



(11) **EP 4 194 773 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**22.05.2024 Patentblatt 2024/21**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F25B 21/04<sup>(2006.01)</sup> F25B 25/00<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **22206893.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F25B 21/04; F25B 25/005**

(22) Anmeldetag: **11.11.2022**

(54) **WÄRMEPUMPENKASKADE UND VERFAHREN ZUR ERWÄRMUNG ODER ABKÜHLUNG EINES  
KÜHLMITTELS MITTELS EINER WÄRMEPUMPENKASKADE**

HEAT PUMP CASCADE AND METHOD FOR HEATING OR COOLING COOLANT BY USING HEAT  
PUMP CASCADE

CASCADE DE POMPES À CHALEUR ET PROCÉDÉ DE CHAUFFAGE OU DE REFROIDISSEMENT  
D'UN RÉFRIGÉRANT AU MOYEN D'UNE CASCADE DE POMPES À CHALEUR

(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 ME MK MT NL  
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **13.12.2021 DE 102021214258**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**14.06.2023 Patentblatt 2023/24**

(73) Patentinhaber: **VOLKSWAGEN AG  
38440 Wolfsburg (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Olfe, Jürgen  
38543 Volkse (DE)**  
• **Schneck, Christian  
38104 Braunschweig (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A1-102010 021 901 US-A1- 2010 199 687  
US-B2- 7 475 551**

**EP 4 194 773 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmepumpenkaskade umfassend  $n$  Stufen mit  $n \geq 2$ . Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Erwärmung oder Abkühlung eines Kühlmittels, durchgeführt mit einer Wärmepumpenkaskade umfassend  $n$  Stufen mit  $n \geq 2$ .

**[0002]** Kalorische Wärmepumpen können in vielen Bereichen der Wärme- und Kältetechnik, insbesondere auch im Fahrzeugbau, eingesetzt werden.

**[0003]** Eine der größten technischen Herausforderungen zur Entwicklung effizienter kalorischer Wärmepumpen ist der verhältnismäßig geringe Temperaturhub der kalorischen Materialien, welcher typischerweise zwischen 2 und 10 K liegt. Unter einem Temperaturhub wird dabei der Unterschied zwischen der Temperatur des in die Wärmepumpe einströmenden gasförmigen oder flüssigen Kühlmittels und der Temperatur des ausströmenden Kühlmittels verstanden. Dieser Temperaturunterschied ist limitiert durch die Temperaturänderung des kalorischen Materials während der Phasenumwandlung und die thermodynamischen Bedingungen in der Wärmepumpe, welche durch die Oberflächen, durch die Strömungsgeschwindigkeit, Wärmeübergänge etc. beeinflusst werden. Dies gilt sowohl für elastokalorische als auch für magneto- oder elektrok calorische Wärmepumpen.

**[0004]** Insbesondere in Kraftfahrzeugen wird ein deutlich höherer Temperaturhub sowohl zur Kühlung und Erwärmung des Fahrgastraums als auch für das Thermomanagement von Batterie und Elektronik benötigt, als mit den heute zur Verfügung stehenden Materialien für kalorische Wärmepumpen erreicht werden kann.

**[0005]** Aus der CN 112 325 510 A ist eine Wärmepumpenkaskade aus mehreren Wärmepumpen bekannt, die für den Einsatz in einem Großkraftwerk geeignet ist. Die Wärmepumpen sind parallelgeschaltet, um eine mehrstufige Wärmepumpenkaskade zu bilden.

**[0006]** Die DE 10 2018 219 714 A1 offenbart eine Wärmeübertragervorrichtung für eine Fluidaustauschvorrichtung zu einer Temperierung eines durch die Fluidaustauschvorrichtung strömenden Fluids, mit zumindest einem Einlasskanal zu einer Führung des Fluids, mit zumindest einem Auslasskanal, insbesondere zur Rückführung des Fluids, und mit zumindest einer zwischen dem Einlasskanal und dem Auslasskanal angeordneten Wärmeleiteinheit zu einem Austausch von Wärme zwischen dem Einlasskanal und dem Auslasskanal, wobei zumindest ein innerhalb der Wärmeleiteinheit angeordnetes schwingfähiges Membranelement zu einer schwingungspositionsabhängigen Wärmeleitung zwischen dem Membranelement und dem Einlasskanal und/oder dem Auslasskanal vorgesehen ist.

