luftzerlegungsanlage ermöglicht. Dies wird in den Figuren 2 und 3 verdeutlicht und weitere Details erläutert. Die Investitions-Mehrkosten (CAPEX) für ein effizienter arbeitendes und damit i.d.R. größeres Rückkühlwerk sind dabei durchschnittlich in etwa einem Jahr durch Einsparungen an den laufenden Kosten (OPEX) amortisiert. Die kurze Amortisationszeit der größeren Rückkühlwerke ist bedingt durch ihren geringen Anteil (typischerweise ca. 2%) an den Gesamtkosten für eine Luftzerlegungsanlage. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Investitionskosten und Betriebskosten mit einem konventionellen und einem erfindungsgemäßen Rückkühlwerk, hier einem entsprechenden Kühlturm.

[0018] Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann beispielsweise ein konventionell ausgelegtes Rückkühlwerk gegenüber einem erfindungsgemäß ausgelegten Rückkühlwerk entsprechend den Figuren 2 und 3 betrachtet werden. Als Rückkühlwerk wurde ein (zwangsbelüfteter) Kühlturm mit Wasserbecken zur Aufnahme des Rücklaufs angenommen. Eine geringere Kühlgrenztemperatur führt zu einem größeren Rückkühlwerk mit einem ebenfalls vergrößerten Becken und somit zu einem höheren Investitionspreis. Der Wassermassenstrom ist in beiden Fällen gleich groß. Entscheidend ist, dass bei einem großen Kühlturm bei gleicher Kühlwassermenge eine größere Luftmenge durch das Rückkühlwerk strömen kann, die das verdampfende Wasser aufnimmt und gleichzeitig eine stärkere konvektive Kühlung ermöglicht. Dies senkt die Kühlwassertemperatur im erfindungsgemäßen Kühlturm ab und führt aufgrund der geringeren Leistungsaufnahme an den Luftverdichtern und einem energetisch optimierten Kühlturm zu geringeren Betriebskosten. Im betrachteten Fall wurde jeweils von Stromkosten von 0,07 €/kWh ausgegangen. Die Ergebnisse für das Rückkühlwerk einer Luftzerlegungsanlage mit 500.000 Normkubikmeter pro Stunde Prozessluft sind in der Tabelle 1 angegeben, wobei sich die Betriebskosten auf ein Jahr beziehen.

Tabelle 1: Investitions- und Betriebskosten eines konventionell und eines erfindungsgemäß ausgelegten Kühlturms

Investitionskosten	konventionell	erfindungsgemäß	Mehrkosten
Becken	50.444 €	81.806 €	31.362 €
Kühlturm	211.500 €	475.500 €	264.000 €
Summe			295.362 €
Betriebskosten	konventionell	erfindungsgemäß	Einsparung
Kühlturm	89.250 €	91.630 €	2.380 €
Wasserpumpen	228.985 €	228.985 €	0 €
Luftverdichter	13.315.505 €	13.110.446 €	-205.059 €
Summe			-202.679 €

[0019] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird vorteilhafterweise ein Rückkühlwerk eingesetzt, das derart aus-

gebildet ist, dass es das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die mindestens 0,5 K, beispielsweise aber auch mindestens 1 K, mindestens 1,5 K oder mindestens 2 K, oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt. Ein optimaler Wertebereich für minimale und maximale Kühlgrenzabstände ergibt sich aus den obigen Überlegungen.

[0020] Grundsätzlich kann eine erfindungsgemäße Luftzerlegungsanlage ein beliebig ausgebildetes Rückkühlwerk aufweisen, insbesondere umfasst dieses jedoch einen Kühlturm. Insbesondere Rückkühlwerke bzw. Kühltürme mit Zwangsbelüftung werden bei Luftzerlegungsanlagen vielfach eingesetzt und sind bewährt und wartungsarm. Ein Kühlturm ermöglicht insbesondere eine vergleichsweise einfache Verringerung der Kühlgrenztemperatur durch Vergrößerung, wie zuvor erläutert.

[0021] Wie bereits zuvor erwähnt, eignet sich das unter Verwendung des Rückkühlwerks gekühlte Kühlwasser insbesondere zur Nachkühlung stromab von Verdichtern in einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage, so dass der Kühlwasserkreislauf einer erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage vorteilhafterweise einen Wärmetauscher umfasst, der stromab eines Luftverdichters oder einer Stufe eines entsprechenden Luftverdichters ist. Unter einem "Luftverdichter" wird hier eine ein- oder mehrstufige Anordnung verstanden, die zur Druckerhöhung eingerichtet ist, insbesondere ein Radial- bzw. Turboverdichter. Ein oder mehrere Wärmetauscher können sich stromab einer oder mehrerer Verdichterstufen befinden.

