

Vorrichtung zum Kühlen eines Verbrauchers mit einer unterkühlten Flüssigkeit in einem Kühlkreislauf

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Kühlen eines Verbrauchers, mit einem dem Verbraucher zugeordneten Kühlkreislauf zum Zirkulieren einer Kühlflüssigkeit, in dem eine Pumpe sowie ein Unterkühler vorgesehen ist, wobei der Unterkühler über eine mit einem Entspannungsventil ausgerüstete Zuführleitung mit einem Vorratstank für die Kühlflüssigkeit strömungsverbunden Behälter zur Aufnahme eines Kühlbades, eine am Behälter angeordnete Gasabzugsleitung zum Abführen verdampfter Kühlflüssigkeit sowie einen beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Vorrichtung in das Kühlbad eintauchenden und in den Kühlkreislauf integrierten Wärmetauscher aufweist.

Tiefsiedende verflüssigte Gase, wie beispielsweise flüssiger Stickstoff, flüssiger Sauerstoff oder verflüssigte Edelgase, können nur durch besonders gute Isolation der Speicherbehälter und der Rohrleitungen flüssig gehalten werden. Schon die geringste Wärmeeinstrahlung oder Reibungswärme kann je nach Siedezustand zu einer Teilverdampfung führen. Durch die Teilverdampfung sammeln sich Siedebölen im Kühlkreislauf, die die vorgesehene Kühlaufgabe beeinträchtigen. Um der Teilverdampfung entgegenzuwirken, empfiehlt es sich daher, die Flüssigkeit vor ihrer Zuführung an einen wärmeabgebenden Verbraucher zu unterkühlen. Als „Unterkühlung“ wird im Kontext der vorliegenden Erfindung die Kühlung einer Flüssigkeit auf eine Temperatur unterhalb ihrer Siedetemperatur beim jeweiligen Druck verstanden. Bei höher siedenden verflüssigten Gasen, wie z.B. Kohlendioxid oder fluorierten Kohlenwasserstoffen, lässt sich eine Unterkühlung verhältnismäßig einfach bewerkstelligen. Hierzu wird das flüssige Kühlmittel im Lagertank mittels eines elektrischen Kühlaggregates so weit unterkühlt, dass bei der Umwälzung in einem Ringleitungssystem durch Wärmeeinstrahlung und Reibungsverluste keine Teilverdampfung auftritt. Die hierzu notwendigen Aggregate sind jedoch aufgrund ihres hohen Leistungsbedarfs sehr teuer in Anschaffung und Betrieb.

In der DE 2929709 A1 wird eine Vorrichtung zum Unterkühlen einer Flüssigkeit beschrieben. Die Vorrichtung besteht aus einem wärmeisolierten Behälter, in dem

ein Kühlbad aus einem verflüssigten kryogenen Kühlmedium aufgenommen und in dessen Kopfraum ein Gasauslassventil angeordnet ist. Im Kühlbad ist ein von der zu unterkühlenden Flüssigkeit durchströmter Wärmetauscher, beispielsweise eine Kühlschlange, angeordnet. Zur Unterkühlung der Flüssigkeit wird dafür gesorgt, dass der Druck über dem Kühlbad geringer ist als der Druck innerhalb der Kühlschlange. Da sich das Kühlbad zwar im Siedezustand befindet, sein Druck aber gegenüber dem Druck der zu unterkühlenden Flüssigkeit reduziert ist, liegt seine Siedetemperatur unter der Siedetemperatur der zu unterkühlenden Flüssigkeit, die dadurch unterkühlt wird und innerhalb der bereits aufgetretene Gasblasen wieder verflüssigt werden. Je niedriger der Druck über dem Kühlbad ist, um so niedriger ist auch seine Siedetemperatur und um so wirkungsvoller ist die Unterkühlung der Flüssigkeit in der Kühlschlange.

