



(11) **EP 3 511 649 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**17.07.2019 Patentblatt 2019/29**

(51) Int Cl.:  
**F25B 9/00 (2006.01)** **F25B 19/00 (2006.01)**  
**F25B 23/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **18020651.8**

(22) Anmeldetag: **21.12.2018**

(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**

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

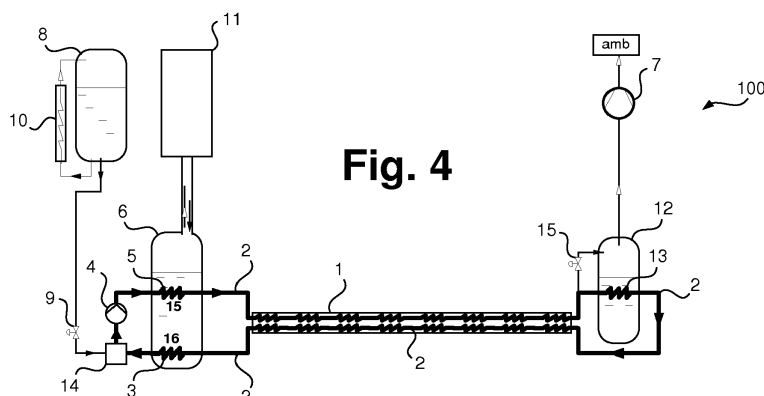
(72) Erfinder:  
• **Decker, Lutz**  
**8400 Winterthur (CH)**  
• **Alekseev, Alexander**  
**82515 Wolfratshausen (DE)**  
• **van Dorth, Wim**  
**1687PM Wognum (NL)**

(30) Priorität: **12.01.2018 EP 18020015**

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM KÜHLEN EINES VERBRAUCHERS SOWIE SYSTEM MIT ENTSPRECHENDER VORRICHTUNG UND VERBRAUCHER**

(57) Ein Verfahren zur Kühlung eines Verbrauchers (1) über eine Kühlstrecke, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt, wobei flüssiger Stickstoff in Form eines Kreislaufstroms (2) wiederholt einer ersten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt, von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen, einer zweiten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zugeführt, von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert und der Kühlstrecke an dem ersten Ende entnommen wird, die erste Abkühlung unter Verwendung eines ersten unterkühlten Stickstoffbads und die zweite Abkühlung unter Verwendung eines zweiten unterkühlten Stickstoffbads durchgeführt wird, wobei das erste Stickstoffbad zumindest teilweise mittels einer geschlossenen Kühleinrichtung (11) und das zweite Stickstoffbad zumindest teilwei-

se durch Druckreduktion auf ein unteratmosphärisches Druckniveau unterkühlt wird, und eine aufgrund der Druckreduktion auf das unteratmosphärische Druckniveau aus dem zweiten Stickstoffbad verdampfende Stickstoffmenge zumindest teilweise aus einem Reservoir (8) ausgeglichen wird, wird vorgeschlagen. Es ist vorgesehen, dass aus dem Reservoir (8) flüssiger Stickstoff entnommen und in den Kreislaufstrom (2) eingeschleust wird, bevor der Kreislaufstrom (2) der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt wird, und dass flüssiger Stickstoff aus dem Kreislaufstrom (2) ausgeschleust und zumindest teilweise dem zweiten Stickstoffbad zugeführt wird, nachdem der Kreislaufstrom (2) der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen wird. Eine entsprechende Vorrichtung und ein System (100, 200, 300, 400) aus einer derartigen Vorrichtung sowie einem entsprechenden Verbraucher (1) sind ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.



**Fig. 4**

**EP 3 511 649 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Kühlen eines Verbrauchers sowie ein System mit einer entsprechenden Vorrichtung und einem Verbraucher gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

### Stand der Technik

**[0002]** Hoch- und Mittelspannungskabel sowie Stromschienen können als Hochtemperatursupraleiter (HTSL) ausgebildet sein. Solche Kabel und Stromschienen können Gleichstrom oder Wechselstrom führen und werden auch als »HTSL-Stromführungen« bezeichnet. Sie bedürfen einer Kühlung auf eine Temperatur von weniger als 100 K, bevorzugt weniger als 80 K.

**[0003]** Wenngleich die vorliegende Erfindung nachfolgend überwiegend unter Bezugnahme auf HTSL-Stromführungen als Verbraucher beschrieben wird, eignet sie sich in der gleichen Weise auch zur Kühlung anderer Verbraucher, die eine Kälteleistung auf einem vergleichbaren Kühltemperaturniveau benötigen, insbesondere Supraleitermaterialien, jedoch auch beispielsweise Kabel, Stromführungen und weitere Strukturen aus konventionellen Metallen wie Kupfer und Aluminium.

**[0004]** Zur Kühlung entsprechender Verbraucher können unterschiedliche Verfahren und Vorrichtungen eingesetzt werden. Diese arbeiten beispielsweise mit Flüssigstickstoff als Kühlmedium, wie unten noch im Detail erläutert. Vorrichtungen dieser Art sind beispielsweise aus der DE 10 2013 011 212 A1 und der EP 1 355 114 A3 bekannt. In der DE 197 55 484 A1 wird ein Verfahren beschrieben, bei dem anstelle von Stickstoff ein flüssiges Gemisch eingesetzt wird, das aus Stickstoff und Sauerstoff besteht.

**[0005]** In der unten noch näher erläuterten DE 10 2012 016 292 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Kühlen von Objekten offenbart, bei dem bzw. der ein Kühlmedium aus einem ersten Vorratsbehälter über eine erste Kühlmediumsleitung einem zu kühlenden Objekt zugeführt, mit diesem im Wärmekontakt gebracht und anschließend über eine zweite Kühlmediumsleitung abgeführt wird. Das Kühlmedium wird nach dem Wärmekontakt mit dem Objekt über die zweite Kühlmediumsleitung einem zweiten Vorratsbehälter zugeführt und dort gespeichert, bis eine vorgegebene Füllhöhe im ersten oder im zweiten Vorratsbehälter erreicht wird. Anschließend wird das Kühlmedium aus dem zweiten Vorratsbehälter zwecks Kühlung dem Objekt zugeführt und mit diesem in Wärmekontakt gebracht und anschließend in den ersten Vorratsbehälter zurückgeführt, woraufhin es erneut zur Kühlung des Objekts zur Verfügung steht. Durch die Pendelführung des Kühlmediums zwischen den beiden Vorratsbehältern sollen zumindest teilweise die gleichen Strömungswege in beiden Strömungsrichtungen genutzt werden können. Das Verfahren und die Vorrichtung sollen sich insbesondere zum Kühlen supraleiten-

der Kabel eignen.

**[0006]** Insbesondere zur Kühlung von Verbrauchern über längere Kühlstrecken, insbesondere entlang von Kabeln bzw. HTSL-Stromführungen, erweisen sich herkömmliche Kühlvorrichtungen, beispielsweise hinsichtlich ihres Platzbedarfs, mitunter als nicht zufriedenstellend. Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, hier Abhilfe zu schaffen und verbesserte technische Möglichkeiten zur Kühlung entsprechender Verbraucher unter Verwendung von Flüssigstickstoff bereitzustellen.

### Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kühlung eines Verbrauchers, insbesondere einer Stromführung, vorzugsweise einer HTSL-Stromführung, sowie ein System mit einer entsprechenden Vorrichtung und einem Verbraucher mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

**[0008]** Typischerweise wird der Flüssigstickstoff in den eingangs erwähnten Systemen mittels einer Pumpe (sogenannte Kreislaufpumpe) gefördert und in einem Unterkühler auf die erforderliche Kühltemperatur unterkühlt. Der Flüssigstickstoff wird zum Verbraucher geleitet, dort angewärmt und wieder zur Kreislaufpumpe zurückgeführt. Der auf diese Weise als Kreislaufstrom geführte Flüssigstickstoff wird auch als »Kreislaufstickstoff« bezeichnet. Die Bezeichnung »Unterkühler« wird verwendet, weil der Flüssigstickstoff nach einer entsprechenden Kühlung eine unterkühlte Flüssigkeit darstellt.

**[0009]** Der Wärmetauscher in einem Unterkühler stellt in der einfachsten Ausführung eine Rohrschlange dar, die in einem Stickstoffbad (»Badstickstoff«) platziert wird. Der wärmere Kreislaufstickstoff wird innerhalb der Rohrschlange geführt und durch den außenliegenden, kälteren Badstickstoff gekühlt. Der Badstickstoff verdampft hierbei kontinuierlich. Alternativ zu Rohrschlangewärmetauschern können andere Typen von Wärmetauschern eingesetzt werden.