**[0007]** Aus der CN 109 260 750 A ist eine Vorrichtung bekannt, die im Wesentlichen eine Verdampfungstrocknungsvorrichtung, ein primäres wärmepumpengekoppeltes Luftheizsystem, ein sekundäres wärmepumpen-

gekoppeltes Luftheizsystem, ein tertiäres wärmepumpengekoppeltes Luftheizsystem und ein quartäres wärmepumpengekoppeltes Luftheizsystem aufweist, welche den gleichen Bautyp und die gleiche Anschlussform aufweisen.

**[0008]** Die EP 3 296 658 B1 offenbart eine Abluftwärmepumpe umfassend einen Einlasskanal für Innenraumabluft, einen Auslasskanal für Abluft und eine Wärmepumpeneinheit zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft oder Innenraumluft.

**[0009]** Die DD 223 221 A1 offenbart eine Absorptionswärmepumpe zur Erzeugung von Heizwärme, mit der die jahreszeitlich bedingt erforderlichen unterschiedlich hohen Vorlauftemperaturen bei optimalem Wärmeverhältnis unter durchgängiger Nutzung der Umweltenergie erreicht werden. Gemäß einer Schaltung ist über Ventilkombinationen und Bypassleitungen in eine zweistufige Absorptionswärmepumpe eine einstufige Anlage integriert. Der Heizungswasserkreislauf erfolgt bei zweistufiger Schaltungsanordnung über den Hochtemperaturabsorber und den Kondensator, während für die Warmwasserbereitung ein weiterer Kreislauf über den Niedertemperaturabsorber vorgesehen ist. Im einstufigen Betrieb wird hingegen der gesamte Wasserstrom über den Niedertemperaturabsorber und den Kondensator geführt und für die Wasserwarmbereitung und die Heizung aufgeteilt.

**[0010]** Die US 2019/0257555 A1 offenbart eine magnetokalorische Wärmepumpe mit einer Regenerationsvorrichtung und einem rotierbaren Feldgenerator.

**[0011]** Aus der US 10,465,951 B2 ist ein Wärmepumpensystem bekannt, welches eine variable Magnetisierung verwendet, um die Menge des magnetokalorischen Materials zu steuern, welches dem magnetischen Feld ausgesetzt wird.

**[0012]** Aus der US 2017/0089612 A1 ist eine mehrstufige Wärmepumpe bekannt, welche einen Verdampfer, einen Kondensator und Expansionsstufen, Dampfkompansionsstufen und Tanks zum Lagern der gasförmigen Phasen eines Fluids aufweist.

**[0013]** Die US 7 475 551 B2 offenbart ein Verfahren zum Betreiben eines thermoelektrischen Systems zur thermischen Steuerung eines Ziels, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Einströmen eines ersten Volumens einer Wärmeübertragungsflüssigkeit in einen Teil eines ersten Flüssigkeitsweges, wobei der erste Teil in thermischer Verbindung mit einer ersten Seite eines thermoelektrischen Moduls in thermischer Verbindung steht; Zulassen, dass zumindest ein Teil des ersten Volumens in dem ersten Fluidwegabschnitt verweilt; Einströmen eines zweiten Volumens eines Wärmeübertragungsfluids in den ersten Fluidwegabschnitt, während gleichzeitig mindestens ein Teil des ersten Volumens in Richtung des ersten Fluidwegabschnitts ausströmt und Wiederholen des Verweilenlassens für das zweite und die folgenden Volumina des thermischen Wärmeübertragungsfluids, und das Verweilenlassen und das Strömen in Richtung des Ziels.

**[0014]** Aus der US 2010 / 0 199 687 A1 ist eine Temperatursteuerungsvorrichtung bekannt. Diese umfasst eine thermoelektrische Vorrichtung und eine erste Senke. Die thermoelektrische Vorrichtung umfasst mehrere thermoelektrische Elemente, die elektrisch miteinander durch mehrere elektrische Verbindungen verbunden sind, die zwischen einer Innenfläche einer ersten Platte und einer Innenfläche einer zweiten Platte gekoppelt sind. Die erste Senke hat einen flachen Boden und eine Vielzahl von im Allgemeinen parallelen Rippen, die sich von dem flachen Boden aus erstrecken. Außerdem ist der flache Boden mit einer Außenfläche der ersten Platte durch ein Kopplungsmedium gekoppelt, das ein elastisches und thermisch leitendes Kissen enthält.