Ein derartiger Unterkühler kann nun zur Kühlung eines Verbrauchers eingesetzt werden, indem er beispielsweise in einen dem Verbraucher zugeordneten Kühlkreislauf eingebaut wird. Durch den Unterkühler wird dem Verbraucher laufend unterkühlte Kühlflüssigkeit zugeführt. Bei entsprechender Auslegung ist es möglich, die bei der Unterkühlung der Kühlflüssigkeit entnommene Wärme dem Wärmeeintrag durch den Verbraucher derart anzupassen, dass die Kühlflüssigkeit auch beim Wärmekontakt mit dem Verbraucher nicht ihre Siedetemperatur erreicht, sodass sie im Kühlkreislauf im stets flüssigen Zustand vorliegt.

Kühlkreisläufe dieser Art sollten zum Ausgleich von Dichte- oder Volumenschwankungen, insbesondere auch im Falle eines unregelmäßigen Wärmeeintrags, mit einem Ausgleichsgefäß ausgerüstet sein, in dem sich oberhalb eines Pegels der Kühlflüssigkeit ein Gas zum Druckausgleich befindet. Beispielsweise wird in der EP 1 355 114 A2 ein geschlossener Kühlkreislauf zum Kühlen von Bauteilen, wie beispielsweise hochtemperatursupraleitende Kabel, mit einer kryogenen Flüssigkeit als Kälteträger beschrieben, bei dem ein dem Kühlkreislauf zugeordnetes Ausgleichsgefäß dazu dient, den Kühlkreislauf unter einem erhöhten Betriebsdruck von beispielsweise 2 bar bis 20 bar zu halten und plötzlich auftretende Gasbildungen im geschlossenen Kreislauf sowie Leckageverluste auszugleichen. Das Ausgleichsgefäß ist dabei unmittelbar mit dem Kühlkreislauf verbunden und mit der gleichen kryogenen Flüssigkeit befüllt, die auch im Kühlkreislauf umläuft.

Der im Kühlkreislauf integrierte Ausgleichsbehälter schränkt jedoch die Möglichkeiten und insbesondere die Temperaturen ein, mit denen der Kühlkreislauf betrieben werden kann. Insbesondere gelingt der Druckausgleich mittels verdampfter Kühlflüssigkeit nicht oder nicht ohne weiteres bei Kühlkreisläufen, die mit unterkühlten Flüssigkeiten arbeiten, da ein Eindringen unterkühlter Flüssigkeit in den Ausgleichsbehälter das dort anwesende gasförmige Kühlmedium kondensieren und den Druck im Ausgleichsbehälter unter den Betriebsdruck senken würde. Als Ausweg könnte in Betracht gezogen werden, ein tiefer siedendes Gas, beispielsweise Helium, als Druckausgleichsgas im Gasraum des Ausgleichsbehälters zu verwenden oder innerhalb des Ausgleichsbehälters eine Trennmembran zwischen Gasphase und Flüssigphase vorzusehen. Beides ist jedoch mit einem hohen Aufwand an Aufbau und Unterhalt verbunden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung zum Kühlen eines Verbrauchers mit einer unterkühlten Kühlflüssigkeit in einem Kühlkreislauf zu schaffen, bei der ein Druckausgleich im Kühlkreislauf mit einfachen Mitteln zu realisieren ist.

Diese Aufgabe ist bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art und Zweckbestimmung dadurch gelöst, dass vom Kühlkreislauf eine beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Vorrichtung strömungsoffene Verbindungsleitung abzweigt, die mit dem Vorratstank und/oder der zum Kühlbad des Unterkühlers führenden Zuführleitung stromauf zum Entspannungsventil, strömungsverbunden ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst also in an sich zunächst bekannter Weise einen Kühlkreislauf, in dem neben dem Verbraucher eine Pumpe zum Fördern der Kühlflüssigkeit (die Begriffe „Kühlflüssigkeit“ und „flüssiges Kühlmedium“ werden im Folgenden synonym verwendet), sowie ein stromauf zum Verbraucher angeordneter Unterkühler vorgesehen ist. Durch den Unterkühler wird die Kühlflüssigkeit auf eine Temperatur unterhalb ihrer Siedetemperatur beim jeweiligen Druck gebracht, wobei zweckmäßigerweise die Unterkühlung so weit erfolgt, dass die der Kühlflüssigkeit bei der Unterkühlung entnommene Wärmemenge zumindest den Wärmeeintrag durch den Verbraucher, die Pumpe und etwaige Leitungsverluste

