(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 355 114 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
22.10.2003 Patentblatt 2003/43

(51) Int Cl.[7]: **F25B 19/00**, H01F 6/04

(21) Anmeldenummer: **03008648.2**

(22) Anmeldetag: **15.04.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

(30) Priorität: **17.04.2002 DE 10217092**

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
65189 Wiesbaden (DE)

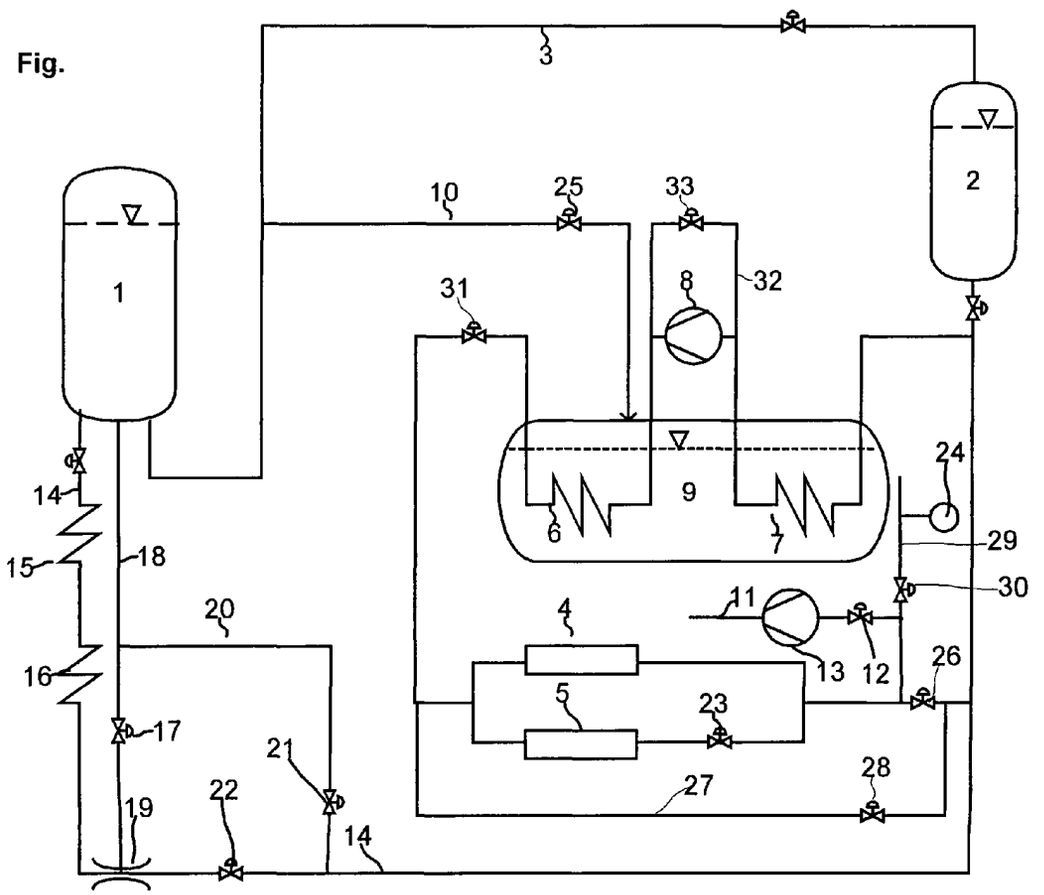
(72) Erfinder: **Holzberger, Horst**
81254 München (DE)

(74) Vertreter: **Gellner, Bernd, Dr.**
Linde Aktiengesellschaft,
Zentrale Patentabteilung
82049 Höllriegelskreuth (DE)

(54) Kühlung von Hochtemperatursupraleitern

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung von Elementen durch Wärmeaustausch mit einer kryogenen Flüssigkeit. Die kryogene Flüssigkeit wird durch eine gleiche in einem Ausgleichsbehälter (2) gespeicherte kryogene Flüssigkeit mit Druck beaufschlagt, in einem geschlossenen Kreislauf geführt und in indirektem Wärmeaustausch mit einem Kälteträger gekühlt.