[0022] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann eine Kühlzonenbreite des Rückkühlwerks insbesondere von 5 bis 25 K, insbesondere von 8 bis 12 K, typischerweise ca. 10 K betragen.

[0023] Die Erfindung erstreckt sich ferner auf ein Verfahren zum Betreiben einer Luftzerlegungsanlage, in der zur Kühlung verdichteter Luft ein Kühlwasserkreislauf mit einem Rückkühlwerk bereitgestellt ist, wobei das Rückkühlwerk dazu eingerichtet ist, Kühlwasser unter Verwendung von Kühlluft abzukühlen. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass das Rückkühlwerk derart betrieben wird, dass es zumindest bei einer Feuchtkugeltemperatur der Kühlluft von mehr als 289 K das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt. Ebenso erstreckt sich die vorliegende Erfindung auf eine Steuereinrichtung einer Luftzerlegungsanlage, die dafür eingerichtet ist, ein entsprechendes Verfahren durchzuführen. In beiden Fällen sei bezüglich Merkmalen und Vorteilen auf die obigen Erläuterungen verwiesen.

[0024] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung zeigen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht.

[0026] In Figur 2 sind die Kühlwassertemperaturen und die entsprechenden Feuchtkugeltemperaturen zur Veranschaulichung einer Ausführungsform der Erfindung dargestellt.

[0027] In Figur 3A und 3B sind die erfindungsgemäß mögliche zusätzliche Abkühlung von Kühlwasser und die damit verbundenen Energieeinsparungen veranschaulicht.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0028] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0029] Der Luftzerlegungsanlage 100 wird über ein Filter 101 ein Einsatzluftstrom a zugeführt, mittels eines Hauptluftverdichters 102 verdichtet und in einem Direktkontaktkühler 103 gekühlt, welcher unter anderem mit einem abgekühlten Wasserstrom b aus einem Verdunstungskühler 104 beschickt wird. Der Wasserstrom b wird dabei über eine nicht gesondert bezeichnete Pumpe auf den Direktkontaktkühler 103 aufgegeben. Zur Bereitstellung des gekühlten Wasserstroms b wird dem Verdunstungskühler 104 Wasser eines Stroms c zugeführt, welches teilweise auch ohne vorige Kühlung in dem Verdunstungskühler 104 in den Direktkontaktkühler 103 eingespeist werden kann. Dem Direktkontaktkühler 103 wird ein Wasserstrom d entnommen.

[0030] Die dargestellten Wasserströme b, c und d sowie der Direktkontaktkühler 103 und der Verdunstungskühler 104 sind in einen hier mit 10 bezeichneten Kühlwasserkreislauf eingebunden, der auch beliebige weitere, nicht veranschaulichte Wasserströme, Pumpen, direkte und indirekte Wärmetauscher usw. umfassen kann. Beispielsweise kann der Hauptluftverdichter 102, wie hier stark vereinfacht veranschaulicht, zumindest zwei Verdichterstufen 1 und 2 aufweisen, zwischen welchen eine Zwischenkühlung mittels eines Zwischenkühlers 3 erfolgt. Typische Hauptluftverdichter 102 von Luftzerlegungsanlagen umfassen fünf bis neun Verdichterstufen und eine entsprechende Anzahl an Zwischenkühlern. Dem veranschaulichten Zwischenkühler 3, der für einen indirekten Wärmetausch eingerichtet ist, kann Kühlwasser in Form des Stroms s zugeführt werden. Bei dem Strom s kann es sich insbesondere um einen Teilstrom des Stroms c handeln, also Kühlwasser, das ebenfalls in dem Kühlwasserkreislauf 10 zirkuliert. Entsprechendes gilt für weitere (Nach-)Kühler wie unten erläutert. In den Kühlwasserkreislauf 10 können an beliebiger Stelle weitere Wasser-

ströme eingespeist werden, beispielsweise um Verdunstungsverluste auszugleichen, wie hier mit dem Wasserstrom e veranschaulicht. An zweckmäßiger Stelle in dem Kühlwasserkreislauf 10 können ferner Querverbindungen zwischen Wasserströmen, Regeleinrichtungen, Messfühler und dergleichen angeordnet sein.