kompensiert. Der Unterkühler umfasst einen im Kühlkreislauf integrierten Wärmetauscher, durch den das zu unterkühlende flüssige Kühlmedium strömt und der in einem Kühlbad aufgenommen ist. Das Kühlbad ist seinerseits in einem druckfesten und gasdichten Behälter aufgenommen und besteht aus der gleichen Substanz wie die im Kühlkreislauf umlaufende Kühlflüssigkeit, liegt jedoch bei einer niedrigeren Temperatur als diese vor. Um die niedrige Temperatur des Kühlbads zu erreichen, wird über eine Gasableitung der Druck der Gasphase über dem Kühlbad entsprechend eingestellt, und zwar auf einen Wert (nachfolgend „Zildruck“ genannt), bei dem die Siedetemperatur der Kühlflüssigkeit im Kühlbad unterhalb der Siedetemperatur der Kühlflüssigkeit im Kühlkreislauf liegt. Die Temperaturdifferenz zwischen Kühlmedium im Kühlkreislauf wird also im Wesentlichen aufgrund einer Druckdifferenz zwischen Kühlbad und Kühlkreislauf bewirkt. Durch den Wärmetausch mit dem Kühlbad wird die Kühlflüssigkeit im Kühlkreislauf auf eine Temperatur unterhalb ihres Siedepunktes gebracht (nachfolgend „Zieltemperatur“ genannt). Die Differenz zwischen Siedetemperatur im Kühlkreislauf und der Zieltemperatur wird dabei im Wesentlichen durch den Wärmeeintrag durch den Verbraucher, die Pumpe und die Leitungen des Kühlkreislaufs bestimmt, und kann insbesondere auch in Abhängigkeit vom Wärmeeintrag geregelt werden. Um den aufgrund des Wärmeeintrags am Wärmetauscher eintretenden Verlust an Kühlflüssigkeit im Kühlbad zu kompensieren, steht das das Kühlbad aufnehmende Druckgefäß mit einem Vorratstank für Kühlflüssigkeit in Strömungsverbindung. Die den Sumpf des Vorratstanks mit dem Kühlbad verbindende Flüssigkeitszuleitung ist mit einem Entspannungsventil ausgerüstet, welches gewährleistet, dass der Zildruck über dem Kühlbad nicht überschritten wird. Als flüssiges Kühlmedium kommt bevorzugt ein tiefkaltes verflüssigtes Gas, beispielsweise flüssiger Stickstoff oder ein verflüssigtes Edelgas, zum Einsatz.

Um im Kühlkreislauf einen aufgrund von möglichen Dichte- oder Volumenschwankungen erforderlichen Druckausgleich zu schaffen, wird gemäß der Erfindung der Vorratstank selbst eingesetzt. Dazu ist der Vorratstank mit dem Kühlkreislauf über eine Verbindungsleitung strömungsverbunden, die von der Flüssigkeitszuleitung stromauf zum Entspannungsventil abzweigt und die während des bestimmungsgemäßen Einsatzes der Vorrichtung stets in beiden Richtungen strömungsoffen gehalten wird. Die Verbindungsleitung mündet dabei in den