**[0015]** Die DE 10 2010 021 901 A1 betrifft einen Wärmetauscher zum Übertragen eines Wärmestroms zwischen einem ersten Fluidstrom und einem zweiten Fluidstrom, mit einem ersten Fluidpfad zum Führen des ersten Fluidstroms, einem dem ersten Fluidpfad thermisch zugeordneten zweiten Fluidpfad zum Führen des zweiten Fluidstroms, einer zwischen dem ersten Fluidpfad und dem zweiten Fluidpfad geschalteten thermoelektrischen Vorrichtung, mittels der der Wärmestrom unter Zuführung von elektrischer Energie entgegen oder in Richtung eines Temperaturgefälles erzeugbar ist. Um ein verbessertes thermoelektrisches Wärmetauschen zu ermöglichen, ist vorgesehen, dass die Fluidpfade in einem Winkel zueinander angeordnet sind und zusammen mit der thermoelektrischen Vorrichtung einen Kreuzstromwärmetauscher bilden.

**[0016]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Wärmepumpenkaskade bereitzustellen, mit der ein hoher Temperaturhub bei hoher Effizienz bereitgestellt werden kann.

**[0017]** Ferner liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erwärmung oder Abkühlung eines Kühlmittels bereitzustellen.

**[0018]** Zur Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe wird eine Wärmepumpenkaskade, umfassend  $n$  Stufen mit  $n \geq 2$ , wobei jede der  $n$  Stufen eine Wärmepumpe mit einem Kühlmittelinlass, einem ersten Kühlmittelauslass und einem zweiten Kühlmittelauslass aufweist, wobei jede Wärmepumpe eine Warmseite und eine Kaltseite und einen Volumenstromteiler aufweist, wobei der Volumenstromteiler eingerichtet ist, einen in den Kühlmittelinlass eintretenden Kühlmittelstrom auf die Warmseite und die Kaltseite aufzuteilen, wobei der erste Kühlmittelauslass der Wärmepumpe jeder Stufe  $i$  mit  $i=1 \dots n-1$  mit dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe einer nachfolgenden Stufe  $i+1$  verbunden ist, wobei ferner vorgesehen ist, dass der zweite Kühlmittelauslass der Wärmepumpe mindestens einer nachfolgenden Stufe  $i+1$  mit  $i=1 \dots n-1$  mit mittels einer Rückführleitung mit dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe einer vorangehenden Stufe  $1 \dots i$  verbunden ist.

**[0019]** Die Wärmepumpenkaskade ist ausgebildet, ein Kühlmittel zu erwärmen oder abzukühlen. Bei dem Kühlmittel kann es sich um ein flüssiges oder ein gasförmiges

Kühlmittel wie beispielsweise Luft oder Wasser handeln.

**[0020]** Mit der erfindungsgemäßen Wärmepumpenkaskade kann durch die Aneinanderreihung mehrerer Stufen beziehungsweise mehrerer Wärmepumpen eine Vervielfachung des Temperaturhubes des Kühlmittels erreicht werden.

**[0021]** In jeder der Stufen beziehungsweise in jeder der Wärmepumpen der jeweiligen Stufen wird dabei der maximal erreichbare Temperaturhub der Wärmepumpe generiert. In jeder der Stufen wird in der zugehörigen Wärmepumpe ein in den jeweiligen Kühlmittelinlass eintretendes Kühlmittel von einem Volumenstromteiler in einen Teilstrom für die Warmseite und einen Teilstrom für die Kaltseite aufgeteilt. Im Betrieb der Wärmepumpen wird dann Wärme von dem Teilstrom des Kühlmittels auf der Kaltseite in den Teilstrom des Kühlmittels auf der Warmseite übertragen. Je nachdem, ob die Wärmepumpenkaskade dazu ausgebildet ist, ein Verbrauchersystem zu beheizen oder zu kühlen, wird entweder der Teilstrom der Warmseite oder der Teilstrom der Kaltseite aus dem ersten Kühlmittelauslass der jeweiligen Wärmepumpe jeder Stufe herausgeleitet und dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der nachfolgenden Stufe zugeführt. Aus dem jeweils zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe jeder Stufe tritt dann entsprechend der Teilstrom der verbleibenden Kaltseite oder Warmseite aus.