**[0010]** Es können auch Schaltungen eingesetzt werden, in denen eine Unterkühlung des Kreislaufstickstoffs stromauf der Kreislaufpumpe kombiniert mit einer Unterkühlung stromab der Kreislaufpumpe vorgenommen wird. Hierzu werden zwei Wärmetauscher benötigt und in geeigneter Weise im Unterkühler platziert. Ein entsprechendes System ist beispielsweise in der beigefügten Figur 1 dargestellt. Auch andere Varianten der Unterkühlung, insbesondere nur stromauf oder nur stromab der Kreislaufpumpe, kommen grundsätzlich in Betracht.

**[0011]** Der Druck im Kühlkreislauf stromab der Pumpe wird so gewählt, dass der Kreislaufstickstoff stets flüssig bleibt und keine Dampfblasen entstehen. Aus thermodynamischer Sicht bedeutet dies, dass der Druck im Kreislauf immer höher sein sollte als im Bad des Unterkühlers,

und dass der Kreislaufstickstoff nicht über den Siedepunkt angewärmt werden darf.

**[0012]** Die tiefste Temperatur des Kreislaufstickstoffs wird dabei am Austritt aus dem Unterkühler erreicht. Diese Temperatur wird im Wesentlichen durch die Temperatur des im Unterkühler eingesetzten Badstickstoffs (und den Wärmeübergang im Unterkühler) bestimmt. Um eine Unterkühlung zu bewirken, muss das Stickstoffbad also eine entsprechende Temperatur gebracht werden.

**[0013]** Zur Temperaturerniedrigung kann der Druck des Badstickstoffs durch eine Druckreduktion reduziert werden, bei der verdampfender Stickstoff kontinuierlich unter Verwendung einer mechanischen (beispielsweise ölgeschmierten) Vakuumpumpe abgepumpt wird. Die untere Grenze der durch die Druckreduktion erreichbaren Temperatur liegt bei etwa 63 K, was einem Dampfdruck von ca. 0,13 bar entspricht. Bei tieferen Temperaturen würde der Badstickstoff gefrieren. Eine entsprechende Druckreduktion führt dabei typischerweise zu Stickstoff- und Kälteverlusten, weil der abgepumpte Stickstoff und dessen Kälte in der Regel nicht oder nur sehr aufwendig zurückgewonnen werden können.

**[0014]** Die in dem Unterkühler durch das Verdampfen entstehenden Verluste an Badstickstoff werden typischerweise durch das Nachfüllen von frischem flüssigem Stickstoff aus einem geeigneten Reservoir, beispielsweise einem Tieftemperaturtank, kompensiert. Das Reservoir wird dabei beispielsweise unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage oder eines Stickstoffverflüssigers befüllt.

**[0015]** Die Temperatur des Badstickstoffs kann auch verringert werden, indem ein oder mehrere geschlossene Kühleinrichtungen (auch als Kryokühler bezeichnet) in den Unterkühler integriert werden. Die eine oder die mehreren Kältemaschinen kühlen und verflüssigen/rekondensieren den bei der Kühlung verdampfenden Badstickstoff bis auf die erforderliche Kühltemperatur; eine Vakuumpumpe wird in diesem Fall nicht benötigt. Auf diese Weise können Stickstoff- und Kälteverluste reduziert werden. Als Kryokühler werden typischerweise Brayton- oder Stirling-Kühler eingesetzt. Unter dem Begriff »geschlossene« Kühleinrichtung wird dabei hier eine Einrichtung verstanden, in der gasförmiger Stickstoff nicht verfahrensbedingt aus dem System ausgeschleust sondern dieser verflüssigt in das System zurückgeführt wird.

**[0016]** Der Einsatz einer mechanischen Vakuumpumpe für die Kälteerzeugung im Unterkühler stellt (aus Investitionskostensicht) eine relativ preisgünstige, jedoch energetisch ineffiziente Lösung dar. Dies liegt insbesondere daran, dass die wertvolle (da bei sehr tiefen Temperaturen vorliegende) Kälte des abgesaugten kalten Stickstoffdampfs nicht genutzt sondern vernichtet wird. Der Einsatz von Kältemaschinen in den geschlossenen Kühleinrichtungen ist energetisch in der Regel vorteilhaft, jedoch sind entsprechende Geräte relativ teuer, so dass ihr Einsatz häufig nicht wirtschaftlich ist.

**[0017]** Es können daher grundsätzlich auch Systeme

eingesetzt werden, in denen beide Techniken zur Temperaturverringern verwendet werden. Auf diese Weise kann der Verlust an Stickstoff und Kälte verringert, gleichzeitig aber der Investitionsaufwand für geschlossene Kühleinrichtungen in Grenzen gehalten werden.

**[0018]** Es ist dabei möglich, einen Unterkühler mit einer entsprechenden Vakuumpumpe und zusätzlich mit einer geschlossenen Kühleinrichtung auszustatten. Insbesondere dann, wenn Verbraucher, beispielsweise Kabel, über längere Kühlstrecken gekühlt werden sollen, können aber auch Systeme zum Einsatz kommen, in denen an beiden Enden der Kühlstrecke, nachfolgend als »erstes« und »zweites« Ende bezeichnet, Unterkühler angeordnet sind.

**[0019]** In derartigen Systemen erstreckt sich die Kühlstrecke also zwischen dem ersten Ende und einem zweiten Ende. Der flüssige Stickstoff wird in derartigen Systemen in Form eines Kreislaufstroms wiederholt (d.h. kontinuierlich im Kreislauf) einer ersten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt, von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen, einer zweiten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende wieder zugeführt, von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert und der Kühlstrecke an dem ersten Ende wieder entnommen. Die erste Abkühlung wird unter Verwendung eines ersten unterkühlten Stickstoffbads in einem Unterkühler und die zweite Abkühlung unter Verwendung eines zweiten unterkühlten Stickstoffbads in einem zweiten Unterkühler durchgeführt.

**[0020]** In einem entsprechenden System, wie es beispielsweise in der beigefügten Figur 3 dargestellt ist, kann das erste Stickstoffbad zumindest teilweise mittels einer geschlossenen Kühleinrichtung und das zweite Stickstoffbad zumindest teilweise durch Druckreduktion auf ein unteratmosphärisches Druckniveau unterkühlt werden. Die Druckreduktion erfolgt dabei dadurch, dass aus einem Unterkühler mittels einer insbesondere mechanischen Vakuumpumpe gasförmiger Stickstoff aus einem Kopfraum über einem dem Stickstoffbad abgepumpt und insbesondere an die umgebende Atmosphäre abgeführt wird.

**[0021]** Wie bereits erwähnt, wird ein Ausgleich der Stickstoffverluste durch das zur Druckreduktion erfolgende Abpumpen durch Einspeisen von Stickstoff aus einem Reservoir vorgenommen, das beispielsweise unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage mit flüssigem Stickstoff befüllt werden kann.

**[0022]** Ein Nachteil der beispielsweise in Figur 3 gezeigten Anordnung ist nun allerdings der, dass an dem ersten Ende und an dem zweiten Ende der Kühlstrecke, d.h. in der Figur 3 an deren linkem und rechtem Ende, beträchtlichen Bauraum beanspruchende Apparate, nämlich das Reservoir einerseits und die geschlossene Kühleinrichtung andererseits, angeordnet werden müssen. Hierdurch können sich insbesondere dann Probleme

me ergeben, wenn an dem zweiten Ende der Kühlstrecke, d.h. an dem rechten Ende in der Figur 3, der Bauraum begrenzt ist.

**[0023]** Die vorliegende Erfindung schlägt nun zur Überwindung dieses Nachteils vor, das Reservoir und die geschlossene Kühleinrichtung am ersten Ende der Kühlstrecke, die zur Druckreduktion erforderliche Vakuumpumpe hingegen am anderen Ende der Kühlstrecke anzuordnen. Eine entsprechende Vakuumpumpe stellt eine vergleichsweise klein bauende Einheit dar, die an dem zweiten Ende deutlich einfacher unterbringbar ist, insbesondere wenn an dem zweiten Ende der Bauraum begrenzt ist. Eine entsprechende Vakuumpumpe kann auch über eine Leitung an den am zweiten Ende der Kühlstrecke vorgesehenen Unterkühler angebunden werden und muss nicht und unmittelbarer Nachbarschaft desselben angeordnet werden. Auf diese Weise kann durch eine Umpositionierung eine weitere günstige Anpassung an den zur Verfügung stehenden Bauraum vorgenommen werden.

**[0024]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden die in dem zweiten Stickstoffbad aufgrund der Druckreduktion durch das Abpumpen auftretenden Stickstoffverluste ebenfalls aus einem Reservoir ausgeglichen, das allerdings nun am entgegengesetzten Ende der Kühlstrecke angeordnet ist. Der zum Ausgleich der Verluste aus dem Reservoir entnommene Stickstoff wird an dem Ende der Kühlstrecke, an dem das Reservoir angeordnet ist, in den Kreislaufstrom eingeschleust und an dem anderen Ende der Kühlstrecke, an dem die Druckreduktion erfolgt, aus dem Kreislaufstrom ausgeschleust und zum Auffüllen des dort angeordneten Stickstoffbads verwendet. Der Kreislaufstrom dient also zum Transport dieses Stickstoffs.