Vorratstank selbst oder in die den Vorratstank mit dem Kühlbad im Unterkühler verbindende Flüssigkeitszuleitung ein, in jedem Falle stromauf zum Entspannungsventil. Bei Auftreten einer Dichte- oder Volumenschwankung kann auf diese Weise Kühlflüssigkeit aus dem Vorratstank in den Kühlkreislauf zu- bzw. aus diesem in den Vorratstank abfließen, ohne dass hierdurch die Druckverhältnisse im Bereich des Kühlbades wesentlich beeinflusst werden. Der eigentliche Druckausgleich erfolgt über die im Vorratstank über der Kühlflüssigkeit vorliegenden Gasphase. Insbesondere dann, wenn im Vorratstank ein im Vergleich zum Volumen des Kühlkreislaufs großes Volumen an Kühlflüssigkeit aufrecht erhalten wird, verhindert die Menge der Kühlflüssigkeit im Vorratstank und sein hydrostatischer Druck, dass über die Verbindungsleitung in den Sumpf des Vorratstanks einströmende unterkühlte Kühlflüssigkeit die Temperatur des flüssigen Kühlmediums im Vorratstank so weit herabsetzt, dass die Gasphase im Vorratstank kollabiert. Der Druck im Vorratsbehälter kann jedoch ggf. mittels eines mit dem Vorratstank verbundenen Druckaufbauverdampfers, beispielsweise eines Luftverdampfers, auf einen vorgegebenen Druck gehalten werden. Ein separates Ausgleichsgefäß ist daher im Kühlkreislauf nicht erforderlich, wodurch zudem der Aufbau der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung gegenüber Kühlkreisläufen nach dem Stande der Technik vereinfacht und der durch den Wärmeeintrag in das Ausgleichsgefäß verursachte Energieverlust vermieden wird.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist in der Flüssigkeitszuleitung, stromauf zum Entspannungsventil, jedoch stromab zur Ausmündung der Verbindungsleitung in der Flüssigkeitszuleitung, ein zweiter Unterkühler angeordnet. Durch den zweiten Unterkühler wird verhindert, dass mehr als nur ein unwesentlicher Teil des flüssigen Kühlmediums beim Erreichen des Entspannungsventils im gasförmigen Zustand vorliegt, was die Funktionsfähigkeit des Entspannungsventils beeinträchtigen und auch die Funktionsfähigkeit des ersten Unterkühlers (nachfolgend „Hauptunterkühler“ genannt) beeinflussen würde. Als zweiter Unterkühler kommt beispielsweise ein Gegenstand zum Einsatz, bei dem eine das zu unterkühlende Medium transportierende Leitung durch ein Kühlbad geführt und mit diesem thermisch verbunden ist, dessen Temperatur niedriger ist als das durch die Leitung geführte Medium.

Eine andere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass in der Zuführleitung, stromauf zum Entspannungsventil und stromab zur Abzweigung der Verbindungsleitung ein Phasenabscheider vorgesehen ist. Als Phasenabscheider dient beispielsweise ein Behälter, dem das zu trennende Medium zugeführt wird und in dem sich das Medium in eine sich am Boden des Behälters sammelnde flüssige Phase (die anschließend zum Unterkühler weitergeleitet wird) und eine darüber befindliche Gasphase (die abgezogen und ggf. einer anderweitigen Verwendung zugeführt wird) auftrennt. Der Phasenabscheider dient insbesondere dazu, Flash-Gas aus der Verbindungsleitung in die Flüssigzuleitung zum Kühlbad des Hauptunterkühlers von der Flüssigkeit zu trennen und nicht in den Hauptunterkühler gelangen zu lassen. Der Phasenabscheider kann im Übrigen auch zum Vorkühlen des dem Hauptunterkühler zugeführten Kühlmediums eingesetzt werden. In diesem Fall ist stromauf zum Phasenabscheider, jedoch stromab zur Abzweigung der Verbindungsleitung ein weiteres Entspannungsventil angeordnet, und der Phasenabscheider wird bei einem niedrigeren Druck als der Druck in Sumpf des Vorratstanks, beispielsweise drucklos (1 bar), betrieben. Der zusätzliche Unterkühler bzw. der zusätzliche Phasenabscheider entlasten den Hauptunterkühler und reduzieren den Verbrauch an Kühlmedium insbesondere dann, wenn durch Anlegen eines Unterdrucks ($p < 1$ bar) im Kühlbad des Hauptunterkühlers eine besonders tiefe Kühltemperatur erreicht werden soll.

Grundsätzlich kann die Verbindungsleitung an jedem Punkt des Kühlkreislaufs in diesen einmünden, bevorzugt jedoch mündet sie stromauf zum Unterkühler in den Kühlkreislauf ein, um die Temperatureinflüsse des Unterkühlers auf den Vorratstank so gering wie möglich zu halten. Um etwaige Dichteschwankungen im Bereich des Verbrauchers besonders gut ausgleichen zu können, mündet besonders bevorzugt die Verbindungsleitung stromab zum Verbraucher, jedoch stromauf zur Pumpe in den Kühlkreislauf ein.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Gasabzugsleitung mit einer Vakuumpumpe ausgerüstet ist. Auf diese Weise kann der Zieldruck in dem das Kühlbad aufnehmenden Druckbehälter auf einen Wert unterhalb des Umgebungsdrucks, also unterhalb von 1 bar, abgesenkt werden und somit eine noch tiefere Temperatur im Kühlbad erreicht werden.