**[0022]** Tritt beispielsweise aus dem jeweiligen ersten Kühlmittelauslass das Kühlmittel von der Kaltseite aus, so strömt das sukzessive abgekühlte Kühlmedium von einer Wärmepumpe zur nächsten Wärmepumpe. Aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe tritt dann das final abgekühlte Kühlmittel zur Kühlung eines Verbrauchersystems aus.

**[0023]** Erfindungsgemäß ist es bei mindestens einer der Stufen vorgesehen, dass das aus dem zweiten Kühlmittelauslass austretende Kühlmittel mittels einer Rückführleitung dem Kühlmittelinlass einer der Wärmepumpen einer vorangehenden Stufe zugeführt wird. Im Falle der vorbeschriebenen Wärmepumpenkaskade bedeutet dies, dass in zumindest einer der Stufen aus dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der Teilstrom der Warmseite dem Kühlmittelinlass einer der Wärmepumpen einer vorangehenden Stufe zugeführt wird. Diese Rückführung eines Teilstroms des Kühlmittels hat den Vorteil, dass der nutzbare abgekühlte Volumenstrom erhöht wird.

**[0024]** Ohne eine Rückführung des Volumenstroms würde bei einer Aufteilung des Kühlmittels in gleichgroße Teilströme in jeder der Wärmepumpen der für die Abkühlung eines Verbrauchersystems nutzbare aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe austretende Kühlmittelstrom bei  $n$  Stufen um den Faktor  $1/2^n$  geringer sein als der in den Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe eintretende Kühlmittelstrom. Bei einer  $n$ -stufigen Wärmepumpenkaskade, bei der ab der dritten Stufe in jeder Stufe jeweils eine Rückleitung des Kühlmittels an die unmittelbar vorange-

hende Stufe erfolgt, ist hingegen der nutzbare, aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe austretende Kühlmittelstrom nur um den Faktor  $1/2^n$  geringer als der in den Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe eintretende Kühlmittelstrom. Durch die Rückführung des Kühlmittels über mindestens einen zweiten Kühlmittelauslass einer Wärmepumpe mindestens einer Stufe zu einer vorangehenden Stufe wird der nutzbare Volumenstrom erhöht und die Effizienz wird gesteigert.

**[0025]** Es versteht sich, dass bei der vorbeschriebenen Wärmepumpenkaskade auch die Rollen von Warmseite und Kaltseite vertauscht werden können. Es tritt dann aus dem jeweiligen ersten Kühlmittelauslass das Kühlmittel von der Warmseite aus. Das sukzessive erwärmte Kühlmedium strömt von einer Wärmepumpe zur nächsten Wärmepumpe. Aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe tritt dann das final erwärmte Kühlmittel zur Beheizung eines Verbrauchersystems aus. In zumindest einer der Stufen tritt dann ferner aus dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der Teilstrom der Kaltseite aus und wird dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe einer vorangehenden Stufe zugeführt. Diese Rückführung eines Teilstroms des Kühlmittels hat den Vorteil, dass der nutzbare erwärmte Volumenstrom erhöht wird.

**[0026]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass der zweite Kühlmittelauslass der Wärmepumpe jeder nachfolgenden Stufe  $i+1$  mit  $i = 2 \dots n-1$  mittels einer Rückführleitung mit dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe einer vorangehenden Stufe  $1 \dots i$  verbunden ist.

**[0027]** Dadurch, dass in jeder ab der dritten Stufe eine Rückführung eines Teilstroms des Kühlmittels stattfindet, wird der zum Abkühlen oder Erwärmen nutzbare Volumenstrom des Kühlmittels, welcher am ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe zur Verfügung steht, weiter erhöht.