[0031] Zentrale Komponente des Kühlwasserkreislaufs 10 ist ein Rückkühlwerk 11, das hier als Nasskühler veranschaulicht ist und beispielsweise als Kühlturm mit Zwangsbelüftung ausgebildet sein kann. Wie erwähnt, sind jedoch auch beliebige andere Ausgestaltungen möglich. Das Rückkühlwerk 11 ist für einen Betrieb gemäß einer zuvor erläuterten Ausführungsform der Erfindung eingerichtet. Dem Rückkühlwerk 11 wird ein Strom f atmosphärischer Luft mit einer am Standort der Luftzerlegungsanlage 100 herrschenden Feuchtkugeltemperatur zugeführt. Das Rückkühlwerk 11 ist beispielsweise derart ausgebildet, dass es Wasser eines im dargestellten Beispiel aus den Wasserströmen d und e gebildeten zu kühlenden Wasserstroms g bis auf ein Temperaturniveau abkühlt, das höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur des Luftstroms f liegt. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Feuchtkugeltemperatur des Luftstroms f oberhalb von 289 K liegt.

[0032] Die weitere Bearbeitung des verdichteten und gekühlten Einsatzluftstroms a, der nun mit h bezeichnet ist, entspricht weitgehend jener in herkömmlichen Luftzerlegungsanlagen, beispielsweise in einer Luftzerlegungsanlage, wie sie bei H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH, 2006, insbesondere Abschnitt 2.2.5, "Cryogenic Rectification", beschrieben ist:

Der verdichtete und gekühlte Einsatzluftstrom h, wird einem Adsorbersatz 105 zugeführt, der im Wechsel betrieb betriebene Adsorberbehälter umfasst und mittels eines Regeneriergasstroms i regeneriert werden kann. Der Regeneriergasstrom i kann mittels einer elektrisch und/oder mit Dampf betriebenen Regeneriergasheizung 106, erwärmt werden. Zur Bereitstellung des Regeneriergasstroms i kann ein Strom k verwendet werden, dessen Bereitstellung unten näher erläutert wird.

[0033] Ein in dem Adsorbersatz 50 getrockneter Druckluftstrom ist mit l bezeichnet. Je nach Ausführungsform der Luftzerlegungsanlage 100 kann der Druckluftstrom l auf einem Druck bereitgestellt werden, der eine Nachverdichtung erforderlich oder verzichtbar macht (letzteres bei sogenannten High Air Pressure-Verfahren). Im dargestellten Beispiel wird ein Teilstrom m des Druckluftstroms l einem Nachverdichter 107 zugeführt. Ein nicht gesondert bezeichneter Nachkühler des Nachverdichters 107 kann ebenfalls mit Wasser aus dem Kühlwasserkreislauf 10 gekühlt werden.

[0034] Der Teilstrom m und ein nicht nachverdichteter Teilstrom n des Druckluftstroms l werden gemäß der dargestellten Ausführungsform einem Hauptwärmetauscher 108 zugeführt und diesem auf unterschiedlichen Temperaturniveaus entnommen. Der Strom m kann mittels einer Generatorturbine 109 entspannt und nach Vereinigung mit dem Strom n in eine Hochdrucksäule 111 eines Destillationssäulensystems 110 eingespeist werden. Weitere Teilströme des Druckluftstroms l können in zweckmäßiger Weise gebildet, abgekühlt, nachverdichtet, entspannt und ebenfalls in Säulen des Destillationssäulensystems 110 eingespeist werden, beispielsweise ein bekannter, hier aber nicht veranschaulichter, Drosselstrom.

[0035] Die Hochdrucksäule 111 bildet zusammen mit einer Niederdrucksäule 112 ein Doppelsäulensystem bekannter Art. Im dargestellten Beispiel umfasst das Destillationssäulensystem zusätzlich eine Argonanreicherungsäule 113 und eine Reinargonsäule 114, die jedoch nicht vorgesehen sein müssen. Weitere Destillationssäulen können bereitgestellt sein.