Vorteilhafterweise ist der Vorratstank mit einem Druckaufbauverdampfer, beispielsweise einem Luftverdampfer, ausgerüstet. Dadurch wird ein gleichbleibender Druck im Vorratstank aufrecht erhalten.

Eine abermals bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Mess- und Regeleinrichtung die Temperatur des Kühlbades in Abhängigkeit vom Wärmeeintrag im Kühlkreislauf regelbar ist. So wird beispielsweise die Temperatur der Kühlflüssigkeit im Kühlkreislauf laufend oder in vorgegeben Zeitabständen erfasst und die ermittelten Werte einer Regeleinheit zugeleitet und mit einem Sollwert der Temperatur verglichen. Anschließend wird der Druck in dem das Kühlbad aufnehmenden Druckbehälter durch Nachjustierung des Entspannungsventils im Flüssigkeitszulauf und/oder der Vakuumpumpe am Gasauslass eingestellt.

Besonders eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kühlung eines supraleitenden, insbesondere hochtemperatursupraleitenden, Bauteils. In diesem Falle ist der im Kühlkreislauf integrierte Verbraucher also ein supraleitendes Bauteil, beispielsweise ein supraleitendes Kabel oder ein supraleitender Magnet. Derartige supraleitende Bauteile müssen zur Erreichung und Aufrechterhaltung des supraleitenden Zustandes auf einer niedrigen Betriebstemperatur gehalten werden, deren Wert, abhängig vom Material und der Belastung durch Strom und magnetischem Fluss, zwischen nahezu Null und derzeit (bei einigen Hochtemperatursupraleitern) bei ca. 140 K beträgt. Zur Erreichung der Betriebstemperatur wird das supraleitende Bauteil beispielsweise mittels flüssigem Stickstoff, flüssigem Helium oder einem anderen verflüssigten Gas gekühlt. Während des Betriebs tragen die supraleitenden Bauteile jedoch so gut wie keine Wärme in das Kühlmedium ein, sie eignen sich daher besonders gut zur Kühlung mittels einer in einem Kühlkreislauf umlaufenden unterkühlten Flüssigkeit.

Beispiel:

In einem Kühlkreislauf zum Kühlen eines Verbrauchers, beispielsweise eines supraleitenden Kabels, komme flüssiger Stickstoff als Kühlmedium zum Einsatz, der bei einem Druck von 8 bis 10 bar im Kühlkreislauf zirkuliert. Durch einen im Kühlkreislauf angeordneten Unterkühler wird der Stickstoff auf eine Temperatur von

-206°C gebracht. Nach Durchlaufen von Verbraucher und Pumpe weist er am Eingang des Unterkühlers eine Temperatur von -200°C auf. Die der Temperaturdifferenz entsprechende Wärme wird dem flüssigen Stickstoff entzogen, indem der Druck im Kühlbad des Unterkühlers mittels einer Vakuumpumpe auf einen Wert von beispielsweise zwischen 0,15 und 0,2 bar gebracht wird. Der Druck im Kühlkreislauf entspricht dem Druck am Sumpf des Vorratsbehälters, sodass der Vorratsbehälter entsprechend der Erfindung als Ausgleichsgefäß eingesetzt werden kann.

Die Zeichnungen veranschaulichen Ausführungsbeispiele der Erfindung. In schematischen Ansichten zeigen:

Fig. 1: Das Schaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ausführungsform,

Fig. 2: Das Schaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer zweiten Ausführungsform,

Fig. 3: Das Schaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in dritten ersten Ausführungsform.

Im Folgenden weisen gleich wirkende Teile der dargestellten Ausführungsformen jeweils die gleiche Bezugsziffer auf.