**[0028]** Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass der zweite Kühlmittelauslass der Wärmepumpe jeder nachfolgenden Stufe  $i+1$  mit  $i = 2 \dots n-1$  mittels einer Rückführleitung mit dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der vorangehenden Stufe  $i$  verbunden ist.

**[0029]** Somit wird der aus dem zweiten Kühlmittelauslass austretende Teilstrom des Kühlmittels ab der dritten Stufe wieder dem Kühlmittelinlass der unmittelbar vorangehenden Stufe zugeführt.

**[0030]** Dies hat den Vorteil, dass, zumindest bei einer hälftigen Aufteilung des Kühlmittels auf die Warmseite und die Kaltseite in jeder Wärmepumpe, der über die jeweilige Rückführleitung von der nachfolgenden Stufe  $i+1$  an die vorangehende Stufe  $i$  zurückgeführte Teilstrom des Kühlmittels das gleiche Temperaturniveau aufweist wie das der vorangehenden Stufe  $i$  von der vorangehenden Stufe  $i-1$  zugeführte Kühlmittel.

**[0031]** Liegt beispielsweise die erreichbare Temperaturspreizung in jeder Wärmepumpe bei  $10^\circ\text{C}$ , so lässt sich das Prinzip folgendermaßen beschreiben: In die erste Stufe tritt in den ersten Kühlmittelinlass der Wärme-

pumpe beispielsweise ein Kühlmittel mit einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  ein. Innerhalb der Wärmepumpe der ersten Stufe wird das Kühlmittel auf der Kaltseite auf  $15^\circ\text{C}$  abgekühlt und auf der Warmseite auf  $25^\circ\text{C}$  erwärmt. Aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der ersten Stufe tritt das Kühlmittel somit mit einer Temperatur von  $15^\circ\text{C}$  aus und folglich mit  $15^\circ\text{C}$  in den Kühlmittelinlass der zweiten Stufe ein. In der Wärmepumpe der zweiten Stufe wird das Kühlmittel auf der Kaltseite erneut um  $5^\circ\text{C}$  abgekühlt und tritt aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der zweiten Stufe mit einer Temperatur von  $10^\circ\text{C}$  aus und mit dieser Temperatur in den Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der dritten Stufe ein. Das erwärmte Kühlmittel aus dem zweiten Kühlmittelauslass der zweiten Stufe weist eine Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  auf, und das aus dem zweiten Kühlmittelauslass der dritten Stufe austretende Kühlmittel weist eine Temperatur von  $15^\circ\text{C}$  auf. Das aus dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der dritten Stufe austretende Kühlmittel wird mittels der Rückführleitung dem Kühlmittelinlass der zweiten Stufe zugeführt, welcher, wie vorstehend erläutert, eine Temperatur von  $15^\circ\text{C}$  aufweist.

**[0032]** Grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, die aus den zweiten Kühlmittelauslässen austretenden Kühlmittelströme der vorangehenden Stufe  $i-1$  oder der vorvorangehenden Stufe  $i-2$  oder jeder beliebigen vorangehenden Stufe  $1 \dots i$  zuzuführen.

**[0033]** Ferner kann vorgesehen sein, dass die Volumenstromteiler der Wärmepumpen den eintretenden Kühlmittelstrom im Verhältnis 50:50 aufteilen. Ferner können die Volumenstromteiler ausgebildet sein, das Kühlmittel im Verhältnis 20:80 bis 80:20, bevorzugt 40:60 bis 60:40, auf die Kaltseite und die Warmseite aufzuteilen.

**[0034]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Temperatur des aus dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der jeweiligen Stufe austretenden und zu der vorangehenden Stufe zurückgeführten Kühlmittels der Temperatur des dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der vorangehenden Stufe von der dieser wiederum vorangehenden Stufe zugeführten Kühlmittels entspricht.

**[0035]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Wärmepumpen kalorische Wärmepumpen, insbesondere elektroklorische Wärmepumpen, magnetokalorische Wärmepumpen oder elastokalorische Wärmepumpen, sind.

**[0036]** Mit weiterem Vorteil ist vorgesehen, dass jede Wärmepumpe eingerichtet ist, eine Temperaturspreizung des Kühlmittels zwischen der Warmseite und der Kaltseite von mindestens  $5^\circ\text{C}$ , bevorzugt von mindestens  $10^\circ$ , weiter bevorzugt von mindestens  $20^\circ\text{C}$ , zu bewirken.