Fig.



EP 1 355 114 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung von Elementen durch Wärmeaustausch mit einer kryogenen Flüssigkeit, wobei die kryogene Flüssigkeit mit Druck beaufschlagt, in einem geschlossenen Kreislauf geführt und in indirektem Wärmeaustausch mit einem Kälteträger gekühlt wird. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine entsprechende Vorrichtung zur Kühlung von Elementen, die eine Ringleitung zur Führung einer kryogenen Flüssigkeit in einem geschlossenen Kreislauf aufweist, wobei in der Ringleitung ein Wärmetauscher und Mittel zur Beförderung der kryogenen Flüssigkeit in dem geschlossenen Kreislauf vorgesehen sind.

[0002] Hochtemperatursupraleitende Kabel (HTSL-Kabel) müssen im Betrieb immer unterhalb der Sprungtemperatur des verwendeten supraleitenden Materials gehalten werden. In der Praxis wird dies bisher dadurch erreicht, dass die HTSL-Kabel in direktem Wärmeaustausch mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Dabei nimmt der flüssige Stickstoff die in den HTSL-Kabeln entstehende Verlustleistung auf und erwärmt sich beziehungsweise verdampft zum Teil. Bei einer Kreislaufführung des als Kühlmedium verwendeten Stickstoffs muss dieser daher ebenfalls wieder abgekühlt bzw. rückverflüssigt werden. Dies wird nach dem Stand der Technik durch indirekten Wärmeaustausch mit flüssigem Helium erreicht, wobei aus Kostengründen verdampftes Helium wieder rückverflüssigt wird. Dieses bekannte Verfahren ist jedoch aufwändig und teuer.

[0003] Aufgabe vorliegender Erfindung ist es daher, ein kostengünstiges Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung der eingangs genannten Art zu entwickeln, wobei die kryogene Flüssigkeit verlustarm in einem Kreislauf geführt wird und die Einphasigkeit der Flüssigkeit möglichst über den gesamten Kreislauf erhalten bleibt.

[0004] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gelöst, bei dem die Elemente durch Wärmeaustausch mit einer kryogenen Flüssigkeit gekühlt werden, wobei die kryogene Flüssigkeit mit Druck beaufschlagt, in einem geschlossenen Kreislauf geführt und in indirektem Wärmeaustausch mit einem Kälteträger gekühlt wird, wobei die im geschlossenen Kreislauf geführte kryogene Flüssigkeit durch eine gleiche in einem Ausgleichsbehälter gespeicherte kryogene Flüssigkeit mit Druck beaufschlagt wird.

[0005] Eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zeichnet sich dadurch aus, dass mit der Ringleitung ein Ausgleichsbehälter für unter erhöhtem Druck gespeicherte kryogene Flüssigkeit verbunden ist.

[0006] Erfindungsgemäß wird eine kryogene Flüssigkeit als Kälteträger in einem geschlossenen Kreislauf geführt und zur Kühlung von Bauteilen, Anlagenteilen oder sonstigen Elementen eingesetzt. Die kryogene Flüssigkeit wird dabei unter erhöhtem Druck durch die Kreislaufleitung gefördert und mit einem Kühlmedium in indirektem Wärmeaustausch abgekühlt. Die Beaufschlagung der kryogenen Flüssigkeit mit Druck als auch die Druckhaltung und Druckregelung erfolgen mittels eines Ausgleichsbehälters, der mit der gleichen kryogenen Flüssigkeit unter erhöhtem Druck befüllt und mit dem Kreislauf direkt verbunden ist. Weiterhin hat der Ausgleichsbehälter die Aufgabe, große, plötzlich entstehende Gasbildungen im geschlossenen Kreislauf sowie Leckageverluste zu kompensieren.