Die in Fig 1 gezeigte Vorrichtung 1 umfasst einen Kühlkreislauf 2 zum Kühlen eines hier nicht gezeigten Verbrauchers, beispielsweise eines supraleitenden Kabels oder Magneten. Der Kühlkreislauf 2 umfasst eine Vorlaufleitung 3 zum Hinführen eines flüssigen Kühlmediums, insbesondere eines kryogenen Kühlmediums wie beispielsweise flüssiger Stickstoff, LNG oder ein verflüssigtes Edelgas, zum Verbraucher und eine Rücklaufleitung 4 zum Abführen von flüssigem Kühlmedium vom Verbraucher. Vorlaufleitung 3 und Rücklaufleitung 4 sind miteinander strömungsverbunden, eine Pumpe 5 bewirkt die Förderung des flüssigen Kühlmediums im Kühlkreislauf 2.

Stromab zur Pumpe 5 ist in der Vorlaufleitung ein Unterkühler 6 angeordnet. Der Unterkühler 6 umfasst einen Druckbehälter 7 in dem ein Kühlbad 8 aufgenommen

ist. In das Kühlbad 8 taucht die durch den Druckbehälter 7 hindurch geführte Vorlaufleitung 3 mit einem Wärmetauscher, beispielsweise einer Kühlschlange 9 ein. Zum Zuführen von frischem flüssigem Kühlmedium an das Kühlbad 8 mündet eine mit dem Sumpf eines Vorratstanks 11, beispielsweise einem Standtank, verbundene Zuführleitung 12 in den Druckbehälter 7 ein. Der Druck im Vorratstank 11 wird dabei über eine Tankdruckregelung, beispielsweise unter Einbeziehung eines Luftverdampfers 13 auf einem vorgegebenen Wert gehalten. In der Zuführleitung 12 ist ein Entspannungsventil 14 angeordnet, mittels dessen ein maximaler Druck in der Zuführleitung 12 stromab zum Entspannungsventil 14 einstellbar ist. In einem oberen und beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Vorrichtung 1 von gasförmigem Kühlmedium gefüllten Bereich innerhalb des Druckbehälters 7 mündet eine Gasabzugsleitung 15 ein, in der – optional – eine Vakuumpumpe 16 integriert ist. Der Kühlkreislauf 2 und die mit dem Vorratstank 11 strömungsverbundenen Armaturen sind strömungstechnisch nicht unabhängig voneinander, sondern über eine Verbindungsleitung 17 miteinander gekoppelt, die zwischen einem Verzweigungspunkt 18 stromauf zum Entspannungsventil und einem Verzweigungspunkt 19 stromauf zur Pumpe 5 eine Strömungsverbindung zwischen der Zuführleitung 12 und dem Kühlkreislauf 2 herstellt.

Im Betrieb der Vorrichtung 1 strömt das flüssige Kühlmedium durch den Kühlkreislauf 2. Der Druck im Kühlkreislauf 2 entspricht im Wesentlichen dem Druck am Boden des Vorratstanks 11, weist also eine Siedetemperatur auf, die höher ist als die an der Flüssigkeitsoberfläche im Vorratstank 11 herrschende Siedetemperatur des Kühlmediums. Das Kühlmedium wird einem Verbraucher über die Vorlaufleitung 3 im unterkühlten Zustand zugeführt, und das durch Wärmekontakt mit dem Verbraucher und/oder mit zum bzw. vom Verbraucher führenden Leitungsabschnitten erwärmte Kühlmedium strömt, immer noch im flüssigen und bevorzugt unterkühlten Zustand, über die Rücklaufleitung 4 vom Verbraucher ab und wird mittels der Pumpe 5 wieder in die Vorlaufleitung 3 eingespeist.