**[0037]** Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass zumindest der erste Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe  $i = n$  mit einem ersten Kühlmittelstrang verbunden ist, wobei der erste Kühlmittelstrang mit dem Kühlmittelinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe  $i = 1$  verbunden ist.

**[0038]** Ferner bevorzugt kann vorgesehen sein, dass

der erste Kühlmittelstrang einen Wärmetauscher umfasst.

**[0039]** Wenn die jeweiligen Kaltseiten dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpen der jeweiligen Stufen zugeordnet sind, so tritt aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe ein abgekühltes Kühlmittel aus. Dieses Kühlmittel wird in den ersten Kühlmittelstrang eingeleitet und kann über den ersten Kühlmittelstrang wieder dem Kühlmiteleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe zugeführt werden, um einen geschlossenen Kühlmittelkreislauf zu schaffen.

**[0040]** In dem ersten Kühlmittelstrang kann sich ein Wärmetauscher, beispielsweise ein Wärmetauscher für einen Fahrzeuginnenraum, befinden. Mittels des Wärmetauschers kann Wärme aus dem Fahrzeuginnenraum aufgenommen werden, um den Fahrzeuginnenraum zu kühlen. Durch die über den Wärmetauscher aufgenommene Wärme kann das abgekühlte Kühlmittel wieder auf eine Temperatur von beispielsweise 20°C erwärmt werden und wird mit dieser erhöhten Temperatur wieder dem Kühlmiteleinlass der ersten Wärmepumpe zugeführt.

**[0041]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass zumindest der zweite Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der ersten Stufe  $i = 1$  mit einem zweiten Kühlmittelstrang verbunden ist, wobei der zweite Kühlmittelstrang mit dem Kühlmiteleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe  $i = 1$  verbunden ist.

**[0042]** Weiter bevorzugt ist vorgesehen, dass der jeweils zweite Kühlmittelauslass der Wärmepumpen der ersten  $j$  Stufen  $j = 1 \dots n-1$ , bevorzugt der ersten zwei Stufen, mit dem zweiten Kühlmittelstrang verbunden ist.

**[0043]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist somit vorgesehen, dass das Kühlmittel, welches aus dem jeweils zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpen der ersten und der zweiten Stufe austritt, einem zweiten Kühlmittelstrang zugeführt wird. Dabei kann sich in dem zweiten Kühlmittelstrang ein Kühler befinden. Bei dem Kühler kann es sich beispielsweise um einen Kühler handeln, um die Wärme des Kühlmittelstroms im zweiten Kühlmittelstrang an die Außenumgebung abzuführen. Alternativ kann es sich bei dem Kühler auch um einen Wärmetauscher für eine Antriebsbatterie eines batterieelektrischen oder Hybridelektro kraftfahrzeuges handeln, sodass mittels des Wärmetauschers die Batterie temperiert werden kann. Es wird somit von dem erwärmten Kühlmittel im zweiten Kühlmittelstrang Wärme auf die Batterie oder auf die Außenumgebung übertragen, sodass die Temperatur des Kühlmittels im zweiten Kühlmittelstrang absinkt. Anschließend wird der Kühlmittelstrom wieder dem Kühlmiteleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe zugeführt, wo es sich mit dem aus dem ersten Kühlmittelstrang zugeführten Kühlmittel mischt.

**[0044]** Im Fall von Luft als Kühlmittel ist es auch denkbar, dass auf den ersten Kühlmittelstrang und den zweiten Kühlmittelstrang sowie auf den ersten Wärmetauscher und auf den zweiten Wärmetauscher bzw. den Kühler verzichtet wird. In diesem Fall kann die abgekühlte Luft aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärme-

pumpe der letzten Stufe  $i = n$  direkt zur Kühlung z.B. des Fahrzeuginnenraumes genutzt werden, und die erwärmte Luft aus den zweiten Kühlmittelauslässen der Wärmepumpen der ersten  $j$  Stufen  $j = 1 \dots n-1$ , bevorzugt der ersten zwei Stufen, wird in die Außenluft geblasen. Bei einer nachstehend erläuterten Vertauschung der Zuordnung von Warmseite und Kaltseite zu dem ersten Kühlmittelauslass und dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpen jeder Stufe kann die erwärmte Luft aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe  $i = n$  direkt zur Erwärmung z.B. des Fahrzeuginnenraumes genutzt werden.