[0036] Der Betrieb des Destillationssäulensystems 110 ist bekannt und wird daher nicht erläutert. Im dargestellten Beispiel können dem Destillationssäulensystem 110 unter anderem ein gasförmiger Stickstoffstrom o, sogenannter Unreinstickstoff in Form des Stroms p, aus dem nach Erwärmung in dem Hauptwärmetauscher 108 der Strom k und/oder ein Strom q gebildet und der Regeneriergasheizung 106 bzw. dem Verdunstungskühler 104 zugeführt werden können, und ein flüssiger, sauerstoffreicher Strom r entnommen werden. Anstelle des Stroms q kann auch beispielsweise ein kalter, stickstoffangereicherter Strom zum Einsatz kommen. Weitere Ströme werden nicht im Detail erläutert. Beliebige Ströme können in dem Hauptwärmetauscher 108 erwärmt, stromauf und/oder stromab des Hauptwärmetauschers 108 verdichtet bzw. druckbeaufschlagt, mit anderen Strömen vereinigt und in Teilströme aufgeteilt werden.

[0037] In Figur 2 sind die mittleren Kühlwassertemperaturen der Monate eines Jahres und die entsprechenden Feuchtkugeltemperaturen zur Veranschaulichung einer Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Die Kühlwassertemperatur ist in K auf der Ordinate gegenüber der Feuchtkugeltemperatur in K auf der Abszisse aufgetragen. In dem Diagramm sind die Feuchtkugeltemperatur in Form der Datenpunkte 201, die Kühlwassertemperatur bei herkömmlicher Auslegung eines als Kühlturm ausgebildeten Rückkühlwerks in Form der Datenpunkte 202 und die Kühlwassertemperatur bei einer Auslegung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form der Datenpunkte 203 veranschaulicht.

[0038] Die konventionelle Auslegung bewirkt bei einer Feuchtkugeltemperatur von 289 K einen Kühlgrenzabstand von 8 K. Gemäß der dargestellten Ausführungsform der Erfindung wurde der Kühlgrenzabstand um fünf Kelvin auf 3 K verringert. Die Verwendung eines effizienteren Kühlturms und somit ein Absenken der Kühlgrenztemperatur führt zu zwei Effekten, nämlich einerseits zu kälterem Kühlwasser und andererseits zu einem geringeren relativen Abstand der Kühlwassertemperatur zur Feuchtkugeltemperatur. Dies bedeutet, dass der Wirkungsgradverlust der Kühltürme für ein

Design mit kleinerem Kühlgrenzabstand grundsätzlich in kälteren Monaten geringer ist. Der Grund für den geringeren Wirkungsgradverlust eines großen Kühlturms in den kalten Monaten liegt im Wasser-Luftverhältnis, das zugunsten der Luft verschoben werden kann. Der Wassermassenstrom ist für beide Kühlturmvarianten gleich groß, entscheidend ist, dass bei einem großen Kühlturm bei gleicher Kühlwassermenge eine größere Luftmenge durch den Kühlturm strömen kann, die das verdampfende Wasser aufnimmt und gleichzeitig eine stärkere konvektive Kühlung ermöglicht. Gerade bei niedrigen Lufttemperaturen, bei denen die Luft wenig Wasser aufnehmen kann, wirkt sich dieser Effekt positiv aus.

[0039] In Figur 3A und 3B sind die erfindungsgemäß mögliche zusätzliche Abkühlung von Kühlwasser (Figur 3A) und die damit verbundenen Energieeinsparungen (Figur 3B) veranschaulicht. In Figur 3A ist eine Temperaturdifferenz in K, in Figur 3B eine Energiedifferenz in kW auf der Ordinate gegenüber dem Monaten Januar (J) bis Dezember (D) auf der Abszisse aufgetragen.

[0040] Wie aus Figur 3A ersichtlich, ergibt sich im Mittel ein um fast 5 K kälteres Kühlwasser. Die entsprechend aus Figur 3B ersichtliche Energieeinsparung beträgt zwischen 270 und 450 kW pro Monat und führt zu einer jährlichen durchschnittlichen Einsparung von 340 kW. Die Minimierung der Verdichterleistungsaufnahme um 340 kW entspricht 1,5% der Gesamtverdichterleistungsaufnahme.