Um zu gewährleisten, dass das Kühlmedium im gesamten Kühlkreislauf 2 im flüssigen Zustand vorliegt, wird das Kühlmedium in der Vorlaufleitung 3 mittels des Unterkühlers 6 auf eine vorgegebene Temperatur von beispielsweise 5 K bis 10 K

unterhalb seiner Siedetemperatur gekühlt. Die „vorgegebene Temperatur“ wird so gewählt, dass der gesamte Wärmeeintrag im Kühlkreislauf 2 nicht oder höchstens ausreicht, um das unterkühlte Kühlmedium auf seine Siedetemperatur zu erwärmen. Dazu wird das Kühlmedium im Kühlbad 8 auf einem niedrigeren Druck als das Kühlmedium im Kühlkreislauf 2 gebracht, sodass die Siedetemperatur bei dem im Druckbehälter 7 vorliegenden Druck unterhalb der vorgegebenen Temperatur des Kühlmediums in der Vorlaufleitung 3 liegt. Der erforderliche Druck wird am Entspannungsventil 14 eingestellt; bedarfsweise kann der Druck durch den Einsatz der Vakuumpumpe 16 auch auf einen Druck von unter 1 bar reduziert werden. Das über die Gasabzugsleitung 15 abgeführte Gas wird in die Umgebung abgelassen oder einer weiteren Verwendung zugeführt. Es ist im Übrigen im Rahmen der Erfindung auch vorstellbar, dass der Druck im Druckbehälter 7 in Abhängigkeit von einer gemessenen Temperatur des Kühlmediums in der Vorlaufleitung 3 geregelt wird.

Im Falle des Auftretens von Druckschwankungen beim Betrieb des Kühlkreislaufs 2 ist ein Ausgleichsvolumen erforderlich. Als ein solche Ausgleichsvolumen dient bei der Vorrichtung 1 der Vorratstank 11, da über die während des Betriebs der Vorrichtung 1 in beide Richtungen strömungsoffene Verbindungsleitung 19 Kühlmedium frei zwischen dem Kühlkreislauf 2 und dem Vorratstank 11 fließen kann. Für einen gegebenenfalls im Vorratstank 11 erforderlichen Druckaufbau sorgt der Druckaufbauverdampfer 13. Die Vorrichtung 1 kommt somit ohne ein dem Kühlkreislauf 2 zugeordnetes separates Ausgleichsgefäß aus. Da der Abzweigpunkt 18 in der Zuführleitung 12 stromauf zum Entspannungsventil 14 angeordnet ist, und das Entspannungsventil 14 auf einen vorgegebenen Enddruck regelt, führen auftretende Druckschwankungen im Kühlkreislauf 2 nicht zu einer nennenswerten Beeinflussung der Druckverhältnisse im Behälter 7.

Die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung 20 unterscheidet sich von der Vorrichtung 1 lediglich durch einen zusätzlichen Unterkühler 21, der in der Zuführleitung 12 stromauf zum Entspannungsventil 14 angeordnet ist. Der Unterkühler 21 weist einen Wärmetauscher 22 auf, der in einem Kühlbad 23 aufgenommen ist. Das Kühlbad 23 wird ebenfalls aus dem Vorratstank 11 gespeist, wobei jedoch ein Entspannungsventil 24 dafür sorgt, dass der Druck im Kühlbad 23 geringer als in der Leitung 12 ist,

und damit die Temperatur des Kühlbades 23 niedriger als die Temperatur des durch den Wärmetauscher 22 fließenden Kühlmediums ist. Durch die Unterkühlung des durch die Zuführleitung 12 fließenden Kühlmediums wird verhindert, dass ein wesentlicher Teil des Kühlmediums das Entspannungsventil 14 im bereits verdampften Zustand erreicht, wodurch die Funktionsfähigkeit des Entspannungsventils 14 leiden und die Leistungsfähigkeit des Unterkühlers 6 beeinflusst werden würde.