**[0045]** In den vorstehenden Erläuterungen kann daher auch die Zuordnung von Warmseite und Kaltseite zu dem ersten Kühlmittelauslass und dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpen jeder Stufe vertauscht werden.

**[0046]** Es tritt dann aus dem ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe der letzten Stufe ein erwärmter Kühlmittelstrom aus, welcher dem ersten Kühlmittelstrang zugeführt wird. Mittels des im ersten Kühlmittelstrang angeordneten Wärmetauschers kann für eine Beheizung des Fahrzeuginnenraumes gesorgt werden. Das dadurch abgekühlte Kühlmittel wird über den ersten Kühlmittelstrang wieder dem Kühlmiteleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe zugeführt. Gleichzeitig wird das aus dem zweiten Kühlmittelauslass der Wärmepumpen der Stufen ohne Kühlmittelrückführung austretende abgekühlte Kühlmittel in den zweiten Kühlmittelstrang eingeleitet, welcher einen weiteren Wärmetauscher aufweisen kann. Über den Wärmetauscher kann das abgekühlte Kühlmittel im zweiten Kühlmittelstrang durch Aufnahme von Wärmeenergie, beispielsweise aus der Fahrzeugumgebung, wieder aufgewärmt werden. Alternativ kann das abgekühlte Kühlmittel im zweiten Kühlmittelstrang zur Kühlung von Fahrzeugkomponenten wie beispielsweise der Batterie oder für die Antriebsmotoren verwendet werden. Das im zweiten Kühlmittelstrang somit wieder erwärmte Kühlmittel wird ebenfalls dem Kühlmiteleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe zugeführt und mit dem abgekühlten Kühlmittel aus dem ersten Kühlmittelstrang vermischt.

**[0047]** Bevorzugt ist insbesondere vorgesehen, dass der erste Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Warmseite zugeordnet ist und dass der zweite Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Kaltseite zugeordnet ist, oder dass der erste Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Kaltseite zugeordnet ist und dass der zweite Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Warmseite zugeordnet ist.

**[0048]** Bevorzugt ist weiter vorgesehen, dass jede Wärmepumpe eine Umschaltvorrichtung aufweist, wobei die Umschaltvorrichtung ausgebildet ist, wahlweise die Warmseite dem ersten Kühlmittelauslass und die Kaltseite dem zweiten Kühlmittelauslass zuzuordnen, oder die Kaltseite dem ersten Kühlmittelauslass und die Warmseite dem zweiten Kühlmittelauslass zuzuordnen.

**[0049]** Durch die Umschaltvorrichtung kann die Wär-

mepumpenkaskade wahlweise zur Erwärmung oder zur Abkühlung des Kühlmittelstroms eingesetzt werden. Die Umschaltvorrichtung kann dabei durch Ventile, geeignete Getriebe oder Schaltmechanismen ausgebildet sein.

**[0050]** Die Umschaltvorrichtung dient insbesondere dazu, die Warmseiten und die Kaltseiten der Wärmepumpen miteinander bezüglich des ersten Kühlmittelauslasses und des zweiten Kühlmittelauslasses der jeweiligen Wärmepumpen zu vertauschen.

**[0051]** Mit Vorteil kann vorgesehen sein, dass mindestens fünf, bevorzugt mindestens sieben, weiter bevorzugt mindestens zehn, Stufen vorgesehen sind.

**[0052]** Eine weitere Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe besteht in der Bereitstellung eines Verfahrens zur Erwärmung oder Abkühlung eines Kühlmittels, durchgeführt mit einer vorbeschriebenen Wärmepumpenkaskade umfassend  $n$  Stufen mit  $n \geq 2$ , wobei ein Kühlmittelstrom einem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe  $i=1$  zugeführt wird, wobei in jeder der Stufen  $i$  mit  $i = 1 \dots n-1$  ein erster Teilstrom des Kühlmittels durch den ersten Kühlmittelauslass der jeweiligen Wärmepumpe dem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe der nachfolgenden Stufe  $i+1$  zugeführt wird, wobei ferner vorgesehen ist, dass in mindestens einer der nachfolgenden Stufen  $i+1$  mit  $i = 1 \dots n-1$  ein zweiter Teilstrom des Kühlmittels durch den zweiten Kühlmittelauslass der jeweiligen Wärmepumpe dem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe einer vorangehenden Stufe  $1 \dots i$  zugeführt wird.