[0007] Vorzugsweise wird die im geschlossenen Kreislauf geführte kryogene Flüssigkeit mit kryogener Flüssigkeit gleicher chemischer Zusammensetzung, welche unter geringerem Druck als die im Kreislauf geführte Flüssigkeit steht, gekühlt. Besonders bevorzugt wird als kryogene Flüssigkeit flüssiger Stickstoff verwendet. Dieser wird mit einem über dem Atmosphärendruck liegenden Druck im geschlossenen Kreislauf geführt und mit flüssigem Stickstoff als Kühlmedium gekühlt, welcher mit einem niedrigeren Druck als der Kreislaufstickstoff vorliegt.

[0008] Als besonders günstig hat es sich erwiesen, die im geschlossenen Kreislauf geführte Flüssigkeit mit einem Druck zwischen 1 und 36 bar, bevorzugt zwischen 2 und 20 bar, besonders vorzugsweise zwischen 2 und 9 bar, zu beaufschlagen. Bei der Kühlung von HTSL-Kabeln wird der Druck im Kühlkreislauf in Abhängigkeit von der Kabellänge und dessen Isolationsverlusten gewählt.

[0009] Die Förderung der kryogenen Flüssigkeit im geschlossenen Kreislauf wird von Vorteil mittels einer Pumpe, vorzugsweise einer Kreiselpumpe, erreicht, wobei besonders vorteilhaft, der Massenstrom der im Kreislauf geführten kryogenen Flüssigkeit stufenlos regelbar ist. Bei der Verwendung von flüssigem Stickstoff hat sich ein einstellbarer Massendurchsatz im Kreislauf zwischen 60 g/s und 2 kg/s bewährt, wobei der Durchsatz je nach Bedarf variieren kann.

[0010] Die Erfindung eignet sich insbesondere zur Kühlung von hochtemperatursupraleitenden Teilen oder Maschinen, insbesondere Kabeln, Starkstromkabeln, Motoren, Generatoren, Strombegrenzem, Transformatoren, wie Leistungstransformatoren oder Bahntransformatoren, Energiespeichem oder Kurzschlussstrombegrenzem. Die Erfindung ermöglicht erstmals die kostengünstige Kühlung von Hochtemperatursupraleitem im großtechnischen Maßstab. Energieversorgungsunternehmen steht damit eine Möglichkeit zur verlustarmen Energieübertragung zur Verfügung.

[0011] Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand von dem in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiel näher erläutert. Hierbei zeigt

die Figur das Verfahrensschema einer erfindungsgemäßen Anlage zur Kühlung von hochtemperatursupraleitenden Kabeln.

[0012] Die in der Figur gezeigte Anlage zur Kühlung

eines hochtemperatursupraleitenden Kabels umfasst einen Speicherbehälter 1 sowie einen Ausgleichsbehälter 2 für flüssigen Stickstoff. Die beiden Behälter 1, 2 sind über eine Leitung 3 so miteinander verbunden, dass bei Bedarf flüssiger Stickstoff aus dem Speicherbehälter 1 in den Ausgleichsbehälter 2 geleitet werden kann.

[0013] Das zu kühlende Hochtemperatursupraleiterkabel wird in direktem Wärmeaustausch mit flüssigem Stickstoff gekühlt, der in einem geschlossenen Stickstoffkreislauf zirkuliert. Das Hochtemperatursupraleiterkabel besteht aus einer Vielzahl von auf einem flexiblen Innenrohr aufgewickelten supraleitenden Drähten. Das Innenrohr bildet einen ersten Kühlkanal 4, durch den flüssiger Stickstoff als Kühlmedium geleitet wird und das Hochtemperatursupraleiterkabel von innen kühlt. Das gesamte Kabel ist von einem isolierten Mantel umhüllt, wobei der ringförmige Zwischenraum zwischen dem Kabel und dem Mantel einen zweiten Kühlkanal 5 bildet, durch den ebenfalls flüssiger Stickstoff zur Außenkühlung des Kabels fließt. Die Endverschlüsse, d.h. die Anschlüsse des supraleitenden Kabels an ein normalleitendes Kabel, werden ebenfalls mit dem in dem geschlossenen Kreislauf zirkulierenden flüssigen Stickstoff gekühlt.