**[0025]** Wie bereits erwähnt, geht die vorliegende Erfindung von einem Verfahren zur Kühlung eines Verbrauchers über eine Kühlstrecke aus, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt. In dem Verfahren wird flüssiger Stickstoff in Form eines Kreislaufstroms wiederholt, d.h. kontinuierlich im Kreislauf und insbesondere ohne Zwischenspeicherung in einem Behälter einer ersten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt, von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen, einer zweiten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zugeführt, von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert und der Kühlstrecke an dem ersten Ende entnommen. Der Kreislaufstrom wird dabei insbesondere stets in der gleichen Richtung geführt und erfährt nicht, wie beispielsweise in der DE 10 2012 016 292 A1, eine Richtungsumkehr. Die erste Abkühlung wird unter Verwendung eines ersten unterkühlten Stickstoffbads und die zweite Abkühlung unter Verwendung eines zweiten unterkühlten Stickstoffbads durchgeführt, wobei das erste Stickstoffbad zumindest teilweise mittels einer geschlossenen Kühleinrichtung und das zweite Stickstoff-

bad zumindest teilweise durch Druckreduktion auf ein unteratmosphärisches Druckniveau unterkühlt wird. Eine aufgrund der Druckreduktion auf das unteratmosphärische Druckniveau aus dem zweiten Stickstoffbad verdampfende Stickstoffmenge wird in dem Verfahren dabei zumindest teilweise aus einem Reservoir ausgeglichen.

**[0026]** Der flüssige Stickstoff wird im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form des Kreislaufstroms insbesondere beim Transport von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke durch eine oder mehrere erste Kühlpassagen geführt und beim Transport von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke durch eine oder mehrere zweite Kühlpassagen, die fluidisch von der einen oder den mehreren ersten Kühlpassagen getrennt ist oder sind, geführt. Es sind also für die Führung von dem ersten zu dem zweiten Ende eine oder mehrere andere Kühlpassagen vorgesehen als für die Führung von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende. Eine "Kühlpassage" bezeichnet dabei eine Fluidführungsstruktur, die mit Wärmeaustauschflächen versehen ist. Der Kreislaufstrom wird und kann also im Rahmen der vorliegenden Erfindung nicht in den gleichen Kühlpassagen geführt werden, wie es in der DE 10 2012 016 292 A1 aufgrund des dortigen Pendelbetriebs der Fall ist. Ist hier von einer "fluidischen Trennung" der Kühlpassagen die Rede, sei hiermit selbstverständlich nicht ausgeschlossen, dass die Kühlpassagen an ihren terminalen Enden geöffnet sind und über Leitungen, die den Kreislaufstrom führen, miteinander verbunden sind.

Mit anderen Worten umfasst die Kühlstrecke im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine erste Einspeiseöffnung, eine erste Entnahmeöffnung, eine zweite Einspeiseöffnung und eine zweite Entnahmeöffnung für den flüssigen Stickstoff, wobei die erste Einspeiseöffnung mit der ersten Entnahmeöffnung insbesondere über die erwähnte(n) erste(n) Kühlpassage(n) und die zweite Einspeiseöffnung mit der zweiten Entnahmeöffnung insbesondere über die erwähnte(n) zweite(n) Kühlpassage(n) verbunden sind. Die erste Einspeiseöffnung und die zweite Entnahmeöffnung befinden sich dabei an dem ersten Ende, die erste Entnahmeöffnung und die zweite Einspeiseöffnung am zweiten Ende der Kühlstrecke. Eine "Öffnung" bezeichnet dabei im hier verwendeten Sprachgebrauch einen Anschluss beliebiger Art, beispielsweise einen Flansch oder Anschlussstutzen. Der flüssige Stickstoff in dem Kreislaufstrom wird über die erste Einspeiseöffnung an dem ersten Ende der Kühlstrecke dieser Kühlstrecke bzw. der oder den ersten Kühlpassagen zugeführt und über die erste Entnahmeöffnung an dem zweiten Ende entnommen. Zeitgleich, d.h. nicht in einem Pendelbetrieb, wird der flüssige Stickstoff, wenn ein entsprechender Kreislaufstrom gebildet ist, über die zweite Einspeiseöffnung an dem zweiten Ende der Kühlstrecke dieser Kühlstrecke bzw. der oder den zweiten Kühlpassagen zugeführt und über die zweite Entnahmeöffnung am ersten Ende entnommen.

**[0027]** Zur nochmaligen Verdeutlichung der erfin-

dungsgemäßen Maßnahmen kann die Bildung des Kreislaufstroms auch unter Beschreibung der vorliegenden Druckniveaus erläutert werden. Ein erstes Druckniveau des an dem ersten Ende der Kühlstrecke zugeführten flüssigen Stickstoffs liegt dabei stets oberhalb eines zweiten Druckniveaus des an dem zweiten Ende der Kühlstrecke entnommenen flüssigen Stickstoffs. Zeitgleich liegt ein drittes Druckniveau des an dem zweiten Ende der Kühlstrecke zugeführten flüssigen Stickstoffs stets bei oder unterhalb des zweiten Druckniveaus. Ein viertes Druckniveau des an dem ersten Ende der Kühlstrecke entnommenen flüssigen Stickstoffs liegt unterhalb des dritten Druckniveaus. Es ergeben sich für das erste Druckniveau P1, das zweite Druckniveau P2, das dritte Druckniveau P3 und das vierte Druckniveau P4 also stets die Beziehungen  $P1 > P2$ ,  $P2 \geq P3$  und  $P3 > P4$ .

**[0028]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der flüssige Stickstoff dabei vorteilhafterweise am zweiten Ende der Kühlstrecke keinen druckerhöhenden Maßnahmen unterworfen. Hier befindet sich also, beispielsweise im Gegensatz zu der mehrfach erwähnten DE 10 2012 016 292 A1, keine Einrichtung zur Druckaufbauverdampfung und keine Pumpe. Eine entsprechende Druckerhöhung erfolgt im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere nur an dem ersten Ende der Kühlstrecke unter Verwendung einer Kreislaufpumpe. Ferner wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der flüssige Stickstoff des Kreislaufstroms, es sind also keine Umschaltventile vorgesehen.

**[0029]** Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass aus dem Reservoir flüssiger Stickstoff entnommen und in den Kreislaufstrom eingeschleust wird, bevor der Kreislaufstrom der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt wird, und dass flüssiger Stickstoff aus dem Kreislaufstrom ausgeschleust und zumindest teilweise dem zweiten Stickstoffbad zugeführt wird, nachdem der Kreislaufstrom der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen wird. Auf diese Weise ergeben sich die bereits zuvor erwähnten Vorteile, insbesondere eine Reduzierung des Bauraums am zweiten Ende der Kühlstrecke.

**[0030]** Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der aus dem Reservoir entnommene und in den Kreislaufstrom eingeschleuste flüssige Stickstoff vorteilhafterweise unter Verwendung einer Mischeinrichtung in den Kreislaufstrom eingeschleust. Auf diese Weise lassen sich insbesondere dann, wenn der eingeschleuste Stickstoff und der bereits vorliegende Kreislaufstickstoff unterschiedliche Temperaturniveaus aufweisen, Ungleichverteilungen in der Temperatur vermeiden und ein homogenes Mischtemperaturniveau einstellen.

**[0031]** Wie bereits erwähnt, kommen in Verfahren der erläuterten Art insbesondere sogenannte Kreislaufpumpen zum Einsatz. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird daher der in Form des Kreislaufstroms geführte flüssige Stickstoff nach seiner Entnahme am ersten Ende der Kühlstrecke und vor einer erneuten Zuführung am ersten Ende der Kühlstrecke vorteilhafterweise durch ei-

ne Kreislaufpumpe geführt, an derer auch eine geeignete Druckdifferenz eingestellt werden kann.

**[0032]** Insbesondere kann dabei der in Form des Kreislaufstroms geführte flüssige Stickstoff der Kreislaufpumpe auf einem ersten Druckniveau von wenigstens 2 bar (abs.) zugeführt werden. Beispielsweise kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung das erste Druckniveau dabei bei ca. 10 bar (abs.) liegen. Ein entsprechendes Druckniveau ergibt sich insbesondere aus dem Druckniveau stromab der Kreislaufpumpe, das oberhalb des ersten Druckniveaus und beispielsweise bei ca. 15 bar (abs.) liegen kann, und aus den Druckverlusten über die Kühlstrecke.

**[0033]** Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der aus dem Reservoir entnommene und in den Kreislaufstrom eingeschleuste flüssige Stickstoff dem Reservoir insbesondere auf einem zweiten Druckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus entnommen. Der eingeschleuste Stickstoff wird dabei insbesondere ebenfalls, zusammen mit dem Kreislaufstrom, der Kreislaufpumpe zugeführt. Durch eine entsprechende Einstellung des ersten und zweiten Druckniveaus ergibt sich dabei stets zwingend eine Strömungsrichtung aus dem Reservoir zur Einschleusestelle in den Kreislaufstrom. Der eingeschleuste Stickstoff wird typischerweise mittels eines geeigneten Ventils von dem zweiten auf das erste Druckniveau entspannt, bevor er in den Kreislaufstrom eingeschleust wird.