Patentansprüche

1. Luftzerlegungsanlage (100), in der zur Kühlung verdichteter Luft ein Kühlwasserkreislauf (10) mit einem Rückkühlwerk (11) bereitgestellt ist, wobei das Rückkühlwerk (11) dazu eingerichtet ist, Kühlwasser unter Verwendung von Kühlluft abzukühlen, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rückkühlwerk (11) derart ausgebildet ist, dass es zumindest bei einer Feuchtkugeltemperatur der Kühlluft von mehr als 289 K das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt.
2. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 1, bei der das Rückkühlwerk (11) derart ausgebildet ist, dass sie das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die mindestens 0,5 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt.
3. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 1 oder 2, bei der das Rückkühlwerk (11) einen Kühlturm umfasst.
4. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 3, bei der das Rückkühlwerk (11) eine Zwangsbelüftung aufweist.
5. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der der Kühlwasserkreislauf (10) einen Wärmetauscher (103) umfasst, der stromab eines Verdichters (102, 107) angeordnet ist.
6. Luftzerlegungsanlage (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei der eine Kühlzonenbreite von 5 bis 25 K vorgesehen ist.
7. Verfahren zum Betreiben einer Luftzerlegungsanlage (100), in der zur Kühlung verdichteter Luft ein Kühlwasserkreislauf (10) mit einem Rückkühlwerk (11) bereitgestellt ist, wobei das Rückkühlwerk (11) dazu eingerichtet ist, Kühlwasser unter Verwendung von Kühlluft abzukühlen, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rückkühlwerk (11) derart ausgebildet ist und betrieben wird, dass es zumindest bei einer Feuchtkugeltemperatur der Kühlluft von mehr als 289 K das Kühlwasser auf eine Temperatur abkühlt, die höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die spezifische Packungsoberfläche und/oder das Verhältnis von Flüssigkeit zu Gas und/oder der Druckverlust in dem Rückkühlwerk (11) derart gewählt und/oder eingestellt wird, dass zumindest bei einer Feuchtkugeltemperatur der Kühlluft von mehr als 289 K das Kühlwasser auf die Temperatur abkühlt wird, die höchstens 3 K oberhalb der Feuchtkugeltemperatur liegt.