[0014] Der Stickstoffkreislauf umfasst neben den beiden parallel geschalteten Kühlkanälen 4, 5 für das supraleitende Kabel zwei Wärmetauscherschlangen 6, 7 und eine Kreiselpumpe 8. Anstelle der Wärmetauscherschlangen ist es ebenso möglich, andere Typen von Wärmetauschem, wie zum Beispiel Rippenrohrwärmetauscher oder Plattenwärmetauscher, einzusetzen. Die Zuführung zur Kühleinheit 5 weist ferner noch ein Regelventil 23 auf, welches die Aufgabe hat, die Teilströme für die Innenkühlung 4 und die Außenkühlung 5 zu regeln. Parallel zu den beiden Kühlkanälen 4, 5 ist noch eine mit einem Ventil 28 versehene Bypass-Leitung 27 vorgesehen.

[0015] Die Wärmetauscherschlangen 6, 7 befinden sich in einem drucklosen Flüssigstickstoffbad 9, welches über Leitung 10 aus dem Speicherbehälter 1 nachgefüllt werden kann. Mit dem Stickstoffkreislauf ist ferner eine mit einem Abgasventil 30 verschließbare Abgasleitung 29 verbunden. Außerdem ist eine Evakuierungsleitung 11 vorgesehen, die ebenfalls mittels eines Ventils 12 geöffnet bzw. geschlossen werden kann, und an die eine Vakuumpumpe 13 angeschlossen ist. Stromabwärts der Abzweigung der Evakuierungs- und der Abgasleitung 11 bzw. 29 ist ein Ventil 26 in den Stickstoffkreislauf geschaltet.

[0016] Der Speicherbehälter 1 ist über eine erste Zuleitung 14 zur Zuführung gasförmigen Stickstoffs mit dem Stickstoffkreislauf verbunden. In die Zuleitung 14 sind ein luftbeheizter Verdampfer 15 sowie ein elektrisch beheizter Anwärmer 16 integriert. Stromabwärts des Anwärmers 16 mündet eine mit einem Regelventil 17 versehene Flüssigstickstoffleitung 18 in die Leitung 14. An der Mündungsstelle der Leitungen 18 und 14 ist ein Venturimischrohr 19 vorgesehen, um die über die Flüssigstickstoffleitung 18 zugeführte Flüssigkeit dem in Leitung 14 strömenden Gas zuzumischen.

[0017] Von der Flüssigstickstoffleitung 18 zweigt stromaufwärts des Regelventils 17 eine weitere Leitung 20 ab, die mit einem Ventil 21 versehen ist und die ebenfalls in die Zuleitung 14 mündet. In die Zuleitung 14 ist zwischen dem Venturimischrohr 19 und der Mündung von Leitung 20 ein weiteres Regelventil 22 geschaltet.

[0018] Alle Rohrleitungen und Armaturen im Flüssigstickstoffkreislauf sind in vakuumisolierter Bauart ausgeführt. Auch die Vorrichtungen zur Durchflussmessung und Temperaturmessung sind vakuumisoliert. Druckmessungen werden dagegen am warmen unisolierten Teil des jeweiligen Rohrstutzens, in dem die Temperaturmesseinheit untergebracht ist, vorgenommen. Selbstverständlich sind aus Sicherheitsgründen alle Anlagenteile, in denen Flüssigkeit eingesperrt werden kann, mit entsprechenden Sicherheitsablässen oder Überströmklappen gegen Beschädigung oder Zerstörung abgesichert.