**[0034]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können unterschiedliche Varianten der Abkühlung zum Einsatz kommen. Der in Form des Kreislaufstroms geführte flüssige Stickstoff kann dabei der ersten Abkühlung unterworfen werden, bevor und/oder nachdem er durch die Kreislaufpumpe geführt wird. Details sind auch unter Bezugnahme auf die Zeichnungen noch näher erläutert, wobei die in den Figuren 4 bis 6 gezeigten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine Abkühlung vor und nach der Kreislaufpumpe vorsehen.

**[0035]** Da der flüssige Stickstoff in dem Reservoir typischerweise in nicht unterkühltem Zustand vorliegt, in dem Kreislaufstrom hingegen unterkühlter Stickstoff vorliegt, kommt es dann, wenn der aus dem Reservoir eingeschleuste Stickstoff keiner weiteren Abkühlung unterworfen wird, bevor er in den Kreislaufstrom eingeschleust wird, zu einer deutlichen Temperaturerhöhung, die durch eine entsprechende Kälteleistung in dem zugeordneten Unterkühler ausgeglichen werden muss. Dies kann sich als nachteilig erweisen. Daher ist gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass der aus dem Reservoir entnommene und in den Kreislaufstrom eingeschleuste flüssige Stickstoff unter Verwendung eines dritten unterkühlten Stickstoffbads abgekühlt wird, bevor er in den Kreislaufstrom eingeschleust wird.

**[0036]** Eine derartige Abkühlung des eingeschleusten Stickstoffs kann also insbesondere durch die Verwendung eines weiteren (dritten) unterkühlten Stickstoffbads vorgenommen werden. Gemäß einer bevorzugten Aus-

führungsform der Erfindung ist dabei vorgesehen, dass das dritte unterkühlte Stickstoffbad dadurch bereitgestellt wird, dass weiterer flüssiger Stickstoff aus dem Reservoir auf dem ersten Druckniveau entnommen und unter teilweiser Verdampfung auf ein drittes Druckniveau entspannt wird. Das dritte Druckniveau kann dabei beispielsweise bei Atmosphärendruck oder leicht, d.h. insbesondere maximal 0,5 bar, oberhalb des Atmosphärendrucks liegen. Auf diese Weise kann entsprechende zusätzliche Kälte generiert werden und es erfolgt eine teilweise Verdampfung des entspannten Stickstoffs.

**[0037]** Vorteilhafterweise kann ein bei der Entspannung auf das dritte Druckniveau nicht verdampfter Anteil des weiteren flüssigen Stickstoffs aus dem Reservoir zumindest teilweise dem dritten Stickstoffbad zugeführt und ein bei der Entspannung auf das dritte Druckniveau verdampfter Anteil des weiteren flüssigen Stickstoffs aus dem Reservoir zumindest teilweise als Kühlmittel in der geschlossenen Kühleinrichtung verwendet werden. In dieser Verfahrensvariante, in der insbesondere als die geschlossene Kühleinrichtung eine Kühleinrichtung mit einem Brayton-Kühler verwendet wird, ergibt sich eine weitere Energieeinsparung.

**[0038]** Die vorliegende Erfindung erstreckt sich auch auf eine Vorrichtung zur Kühlung eines Verbrauchers über eine Kühlstrecke, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt. Die Vorrichtung weist Mittel auf, die dafür eingerichtet sind, flüssigen Stickstoff in Form eines Kreislaufstroms, d.h. kontinuierlich im Kreislauf und insbesondere ohne Zwischenspeicherung in einem Behälter, wiederholt einer ersten Abkühlung zu unterwerfen, der Kühlstrecke an dem ersten Ende zuzuführen, von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke zu transportieren, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zu entnehmen, einer zweiten Abkühlung zu unterwerfen, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zuzuführen, von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke zu transportieren und der Kühlstrecke an dem ersten Ende zu entnehmen. Die Mittel sind insbesondere dafür eingerichtet, den stets in der gleichen Richtung zu führen, so dass dieser nicht, wie beispielsweise in der DE 10 2012 016 292 A1, eine Richtungsumkehr erfährt. Diese Mittel umfassen insbesondere entsprechende Leitungen und eine Kreislaufpumpe.

**[0039]** Ferner weist die Vorrichtung Mittel auf, die dafür eingerichtet sind, die erste Abkühlung unter Verwendung eines ersten unterkühlten Stickstoffbads und die zweite Abkühlung unter Verwendung eines zweiten unterkühlten Stickstoffbads durchzuführen. Die Vorrichtung umfasst ein entsprechendes erstes und ein entsprechendes zweites Stickstoffbad. Sie weist ferner eine geschlossene Kühleinrichtung auf, die dafür eingerichtet ist, das erste Stickstoffbad abzukühlen, und Mittel, die dafür eingerichtet sind, das zweite Stickstoffbad zumindest teilweise durch Druckreduktion auf ein unteratmosphärisches Druckniveau zu unterkühlen. Letztere umfassen insbesondere eine entsprechende Vakuumpumpe. Es sind

ferner Mittel vorgesehen, die dafür eingerichtet sind, eine aufgrund der Druckreduktion auf das unteratmosphärische Druckniveau aus dem zweiten Stickstoffbad verdampfende Stickstoffmenge zumindest teilweise aus einem Reservoir auszugleichen. Ein entsprechendes Reservoir ist ebenfalls Teil der vorgeschlagenen Vorrichtung.

**[0040]** Die erfindungsgemäß vorgesehene Vorrichtung zeichnet sich insbesondere durch Mittel aus, die dafür eingerichtet sind, aus dem Reservoir flüssigen Stickstoff zu entnehmen und in den Kreislaufstrom einzuschleusen, bevor der Kreislaufstrom der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt wird, und flüssigen Stickstoff aus dem Kreislaufstrom auszuschleusen und zumindest teilweise dem zweiten Stickstoffbad zuzuführen, nachdem der Kreislaufstrom der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen wird. Auch diese Mittel können insbesondere entsprechende Leitungen und dergleichen umfassen.

**[0041]** Insbesondere sind zum Transportieren des flüssigen Stickstoffs in Form des Kreislaufstroms von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke eine oder mehrere erste Kühlpassagen und zum Transport von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke eine oder mehrere zweite Kühlpassagen, die fluidisch von der einen oder den mehreren ersten Kühlpassagen getrennt ist oder sind, bereitgestellt ist oder sind.

Zu den weiteren Merkmalen und Vorteilen der erfindungsgemäßen Vorrichtung und deren vorteilhaften Ausgestaltungen sei auf die obigen, das erfindungsgemäße Verfahren und seine Ausgestaltungen betreffenden Erläuterungen ausdrücklich verwiesen. Explizit soll dies für die Einspeise- und Entnahmeöffnungen, die Druckbedingungen, die fehlende Druckerhöhung am zweiten Ende und die fehlenden Umschaltventile gelten, die in der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß bevorzugter Ausgestaltungen implementiert sein können. Vorteilhafterweise ist eine entsprechende Vorrichtung oder eine Ausgestaltung hiervon dafür eingerichtet, ein entsprechendes Verfahren oder eine Variante hiervon auszuführen.

**[0042]** Dies gilt auch für das erfindungsgemäß ebenfalls vorgesehene System mit einem zu kühlenden Verbraucher, welches sich erfindungsgemäß durch eine entsprechende Vorrichtung auszeichnet.

**[0043]** Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in der Ausführungsformen der Erfindung veranschaulicht sind.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0044]**

Figur 1 zeigt ein System gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform in vereinfachter schematischer Darstellung.

Figur 2 zeigt ein System gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform in vereinfachter schematischer Darstellung.

Figur 3 zeigt ein System gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform in vereinfachter schematischer Darstellung.

Figur 4 zeigt ein System gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in vereinfachter schematischer Darstellung.

Figur 5 zeigt ein System gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in vereinfachter schematischer Darstellung.

Figur 6 zeigt ein System gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in vereinfachter schematischer Darstellung.

Figur 7 veranschaulicht eine Kühlpassage, die in einem System gemäß den vorstehenden Figuren bereitgestellt sein kann.

**[0045]** In den Figuren sind gleiche oder einander funktionell entsprechende Elemente mit identischen Bezugszeichen angegeben. Auf eine wiederholte Erläuterung derartiger Elemente wird der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Flüssige Medien sind mittels schwarzer (ausgefüllter), gasförmige Medien mittels weißer (nicht ausgefüllter) Flusspfeile veranschaulicht.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

**[0046]** In Figur 1 ist ein System gemäß einer nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform in vereinfachter schematischer Darstellung gezeigt.