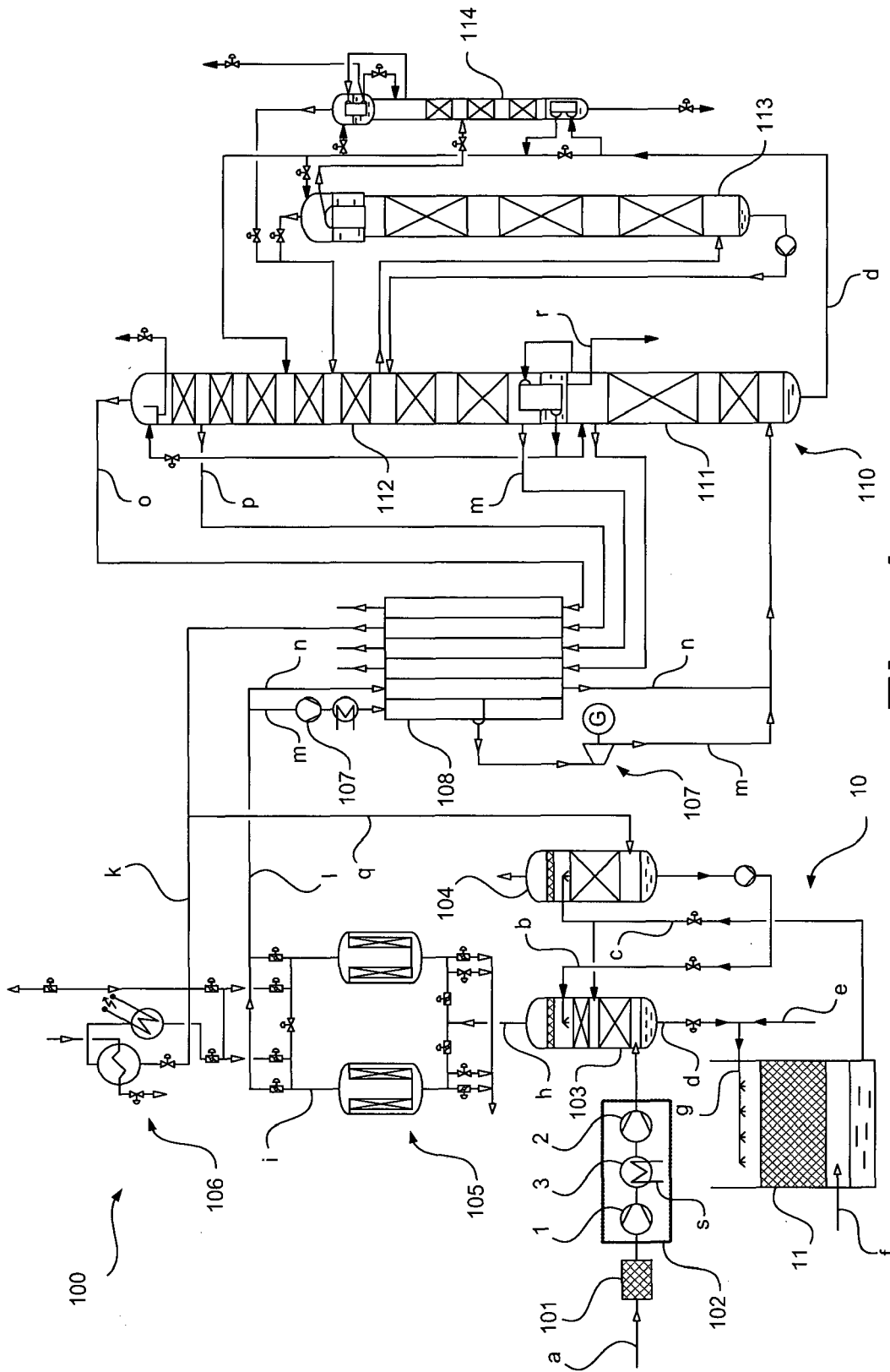


Fig. 1

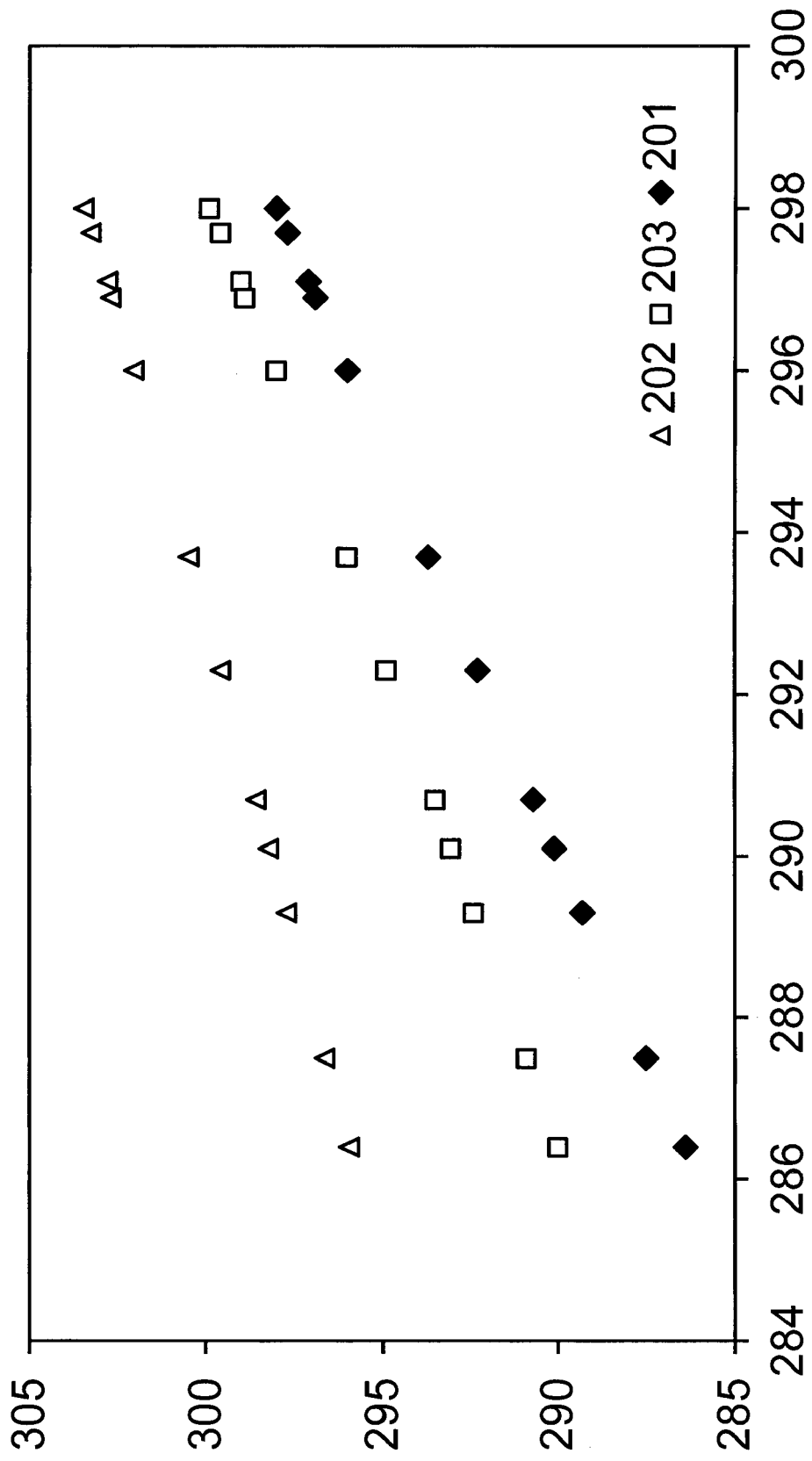


Fig. 2

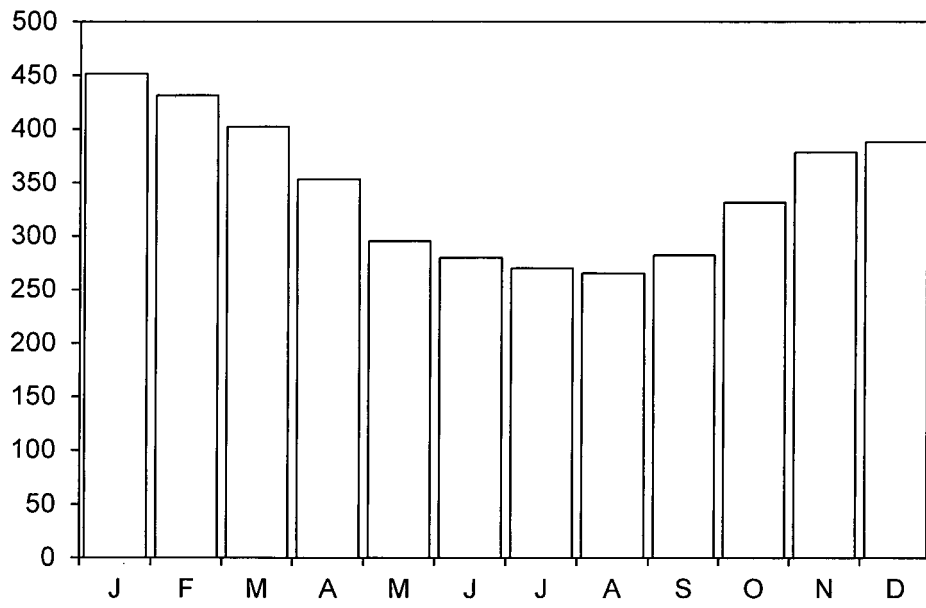


Fig. 3A

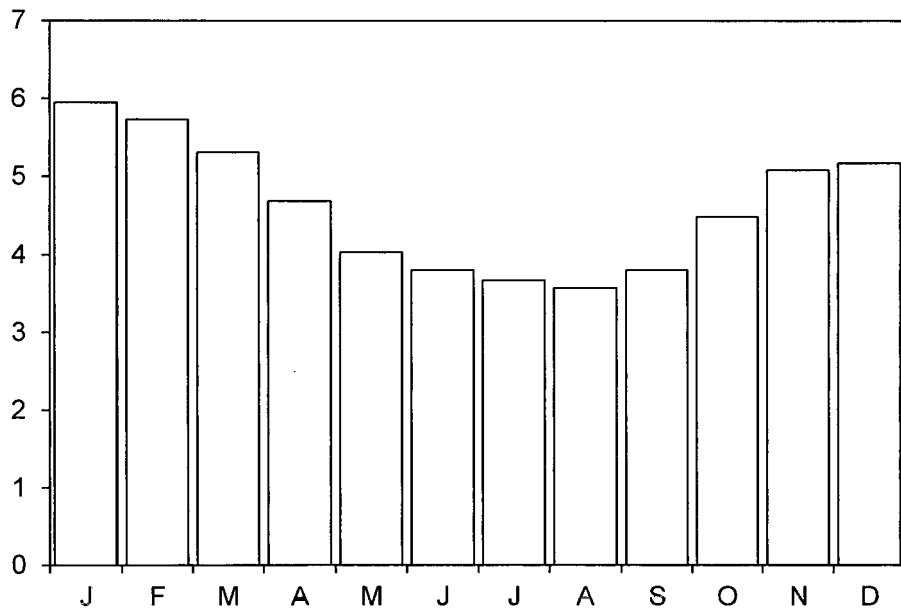


Fig. 3B



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 00 1509

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)
Y,D	EP 0 644 390 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 22. März 1995 (1995-03-22) * Spalte 3, Zeilen 50-54; Abbildung 1 * -----	1-8	INV. F25J3/04 F28C3/06 F28C1/00
Y,D	JP S58 85093 A (HITACHI LTD; HITACHI SANKI ENG) 21. Mai 1983 (1983-05-21) * Zusammenfassung; Abbildungen * -----	1-8	
Y	Advantage-Engineering: "SUBJECT: UNDERSTANDING THE ASPECTS THAT AFFECT COOLING TOWER PERFORMANCE", 6. Oktober 2004 (2004-10-06), Seiten 1-2, XP055244186, Gefunden im Internet: URL: http://www.advantageengineering.com/fyi/273/pdf/advantageFYI273.pdf [gefunden am 2016-01-25] * Seite 1, letzter Absatz * -----	1-8	
Y,D	V. D. PAPAETHIMIOU ET AL: "Thermodynamic study of wet cooling tower performance", INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH, Bd. 30, Nr. 6, 1. Mai 2006 (2006-05-01), Seiten 411-426, XP055243949, GB ISSN: 0363-907X, DOI: 10.1002/er.1158 * Tabelle II * ----- -/--	1-8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F25J F28C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. Dezember 2016	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)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 00 1509