[0019] Zur Inbetriebnahme der in der Figur gezeigten Anlage wird der Stickstoffkreislauf zunächst durch Öffnen des Ventils 12 und Starten der Vakuumpumpe 13 über die Evakuierungsleitung 11 evakuiert. Hierbei wird eventuell in den Rohrleitungen des Stickstoffkreislaufs vorhandene Feuchtigkeit entfernt. Die Ventile 26 und 28 sind geschlossen.

[0020] Der Stickstoffkreislauf wird anschließend mit warmem Stickstoffgas gespült. Hierzu wird über Leitung 14 flüssiger Stickstoff aus dem Speicherbehälter 1 abgezogen, in dem Luftverdampfer 15 gegen Umgebungsluft verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. In dem nachgeschalteten elektrischen Anwärmer 16 wird der gasförmige Stickstoff dann auf ungefähr 330 K angewärmt. Nach Öffnen der Ventile 22 und 28 strömt dieses warme Gas über Leitung 14 und die Bypassleitung 27 in die Kühlkanäle 4, 5 und wird dann über die Abgasleitung 29 in die Atmosphäre abgeblasen.

[0021] Erfindungsgemäß wird die Anlage definiert abgekühlt, um mechanische Spannungen zu vermeiden. Hierzu ist eine Kalt- und Warmgaserzeugungseinheit vorgesehen, die eine definierte, schrittweise Abkühlung bzw. Erwärmung mit Gastemperaturen zwischen 100 K und 330 K ermöglicht. Der Gasdurchsatz ist ebenfalls in weiten Grenzen einstellbar. Die Größe der Temperaturschritte beträgt vorzugsweise 20 bis 40 K.

[0022] Ausgehend von der oben beschriebenen Spülphase mit warmem Stickstoffgas wird die Temperatur des über Zuleitung 14 in den Bypass 27 und die Kühlkanäle 4, 5 eingeleiteten Gases allmählich abgesenkt. Das Dosierventil 17 wird hierzu geöffnet, so dass aus Leitung 18 flüssiger Stickstoff ausströmt. Der flüssige Stickstoff wird in dem Venturimischrohr 19 dem gasförmigen Stickstoff zugemischt. Das Dosierventil 17 wird dabei so geregelt, dass der in Leitung 14 fließende Gasstrom stromabwärts des Venturimischrohres 19 die ge-

wünschte Temperatur erreicht. Die Temperaturmessung erfolgt mittels eines Temperatursensors 24, der in der Abgasleitung 12 angeordnet ist. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das komplette supraleitende Kabel die gewünschte Temperatur angenommen hat.

[0023] Nach Erreichen der Solltemperatur wird der nächste Temperaturschritt eingeleitet. Der Durchfluss durch das Dosierventil 17 wird entsprechend erhöht, um eine weitere Temperaturabsenkung zu erzielen. Die Gesamtdurchflussmenge des dem Stickstoffkreislauf zugeführten Gases wird dabei mittels des Regelventils 22 konstant gehalten. Auf diese Weise wird die Temperatur des Stickstoffkreislaufes allmählich bis auf etwa 100 K abgesenkt. Das Wärmetauscherbad 9 ist üblicherweise bereits mit Flüssigstickstoff gefüllt, so dass eine Vorkühlung dieses Teils des Stickstoffkreislaufes nicht notwendig ist.

[0024] Sobald das Thermometer 24 in der Abgasleitung 12 100 K anzeigt, wird der gesamte Stickstoffkühlkreislauf mit flüssigem Stickstoff gefüllt. Dies geschieht, indem Ventil 21 langsam geöffnet und die Ventile 17 und 22 entsprechend geschlossen werden. Der Zustrom an gasförmigem Stickstoff wird hierdurch unterbunden und flüssiger Stickstoff strömt über Leitung 20 aus dem Speicherbehälter 1 direkt in die Zuleitung 14. Die Ventile 28 und 30 werden geschlossen, so dass der Bypass 27 und die Abgasleitung 29 abgesperrt sind, und Ventil 26 geöffnet, um den Stickstoffkreislauf in Betrieb zu setzen.