**[0047]** Das in Figur 1 gezeigte System umfasst einen Verbraucher 1, bei dem es sich, wie erwähnt, insbesondere um ein (HTSL-)Kabelsystem handeln kann. Der Verbraucher 1 wird unter Verwendung von flüssigem Stickstoff, der in einem Kreislaufstrom 2 geführt wird, gekühlt. Nach der Verwendung zur Kühlung des Verbrauchers 1 wird der flüssige Stickstoff des Kreislaufstroms 2 im dargestellten Beispiel einer Abkühlung in einem Wärmetauscher 3 unterworfen, einer Kreislaufpumpe 4 zugeführt, in einem weiteren Wärmetauscher 5 abgekühlt, und erneut zur Kühlung des Verbrauchers 1 verwendet. Alternativ zur Darstellung gemäß Figur 1 kann auch nur einer der beiden Wärmetauscher 3 und 5 vorgesehen sein.

**[0048]** Die Wärmetauscher 3 und 5, soweit jeweils vorhanden, sind in jeweils in einem unterkühlten Stickstoffbad in einem Unterkühler 6 angeordnet. Der Stickstoff in dem Kreislaufstrom 2 kann auf diese Weise auf ein Temperaturniveau von beispielsweise ca. 67 K abgekühlt und auf diesem Temperaturniveau zur Kühlung des Verbrauchers 1 verwendet werden. Er erwärmt sich bei der Küh-

lung des Verbrauchers 1 auf ein Temperaturniveau von beispielsweise ca. 73 K.

**[0049]** Die Unterkühlung des Stickstoffbads in dem Unterkühler 6 wird durch eine Druckreduktion unter Verwendung einer Pumpe 7 bewirkt, die aus dem Stickstoffbad verdampfenden Stickstoff abpumpt und auf diese Weise das Druckniveau in dem Unterkühler 6 verringert. Der abgepumpte Stickstoff wird beispielsweise an die Atmosphäre (amb) abgeführt. Durch das Abpumpen entstehende Stickstoffverluste werden durch flüssigen Stickstoff aus einem Reservoir 8 über ein Ventil 9 ausgeglichen. Das Reservoir 8 kann mittels einer Luftzerlegungsanlage gespeist werden, kann. Das Reservoir 8 ist hier mit einem Druckaufbauverdampfer 10 versehen.

**[0050]** Zur Einstellung des Druckniveaus des Stickstoffs in dem Kreislaufstrom 2 stromauf der Kreislaufpumpe 4 ist im dargestellten Beispiel eine nicht gesondert bezeichnete bidirektionale Verbindung mit dem Reservoir 8 vorgesehen. Das Druckniveau des Stickstoffs in dem Kreislaufstrom 2 stromauf der Kreislaufpumpe 4 und zugleich in dem Reservoir liegt dabei typischerweise oberhalb von 2 bar (abs.), beispielsweise bei ca. 10 bar (abs.). Das Druckniveau des Stickstoffs in dem Kreislaufstrom 2 stromab der Kreislaufpumpe 4 liegt oberhalb hiervon, beispielsweise bei ca. 15 bar (abs.). Das Druckniveau in dem Unterkühler 6 liegt unterhalb des Atmosphärendrucks, insbesondere bei 0,1 bis 0,5 bar (abs.), beispielsweise bei ca. 0,2 bar (abs.).

**[0051]** In Figur 2 ist ein System gemäß einer weiteren nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform in vereinfachter schematischer Darstellung gezeigt.

**[0052]** Da die Druckreduktion in dem Unterkühler 6 durch das Abpumpen des Stickstoffs mittels der Pumpe 7 zu Stickstoff- und Kälteverlusten führt, kann auch auf eine geschlossene Kühleinrichtung 11 zurückgegriffen werden, die in dem System gemäß Figur 2 zusätzlich zu der Pumpe 7 vorgesehen ist. In der Kühleinrichtung 11 wird der Stickstoff aus dem Unterkühler 6 unter Verwendung einer geeigneten Kältemaschine, die insbesondere einen oder mehrere Stirling-Kühler und/oder einen oder mehrere, unter Verwendung von Neon und/oder Helium betriebene Brayton-Kühler umfassen kann, zusätzlich gekühlt. Der Stickstoff tritt dabei gasförmig in die Kühleinrichtung 11 ein und wird flüssig in den Unterkühler 6 zurückgeführt.

**[0053]** Ferner ist in dem System gemäß Figur 2 eine Druckregeleinrichtung 21 vorgesehen, die anstelle der in dem System gemäß Figur 1 vorgesehenen Verbindung mit dem Reservoir 8 zur Druckeinstellung eingerichtet ist. Auf diese Weise kann das Druckniveau in dem Reservoir 8 auf einen Wert eingestellt werden, der unabhängig von dem Druckniveau stromauf der Kreislaufpumpe 4 ist.

**[0054]** In Figur 3 ist ein System gemäß einer weiteren nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform in vereinfachter schematischer Darstellung gezeigt.

**[0055]** Das System gemäß Figur 3 ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn eine längere Kühlstrecke über-

wunden werden soll. Hierbei ist an einem Ende des Verbrauchers 1 bzw. einer entsprechenden Kühlstrecke der Unterkühler 6 mit den Wärmetauschern 3 und/oder 5 und am anderen Ende des Verbrauchers 1 bzw. der entsprechenden Kühlstrecke ein weiterer Unterkühler 12 mit einem Wärmetauscher 13 angeordnet. Der Unterkühler 6 ist dabei mit der Pumpe 7 versehen, der weitere Unterkühler 12 ist mit der Kühleinrichtung 11 ausgestattet. Auf diese Weise kann eine zu starke Erwärmung des Stickstoffs in dem Kreislaufstrom 2 über die (lange) Kühlstrecke verhindert werden. In Figur 4 ist ein System gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in vereinfachter schematischer Darstellung gezeigt und insgesamt mit 100 bezeichnet.

**[0056]** Im Gegensatz zu dem in Figur 3 gezeigten System befinden sich in dem System 100 gemäß Figur 4 die Kühleinrichtung 11 und das Reservoir 8 an demselben Ende des Verbrauchers 1 bzw. einer entsprechenden Kühlstrecke und sind dem dort angeordneten Unterkühler 6 zugeordnet. Der am anderen Ende angeordnete Unterkühler 12 ist hingegen mit der Pumpe 7 ausgestattet. Auf diese Weise können die viel Bauraum beanspruchenden Einrichtungen, nämlich die Kühleinrichtung 11 und das Reservoir 8, hier konzentriert werden. Die Pumpe 7 kann hingegen unter Beanspruchung von wenig Bauraum am anderen Ende angeordnet werden, an dem ggf. Raumnot herrscht bzw. andere Einrichtungen angeordnet sind.

**[0057]** Zum Ausgleich des Stickstoffverlusts durch das Abpumpen mittels der Pumpe 7 wird hier über das Ventil 9 Stickstoff aus dem Reservoir 8 am einen Ende in den Kreislaufstrom 2 und nicht etwa in einen entsprechenden Unterkühler eingeschleust. Dieser zusätzlich eingeschleuste Stickstoff wird dabei mittels einer Mischeinrichtung 14 in den Kreislaufstrom 2 eingemischt. Am anderen Ende wird dieser Stickstoff aus dem Kreislaufstrom 2 wieder ausgeschleust und über ein Ventil 15 und eine entsprechende Leitung dem dort vorgesehenen Unterkühler 12 zugeführt.

**[0058]** In Abweichung zu dem in Figur 1 dargestellten System wird in dem System 100 gemäß Figur 4 der Stickstoff nur in Richtung von dem Reservoir 6 zu der Einspeisestelle, d.h. zu der hier vorgesehenen Mischeinrichtung 14. Es ist kein bidirektionaler Stickstofffluss vorgesehen, wie in dem in Figur 1 dargestellten System grundsätzlich möglich. Das Druckniveau in dem Reservoir 8 ist daher (etwas) höher als das Druckniveau des Stickstoffs in dem Kreislaufstrom 2 stromauf der Kreislaufpumpe 4. Der verwendete Druckunterschied kann grundsätzlich höher oder niedriger als das Druckniveau des Stickstoffs in dem Kreislaufstrom 2 stromauf der Kreislaufpumpe 4 sein.

**[0059]** In Figur 5 ist ein System gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in vereinfachter schematischer Darstellung gezeigt und insgesamt mit 200 bezeichnet.

**[0060]** In dem System 200 gemäß Figur 5 ist das mögliche Problem adressiert, dass der über das Ventil 9 eingespeiste Stickstoff eine vergleichsweise hohe Tempe-

ratur aufweist und damit bei der Einmischung mittels der Mischeinrichtung 14 zu einer entsprechenden Temperaturerhöhung in dem Kreislaufstrom 2 führt.