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A, D	Z K Morvay ET AL: "APPLIED INDUSTRIAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT Part III: FUNDAMENTALS FOR ANALYSIS AND CALCULATION OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE 1 Applied Industrial Energy and Environmental Management", 8. Oktober 2008 (2008-10-08), Seiten 1-34, XP055243963, Gefunden im Internet: URL: http://www.wiley.com/legacy/wileychi/morvayindustrial/supp/toolbox12.pdf [gefunden am 2016-01-22] * Seite 2, Absatz 4 *	8	
A	JP S64 70635 A (NEC CORP) 16. März 1989 (1989-03-16) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,3 *	8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlussdatum der Recherche 12. Dezember 2016	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 16 00 1509

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.

12-12-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 0644390	A1	22-03-1995	CA 2132367 A1	22-03-1995
				CN 1104724 A	05-07-1995
				DE 69400794 D1	28-11-1996
				DE 69400794 T2	27-02-1997
				EP 0644390 A1	22-03-1995
				ES 2094030 T3	01-01-1997
				FR 2710370 A1	31-03-1995
				JP H07167554 A	04-07-1995
				US 5481880 A	09-01-1996
20				-----	
	JP S5885093	A	21-05-1983	JP S5885093 A	21-05-1983
				JP S6045797 B2	12-10-1985
25	-----				
	JP S6470635	A	16-03-1989	KEINE	
30	-----				
35					
40					
45					
50					
55					

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 0644390 A1 [0009]
- JP 5885093 A [0009]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Cryogenic Rectification. Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006 [0002] [0032]
- **K. MORVAY ; D.D. GVOZDENAC.** Applied Industrial Energy and Environmental Management, Part III: Toolbox - Fundamentals for Analysis and Calculation of Energy and Environmental Performance, Toolbox 12: Cooling Towers. Wiley, 2008 [0011]
- **V.D. PAPAETHIMIOU et al.** Thermodynamic Study of Wet Cooling Tower Performance. *Int. J. Energ. Res.*, 2006, vol. 30 (6), 411-426 [0011]
- Brackwasser- und Meerwasser zur industriellen Kühlung. **SÜBWASSER ; H. RIETSCHEL ; K. FITZNER.** Raumklimatechnik. 2000, vol. 2 [0012]
- Raumluft und Raumkühltechnik. Springer, 2008 [0012]
- **J.J. MCKETTA.** Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Marcel Dekker, 1997, vol. 58 [0012]
- **P.N. ANANTHANARAYANAN.** Basic Refrigeration and Air Conditioning. McGraw-Hill, 2006 [0012]
- **B. BUECKER.** *Power Plant Water Chemistry: A Practical Guide*, 1997 [0012]