[0025] Die Strömungsverbindung zwischen dem Ausgleichsbehälter 2 und dem Stickstoffkreislauf wird dann geöffnet. Der Ausgleichsbehälter 2 ist mit einer Tankdruckregelung versehen, die vorzugsweise ferneinstellbar ist. Über diese Tankdruckregelung kann der Druck im Ausgleichsbehälter 2 und im Stickstoffkreislauf eingestellt und automatisch geregelt werden. Vorzugsweise wird ein Druck zwischen 2 und 9 bar eingestellt und aufrechterhalten.

[0026] Die Durchflussmenge des im geschlossenen Kreislauf geführten flüssigen Stickstoffs kann durch die Kreiselpumpe 8 und ein im Kreislauf auf der Pumpendruckseite angeordnetes Regelventil 31 geregelt werden. Die Grobeinstellung der Durchflussmenge erfolgt durch Regelung der Drehzahl der Pumpe 8. Ferner ist ein mit einem Ventil 33 versehener Pumpenbypass 32 vorgesehen, durch den ein Teilstrom des von der Pumpe 8 geförderten Stroms zur Ansaugseite der Pumpe 8 zurückgefördert wird, so dass auch bei geringen Durchflüssen im Stickstoffkreislauf stets die für eine ordnungsgemäße Funktion der Pumpe 8 erforderliche Mindestmenge an Flüssigkeit ansteht. Die Kreiselpumpe 8 sorgt dafür, dass der flüssige Stickstoff turbulent durch den Kreislauf geführt wird und das Hochtemperatursupraleiterkabel 4, 5 turbulent umströmt und dabei die in dem Kabel 4, 5 entstehende Verlustleistung aufnimmt.

[0027] Die Feinregelung des Durchsatzes an flüssigem Stickstoff durch den geschlossenen Kreislauf erfolgt mittels des Regelventils 31. Außerdem kann noch mittels des Regelventils 23 die Verteilung des flüssigen Stickstoffs auf die beiden Kühlkanäle 4, 5 eingestellt werden.

[0028] Der in den Kühlkanälen 4, 5 angewärmte Stickstoff strömt anschließend durch den Wärmetauscher 7, der sich in dem drucklosen Flüssigstickstoffbad 9 befindet. Je nach Ausführung der Wärmetauscher 6 und 7, der im Kreislauf geführten Stickstoffmenge und der aufzunehmenden Verlustleistung ist es auch günstig, im Behälter 9 einen Unterdruck vorzusehen, um eine höhere Temperaturdifferenz zwischen dem im Kreislauf geführten Stickstoff und dem im Behälter 9 befindlichen Flüssigstickstoff zu erzielen. Die Temperatur des Stickstoffs wird dadurch noch weiter abgesenkt, wodurch sich die Stromübertragungsrate des zu kühlenden HTSL-Kabels erhöhen lässt.

[0029] Im Wärmetauscher 7 gibt der Kreislaufstickstoff die aufgenommene Wärme an das Stickstoffbad 9 ab und wird dabei annähemd auf die Temperatur des Bades 9 unterkühlt, wodurch der Kreislaufstickstoff blasenfrei wird. Danach wird der Kreislaufstickstoff von der Kreiselpumpe 8 angesaugt und beschleunigt und durch den zweiten Wärmetauscher 6 gedrückt. In dem zweiten Wärmetauscher 6 gibt der Kreislaufstickstoff die Verlustleistung der Pumpe 8 ebenfalls an das Stickstoffbad 9 ab und wird gegebenenfalls noch weiter abgekühlt, um dann wieder den Kühlkanälen 4, 5 zugeführt zu werden.