**[0061]** Daher wird hier ein zweiter bzw. weiterer Unterkühler 18 mit einem entsprechenden Wärmetauscher 16 eingesetzt. Der in den Kreislaufstrom 2 einzuspeisende Stickstoff wird dabei nach der Entnahme aus dem Reservoir 8 mittels des Ventils 9 entspannt und durch den Wärmetauscher 16 geführt. Ein Stickstoffbad in dem weiteren Unterkühler 18 wird durch weiteren Stickstoff, der aus dem Reservoir 8 entnommen und mittels eines weiteren Ventils 17 auf Atmosphärendruck oder leicht darüber entspannt wird, bereitgestellt. Der über das Ventil 17 entspannte Stickstoff verdampft zum Teil. Der verdampfte Teil wird an die Atmosphäre (atm) abgeführt. Der flüssig verbliebene Anteil liegt in unterkühltem Zustand vor und kann daher als Kühlmedium eingesetzt werden.

**[0062]** Das Druckniveau in dem weiteren Unterkühler 18 liegt bei Atmosphärendruck oder leicht, d.h. typischerweise maximal 0,5 bar, darüber. Durch die beschriebene Abkühlung liegt der in den Kreislaufstrom 2 einzuspeisende Stickstoff bereits auf einem Temperaturniveau von typischerweise weniger als 80 K vor, so dass entsprechende Verluste bei der Einmischung über die Mischeinrichtung vermieden werden. Die erforderliche Kühlkapazität der Kühleinrichtung 11 kann auf diese Weise ebenfalls in entsprechendem Umfang verringert werden.

**[0063]** In Figur 6 ist ein System gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in vereinfachter schematischer Darstellung gezeigt und insgesamt mit 300 bezeichnet.

**[0064]** In Erweiterung zu dem in Figur 5 veranschaulichten System 200 wird hier aus dem weiteren Unterkühler 18 abströmender gasförmiger Stickstoff auch als Kühlmedium in der Kühleinrichtung 11, die hier insbesondere einen Brayton-Kühler aufweisen kann, verwendet. Hierzu ist ein entsprechender Wärmetauscher 19 vorgesehen. Auf diese Weise können Energieverluste weiter verringert werden.

**[0065]** Ergänzend ist in Figur 7 eine Kühlstrecke veranschaulicht, die in einem System gemäß den vorstehenden Figuren bereitgestellt sein kann. Diese ist hier mit 1000 zusammengefasst. Wie zuvor sind ein Verbraucher mit 1 und ein Kreislaufstrom mit 2 angegeben. Durch eine gestrichelte Linie 1100 getrennte Kühlpassagen sind mit 1010 und 1020 veranschaulicht. Die Kühlpassagen 1010 und 1020 sind zum Transportieren des flüssigen Stickstoffs in Form des Kreislaufstroms 2 von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke einerseits ("erste Kühlpassage" 1010) und zum Transport von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke andererseits ("zweite Kühlpassage" 1020) vorgesehen und im zuvor erläuterten Sinne fluidisch voneinander getrennt.

**[0066]** Das erste Ende der Kühlstrecke 1000 trägt hier das Bezugszeichen 1001, das zweite Ende der Kühlstrecke

cke das Bezugszeichen 1002. Eine Einspeiseöffnung (für den Kreislaufstrom 2 am ersten Ende 1001 in die Kühlstrecke 1000 bzw. die erste Kühlpassage 1010) ist mit 1011 bezeichnet ("erste Einspeiseöffnung"). Eine Entnahmeöffnung (für den Kreislaufstrom 2 am zweiten Ende 1002 aus der Kühlstrecke 1000 bzw. der ersten Kühlpassage 1010) ist mit 1012 bezeichnet ("erste Entnahmeöffnung"). Eine Einspeiseöffnung (für den Kreislaufstrom 2 am zweiten Ende 1002 in die Kühlstrecke 1000 bzw. die zweite Kühlpassage 1020) ist mit 1021 bezeichnet ("zweite Einspeiseöffnung"). Eine Entnahmeöffnung (für den Kreislaufstrom 2 am ersten Ende 1001 aus der Kühlstrecke 1000 bzw. der zweiten Kühlpassage 1020) ist mit 1022 bezeichnet ("zweite Entnahmeöffnung").

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung eines Verbrauchers (1) über eine Kühlstrecke, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt, wobei

- flüssiger Stickstoff in Form eines Kreislaufstroms (2) kontinuierlich und im Kreislauf wiederholt einer ersten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt, von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen, einer zweiten Abkühlung unterworfen, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zugeführt, von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke transportiert und der Kühlstrecke an dem ersten Ende entnommen wird,
- die erste Abkühlung unter Verwendung eines ersten unterkühlten Stickstoffbads und die zweite Abkühlung unter Verwendung eines zweiten unterkühlten Stickstoffbads durchgeführt wird, wobei das erste Stickstoffbad zumindest teilweise mittels einer geschlossenen Kühleinrichtung (11) und das zweite Stickstoffbad zumindest teilweise durch Druckreduktion auf ein unteratmosphärisches Druckniveau unterkühlt wird, und
- eine aufgrund der Druckreduktion auf das unteratmosphärische Druckniveau aus dem zweiten Stickstoffbad verdampfende Stickstoffmenge zumindest teilweise aus einem Reservoir (8) ausgeglichen wird,

**dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** aus dem Reservoir (8) flüssiger Stickstoff entnommen und in den Kreislaufstrom (2) eingeschleust wird, bevor der Kreislaufstrom (2) der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt wird, und dass flüssiger Stickstoff aus dem Kreislaufstrom (2) ausgeschleust und zumin-

dest teilweise dem zweiten Stickstoffbad zugeführt wird, nachdem der Kreislaufstrom (2) der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der flüssige Stickstoff in Form des Kreislaufstroms (2) beim Transport von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke durch eine oder mehrere erste Kühlpassagen geführt wird und beim Transport von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke durch eine oder mehrere zweite Kühlpassagen, die fluidisch von der einen oder den mehreren ersten Kühlpassagen getrennt ist oder sind, geführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der aus dem Reservoir (8) entnommene und in den Kreislaufstrom (2) eingeschleuste flüssige Stickstoff unter Verwendung einer Mischeinrichtung (14) in den Kreislaufstrom (2) eingeschleust wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der in Form des Kreislaufstroms (2) geführte flüssige Stickstoff nach seiner Entnahme am ersten Ende der Kühlstrecke und vor einer erneuten Zuführung am ersten Ende der Kühlstrecke durch eine Kreislaufpumpe (4) geführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der in Form des Kreislaufstroms (2) geführte flüssige Stickstoff der Kreislaufpumpe (4) auf einem ersten Druckniveau von wenigstens 2 bar (abs.) zugeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der aus dem Reservoir (8) entnommene und in den Kreislaufstrom (2) eingeschleuste flüssige Stickstoff dem Reservoir (8) auf einem zweiten Druckniveau oberhalb des ersten entnommen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der in Form des Kreislaufstroms (2) geführte flüssige Stickstoff der ersten Abkühlung unterworfen wird, bevor und/oder nachdem er durch die Kreislaufpumpe (4) geführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, bei dem der aus dem Reservoir (8) entnommene und in den Kreislaufstrom (2) eingeschleuste flüssige Stickstoff in den Kreislaufstrom (2) eingeschleust wird, bevor der Kreislaufstrom (2) durch die Kreislaufpumpe (4) geführt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, bei dem der aus dem Reservoir (8) entnommene und in den Kreislaufstrom (2) eingeschleuste flüssige Stickstoff unter Verwendung eines dritten unterkühlten Stickstoffbads abgekühlt wird, bevor er in den Kreis-

laufstrom (2) eingeschleust wird.