Bei der in Fig. 3 gezeigten Vorrichtung 25 befindet sich in der Zuführleitung 12, stromauf zum Entspannungsventil 14, ein Phasenseparator 26 und stromauf zu diesem ein weiteres Entspannungsventil 27. Der Phasenseparator umfasst ein Gefäß 28 in dem sich gasförmiges Kühlmedium, das stromauf zum Phasenseparator 26 durch Verdampfen von flüssigem Kühlmedium entstanden ist und/oder aus dem Kühlkreislauf 2 über die Verbindungsleitung 19 eingetragen wurde, in einer Gasphase 29 im Phasenseparator 26 sammelt, während das im flüssigen Zustand verbliebene Kühlmedium im Phasenseparator 26 eine flüssigen Phase 30 ausbildet. Die flüssige Phase 30 ist über den stromab vom Phasenseparator 26 gelegenen Abschnitt der Zuführleitung 12 mit dem Unterkühler 6 strömungsverbunden, während über eine mit der Gasphase 29 strömungsverbundene Gasableitung 31 Gas aus der die Gasphase 29 abgeführt werden kann. Durch den Phasenseparator 26 wird, ähnlich wie durch den zweiten Unterkühler 21 in Vorrichtung 20, sichergestellt, dass unmittelbar stromauf zum Entspannungsventil 14 kein oder nur in geringfügigen Mengen gasförmiges Kühlmedium in der Zuleitung 12 vorhanden ist, wodurch Störungen in der Funktion des Entspannungsventils 14 vermieden werden; gleichzeitig kann er zur Vorkühlung des dem Unterkühler 6 zugeführten Kühlmediums eingesetzt werden, indem die Gasphase 29 während des Betriebs auf einem geringeren Druck als der Druck am Boden des Vorratstanks 11 gehalten wird.

Bezugszeichenliste

1. Vorrichtung
2. Kühlkreislauf
3. Vorlaufleitung
4. Rücklaufleitung
5. Pumpe
6. Unterkühler
7. Druckbehälter
8. Kühlbad
9. Kühlschlange
10. –
11. Vorratstank
12. Zuführleitung
13. Luftverdampfer
14. Entspannungsventil
15. Gasabzugsleitung
16. Vakuumpumpe
17. Verbindungsleitung
18. Abzweigpunkt
19. Abzweigpunkt
20. Vorrichtung
21. Unterkühler
22. Wärmetauscher
23. Kühlbad
24. Entspannungsventil
25. Vorrichtung
26. Phasenseparator
27. Entspannungsventil
28. Behälter
29. Gasphase
30. Flüssige Phase
31. Gasableitung

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Kühlen eines Verbrauchers, mit einem dem Verbraucher zugeordneten Kühlkreislauf (2) zum Zirkulieren einer Kühlflüssigkeit, in dem eine Pumpe (5) sowie ein Unterkühler (6) vorgesehen ist, wobei der Unterkühler (6) einen über eine mit einem Entspannungsventil (14) ausgerüstete Zuführleitung (12) mit einem Vorratstank (11) für die Kühlflüssigkeit strömungsverbunden Behälter (7) zur Aufnahme eines Kühlbades (8), eine am Behälter (7) angeordnete Gasabzugsleitung (15) zum Abführen verdampfter Kühlflüssigkeit sowie einen beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Vorrichtung (1, 20, 25) in das Kühlbad (8) eintauchenden und in den Kühlkreislauf (2) integrierten Wärmetauscher (9) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass vom Kühlkreislauf (2) eine beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Vorrichtung (1, 20, 35) strömungsoffene Verbindungsleitung (17) abzweigt, die mit dem Vorratstank (11) und/oder der zum Kühlbad (8) des Unterkühlers (6) führenden Zuführleitung (12) stromauf zum Entspannungsventil (14), strömungsverbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Zuführleitung (12), zwischen der Ausmündung (18) der Verbindungsleitung (17) und dem Entspannungsventil (14), ein zweiter Unterkühler (21) angeordnet ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Zuführleitung (12), stromauf zum Entspannungsventil (14), ein Phasenabscheider (26) vorgesehen ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungsleitung (17) stromab zum Verbraucher, jedoch stromauf zur Pumpe (5) in den Kühlkreislauf (2) einmündet.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasabzugsleitung (15) mit einer Vakuumpumpe (16) ausgerüstet ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorratstank (11) mit einem Druckaufbauverdampfer (13) ausgerüstet ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Mess- und Regeleinrichtung die Temperatur des Kühlbades (8) in Abhängigkeit vom Wärmeeintrag im Kühlkreislauf (2) regelbar ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Verbraucher ein supraleitendes Bauteil vorgesehen ist.