[0030] Der durch den Wärmeeintrag in das Stickstoffbad 9 entstehende gasförmige Stickstoff wird durch entsprechende, in der Zeichnung nicht dargestellte Öffnungen an die Atmosphäre abgeführt oder bevorzugt anderen Verbrauchern zugeführt beziehungsweise rückverflüssigt. Über Leitung 10 wird aus dem Bad 9 verdampfter Stickstoff durch flüssigen Stickstoff aus dem Speicherbehälter 1 ersetzt. Hierzu ist eine übliche Füllstandsüberwachung in dem Behälter 9 vorgesehen, die Ventil 25 bei einer Niveauunterschreitung öffnet und nach Erreichen des maximalen Füllstandes wieder schließt.

[0031] In analoger Weise wird der Ausgleichsbehälter 2 bei Bedarf aus dem Speicherbehälter 1 nachgefüllt.

[0032] Zusammenfassend weist die Erfindung die folgenden Vorteile auf:

- Die im geschlossenen Kreislauf geführte kryogene Flüssigkeit bleibt auf der gesamten Kreislaufstrekke einphasig.
- Der Druck im Kreislauf ist stufenlos regelbar.
- Der im Kreislauf geführte Massenstrom ist, beispielsweise mittels einer drehzahlgeregelten Kreiselpumpe, einem Regelventil auf der Pumpendruckseite und einer Pumpen-Bypass-Regelung, ebenfalls in weiten Grenzen stufenlos regelbar.
- Der Kühlkreislauf kann langsam und gezielt abgekühlt und angewärmt werden.
- Der Kühlkreislauf kann kontrolliert mit der kryogenen Flüssigkeit, insbesondere flüssigem Stickstoff, befüllt bzw. entleert werden.
- Der Kühlkreislauf ist evakuierbar, um Verunreini-

gungen abziehen zu können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung von Elementen durch Wärmeaustausch mit einer kryogenen Flüssigkeit, wobei die kryogene Flüssigkeit mit Druck beaufschlagt, in einem geschlossenen Kreislauf geführt und in indirektem Wärmeaustausch mit einem Kälteträger gekühlt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Kreislauf geführte kryogene Flüssigkeit durch eine gleiche in einem Ausgleichsbehälter (2) gespeicherte kryogene Flüssigkeit mit Druck beaufschlagt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Kreislauf geführte kryogene Flüssigkeit mit kryogener Flüssigkeit gleicher chemischer Zusammensetzung, welche unter geringerem Druck als die im Kreislauf geführte Flüssigkeit steht, gekühlt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als kryogene Flüssigkeit flüssiger Stickstoff verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Kreislauf geführte Flüssigkeit mit einem Druck zwischen 1 und 36 bar, bevorzugt zwischen 1 und 20 bar, besonders bevorzugt zwischen 2 und 9 bar, beaufschlagt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kryogene Flüssigkeit mittels einer Pumpe (8) im Kreislauf umgewälzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Massenstrom der im Kreislauf geführten kryogenen Flüssigkeit stufenlos regelbar ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** verdampfte kryogene Flüssigkeit rückverflüssigt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elemente (4, 5) durch direkten Wärmeaustausch mit der kryogenen Flüssigkeit gekühlt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Hochtemperatursupraleiter, insbesondere hochtemperatursupraleitende Kabel (4, 5), mit der kryogenen Flüssigkeit gekühlt werden.

10. Vorrichtung zur Kühlung von Elementen mit einer Ringleitung zur Führung einer kryogenen Flüssigkeit in einem geschlossenen Kreislauf, wobei in der Ringleitung ein Wärmetauscher und Mittel zur Beförderung der kryogenen Flüssigkeit in dem geschlossenen Kreislauf vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Ringleitung ein Ausgleichsbehälter (2) für unter erhöhtem Druck gespeicherte kryogene Flüssigkeit verbunden ist.