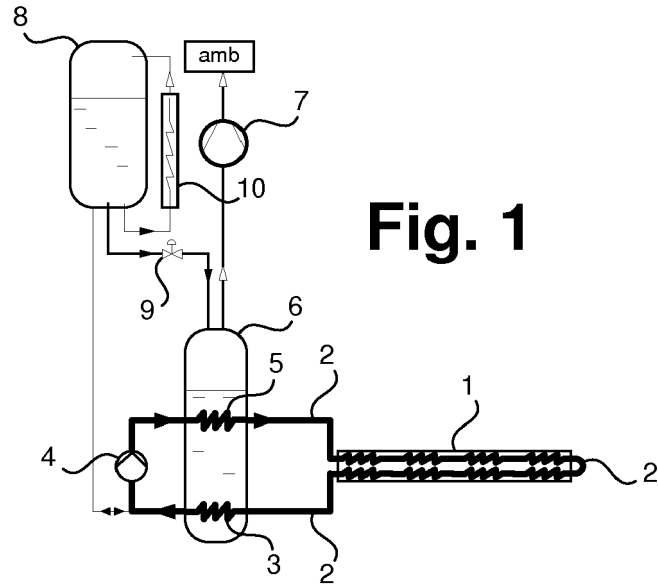
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das dritte unterkühlte Stickstoffbad dadurch bereitgestellt wird, dass weiterer flüssiger Stickstoff aus dem Reservoir (8) auf dem ersten Druckniveau entnommen und unter teilweiser Verdampfung auf ein drittes Druckniveau entspannt wird. 5
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem ein bei der Entspannung auf das dritte Druckniveau nicht verdampfter Anteil des weiteren flüssigen Stickstoffs aus dem Reservoir (8) zumindest teilweise dem dritten Stickstoffbad zugeführt und ein bei der Entspannung auf das dritte Druckniveau verdampfter Anteil des weiteren flüssigen Stickstoffs aus dem Reservoir (8) zumindest teilweise als Kühlmittel in der geschlossenen Kühleinrichtung (11) verwendet wird. 10 15
12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem als die geschlossene Kühleinrichtung (11) eine Kühleinrichtung mit einem Brayton-Kühler verwendet wird. 20
13. Vorrichtung zur Kühlung eines Verbrauchers (1) über eine Kühlstrecke, die sich zwischen einem ersten Ende und einem zweiten Ende erstreckt, wobei die Vorrichtung aufweist: 25
- Mittel, umfassend Wärmetauscher (3, 5, 13) und eine Kreislaufpumpe (4), die dafür eingerichtet sind, flüssigen Stickstoff in Form eines Kreislaufstroms (2) kontinuierlich im Kreislauf und wiederholt einer ersten Abkühlung zu unterwerfen, der Kühlstrecke an dem ersten Ende zuzuführen, von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke zu transportieren, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zu entnehmen, einer zweiten Abkühlung zu unterwerfen, der Kühlstrecke an dem zweiten Ende zuzuführen, von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke zu transportieren und der Kühlstrecke an dem ersten Ende wieder zu entnehmen, 30 35
  - Mittel, die dafür eingerichtet sind, die erste Abkühlung unter Verwendung eines ersten unterkühlten Stickstoffbads und die zweite Abkühlung unter Verwendung eines zweiten unterkühlten Stickstoffbads durchzuführen, eine geschlossene Kühleinrichtung (11), die dafür eingerichtet ist, das erste Stickstoffbad abzukühlen und Mittel, umfassend eine Vakuumpumpe (7), die dafür eingerichtet sind, das zweite Stickstoffbad zumindest teilweise durch eine Druckreduktion auf ein unteratmosphärisches Druckniveau zu unterkühlen, und 40 45
  - Mittel, die dafür eingerichtet sind, eine aufgrund der Druckreduktion auf das unteratmosphärische Druckniveau aus dem zweiten Stick- 50 55

stoffbad verdampfende Stickstoffmenge zumindest teilweise aus einem Reservoir (8) auszugleichen,

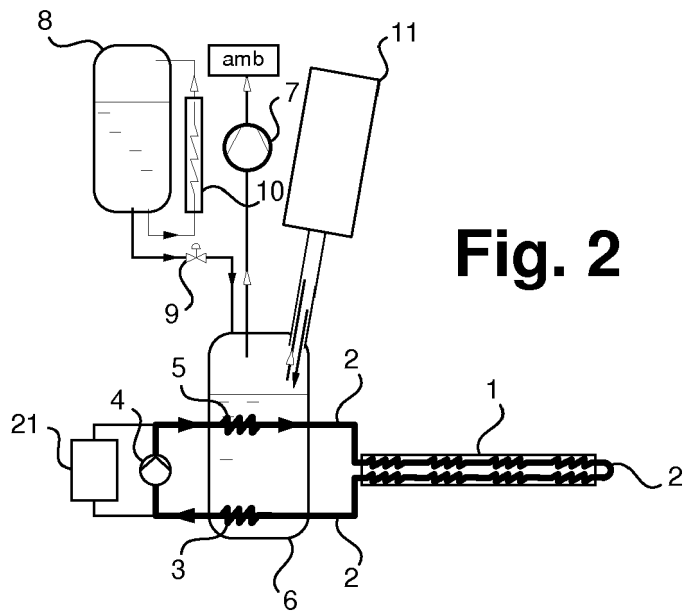
#### gekennzeichnet durch

- Mittel, die dafür eingerichtet sind, aus dem Reservoir flüssigen Stickstoff zu entnehmen und in den Kreislaufstrom (2) einzuschleusen, bevor der Kreislaufstrom (2) der Kühlstrecke an dem ersten Ende zugeführt wird, und flüssigen Stickstoff aus dem Kreislaufstrom (2) auszuschleusen und zumindest teilweise dem zweiten Stickstoffbad zuzuführen, nachdem der Kreislaufstrom (2) der Kühlstrecke an dem zweiten Ende entnommen wird.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei dem zum Transportieren des flüssigen Stickstoffs in Form des Kreislaufstroms von dem ersten Ende zu dem zweiten Ende entlang der Kühlstrecke eine oder mehrere erste Kühlpassagen und zum Transport von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende entlang der Kühlstrecke eine oder mehrere zweite Kühlpassagen, die fluidisch von der einen oder den mehreren ersten Kühlpassagen getrennt ist oder sind, bereitgestellt ist oder sind.
15. System (100, 200, 300, 400) mit einem zu kühlenden Verbraucher (1), **gekennzeichnet durch** eine Vorrichtung gemäß Anspruch 13 oder 14.