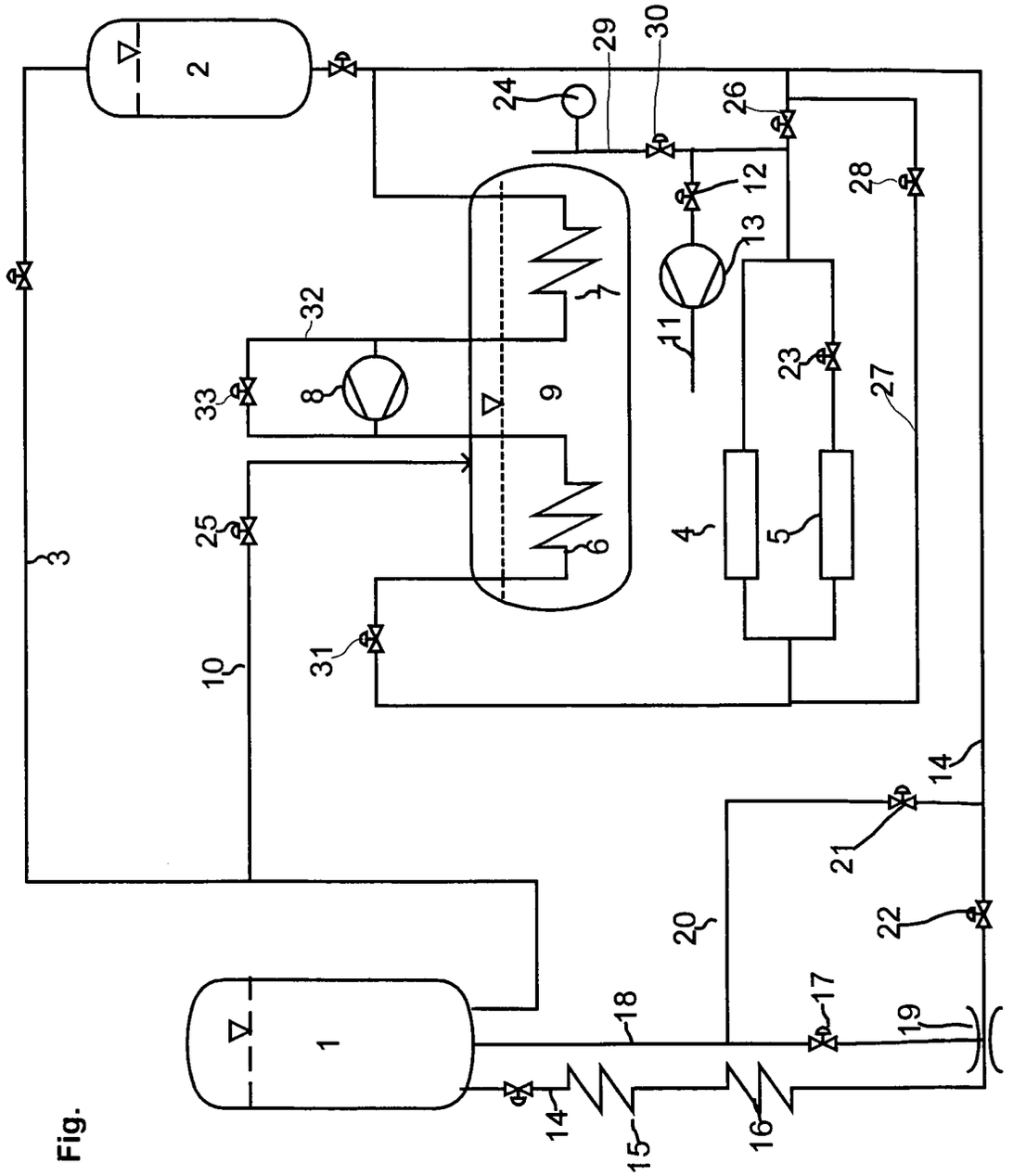

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33

Fig.