**Fig. 1**



**Fig. 2**

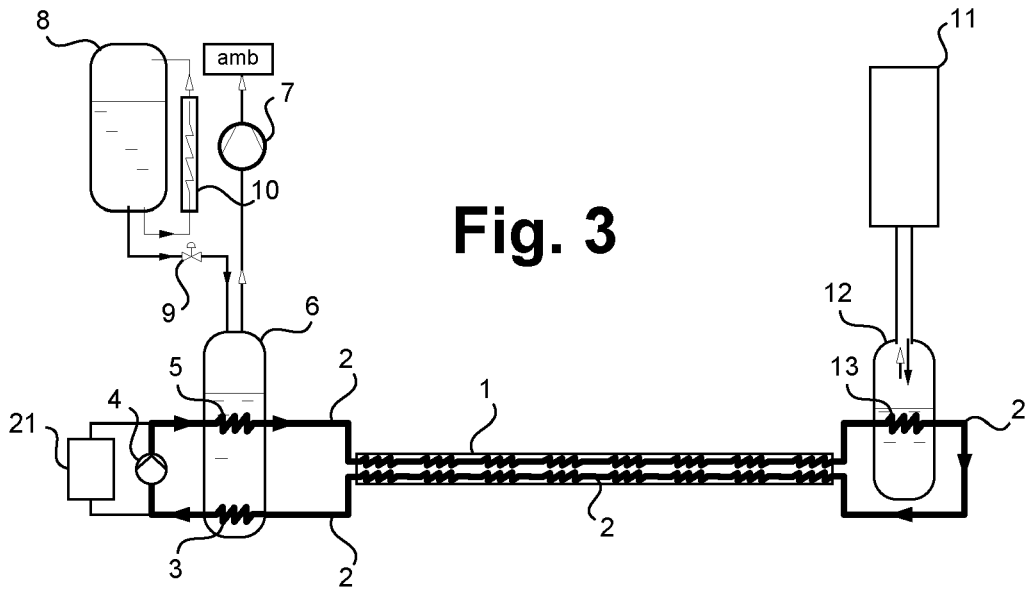


Fig. 3

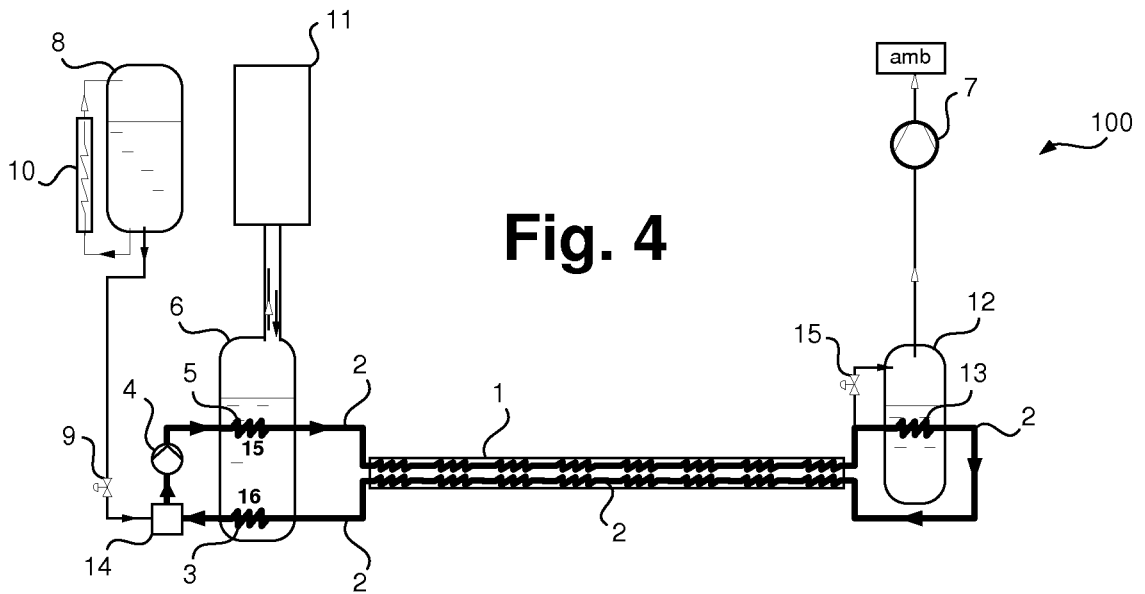
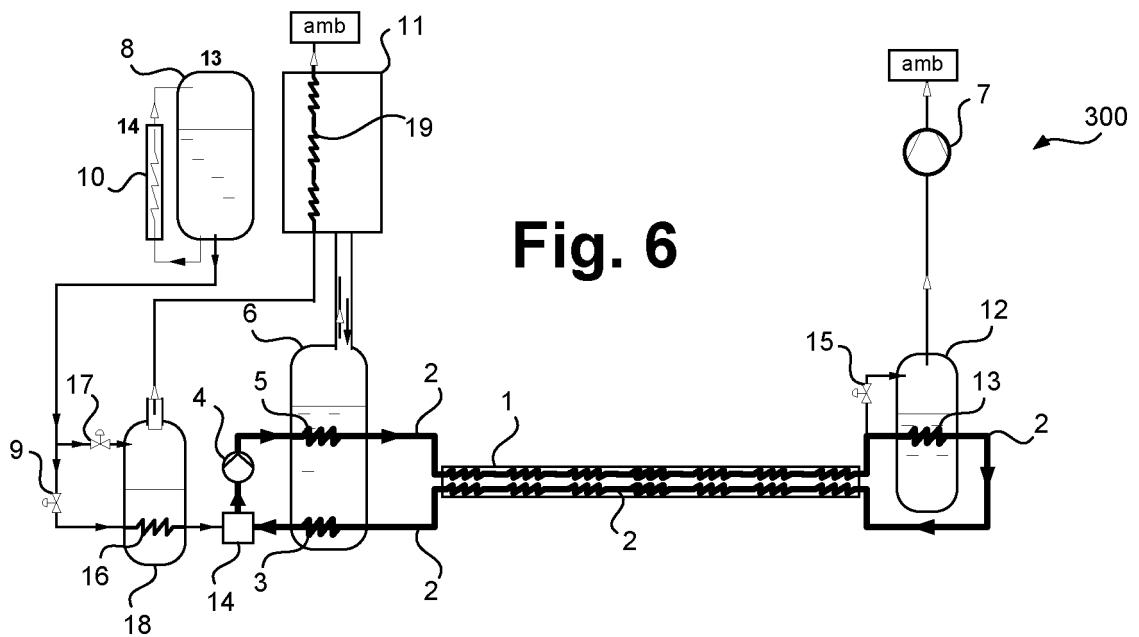
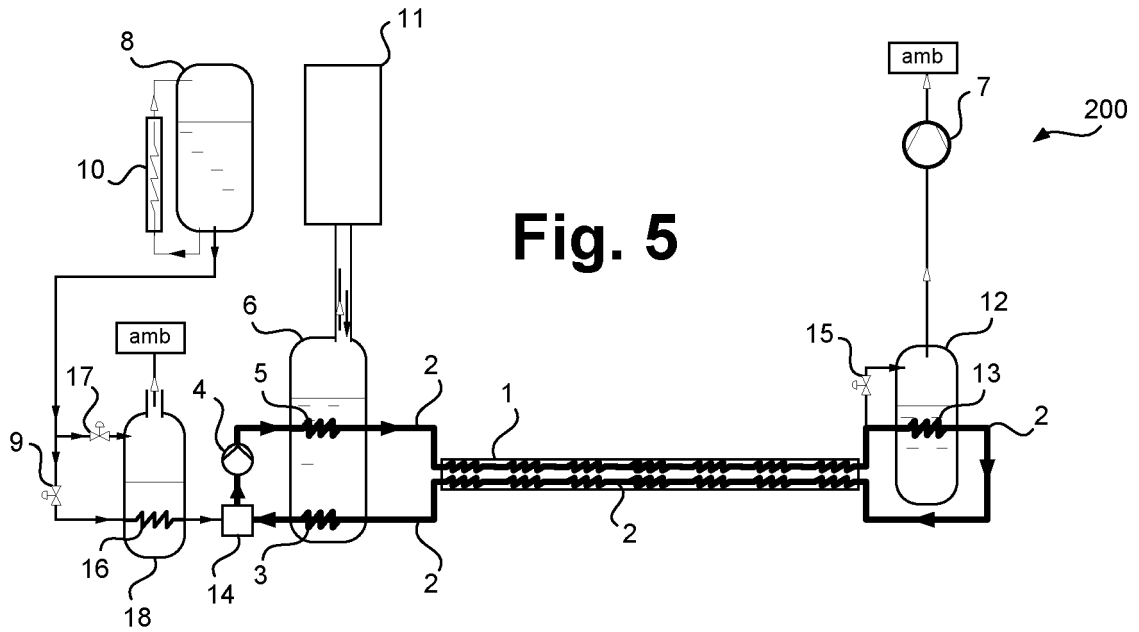
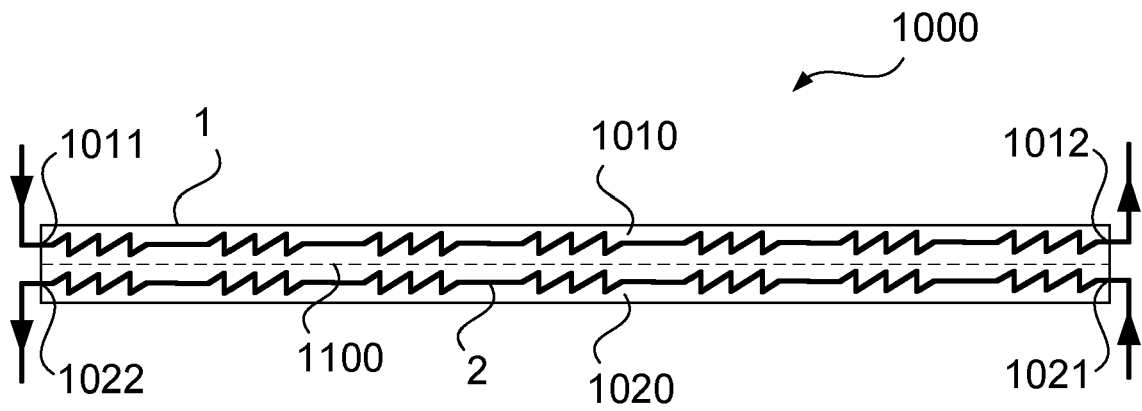


Fig. 4





**Fig. 7**



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 18 02 0651

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	DE 10 2012 016292 A1 (MESSER GROUP GMBH [DE]; MESSER IND GMBH [DE]) 20. Februar 2014 (2014-02-20)	1,3-8, 13,15	INV. F25B9/00 F25B19/00 F25B23/00
A	* Absatz [0002] - Absatz [0035]; Abbildungen 1-3 *	2,9-12, 14	
A,D	EP 1 355 114 A2 (LINDE AG [DE]) 22. Oktober 2003 (2003-10-22) * das ganze Dokument *	1-15	
A	US 2006/150639 A1 (ZIA JALAL H [US] ET AL) 13. Juli 2006 (2006-07-13) * das ganze Dokument *	1-15	
A	EP 1 643 197 A2 (BOC GROUP INC [US]) 5. April 2006 (2006-04-05) * das ganze Dokument *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25B
2 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 8. Februar 2019	Prüfer Gasper, Ralf
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 0651

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.

08-02-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102012016292 A1	20-02-2014	DE 102012016292 A1 WO 2014026873 A2	20-02-2014 20-02-2014
15	EP 1355114 A2	22-10-2003	DE 10217092 A1 EP 1355114 A2	06-11-2003 22-10-2003
	US 2006150639 A1	13-07-2006	US 2006150639 A1 WO 2006076375 A1	13-07-2006 20-07-2006
20	EP 1643197 A2	05-04-2006	AT 489592 T AU 2005205819 A1 CA 2517532 A1 CN 1773632 A EP 1643197 A2 JP 2006100275 A KR 20060051770 A MX PA05010328 A TW 200626853 A US 2006065004 A1	15-12-2010 13-04-2006 29-03-2006 17-05-2006 05-04-2006 13-04-2006 19-05-2006 03-04-2006 01-08-2006 30-03-2006
25				
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**

- DE 102013011212 A1 [0004]
- EP 1355114 A3 [0004]
- DE 19755484 A1 [0004]
- DE 102012016292 A1 [0005] [0025] [0026] [0028]  
[0038]