**[0053]** Sämtliche im Zusammenhang mit der Wärmepumpenkaskade vorstehend erläuterten Merkmale, Funktionen und Eigenschaften können in analoger oder entsprechender Weise auch auf das Verfahren zur Erwärmung und Abkühlung eines Kühlmittels übertragen werden.

**[0054]** Entsprechend ist bevorzugt vorgesehen, dass in jeder der nachfolgenden Stufen  $i+1$  mit  $i = 2 \dots n-1$  der zweite Teilstrom des Kühlmittels durch den zweiten Kühlmittelauslass der jeweiligen Wärmepumpe dem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe einer vorangehenden Stufe  $1 \dots i$  zugeführt wird.

**[0055]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass in jeder der nachfolgenden Stufen  $i+1$  mit  $i = 2 \dots n-1$  der zweite Teilstrom des Kühlmittels durch den zweiten Kühlmittelauslass der jeweiligen Wärmepumpe dem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe der vorangehenden Stufe  $i$  zugeführt wird.

**[0056]** Bevorzugt ist ferner, dass die Wärmepumpen jeder Stufe  $i$  kalorische Wärmepumpen, insbesondere elektrokalarische Wärmepumpen, magnetokalarische Wärmepumpen oder elastokalarische Wärmepumpen, sind.

**[0057]** Ferner kann vorgesehen sein, dass jede Wärmepumpe eine Temperaturspreizung des Kühlmittels zwischen der Warmseite und der Kaltseite von mindestens  $5^\circ\text{C}$ , bevorzugt von mindestens  $10^\circ$ , weiter bevorzugt von mindestens  $20^\circ\text{C}$ , bewirkt.

**[0058]** Mit weiterem Vorteil kann vorgesehen sein, dass zumindest in der letzten Stufe  $i=n$  der erste Teil-

strom des Kühlmittels durch den ersten Kühlmittelauslass der Wärmepumpe einem ersten Kühlmittelstrang zugeführt wird, wobei der erste Kühlmittelstrang den Teilstrom des Kühlmittels dem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe  $i=1$  zuführt.

**[0059]** Zudem kann vorgesehen sein, dass zumindest in der ersten Stufe  $i=1$ , bevorzugt in den ersten zwei Stufen, der zweite Teilstrom des Kühlmittels durch den jeweiligen zweiten Kühlmittelauslass der jeweiligen Wärmepumpe einem zweiten Kühlmittelstrang zugeführt wird, wobei der zweite Kühlmittelstrang den Teilstrom des Kühlmittels dem Kühlmittelleinlass der Wärmepumpe der ersten Stufe  $i=1$  zuführt.

**[0060]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass in jeder Stufe  $i$  der erste Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Warmseite zugeordnet ist und dass der zweite Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Kaltseite zugeordnet ist, oder dass der erste Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Kaltseite zugeordnet ist und dass der zweite Kühlmittelauslass jeder Wärmepumpe der Warmseite zugeordnet ist.

**[0061]** Ferner kann vorgesehen sein, dass in jeder Stufe  $i$  eine Umschaltvorrichtung vorgesehen ist, wobei die Umschaltvorrichtung wahlweise die Warmseite dem ersten Kühlmittelauslass und die Kaltseite dem zweiten Kühlmittelauslass zuordnet, oder die Kaltseite dem ersten Kühlmittelauslass und die Warmseite dem zweiten Kühlmittelauslass zuordnet.

**[0062]** Die Erfindung wird nachstehend näher anhand der beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmepumpenkaskade,  
Fig. 2 eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmepumpenkaskade, und  
Fig. 3 eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmepumpenkaskade.

**[0063]** Fig. 1 zeigt eine Wärmepumpenkaskade 100 im Einklang mit der Erfindung, anhand derer ein Verfahren 200 zur Erwärmung oder Abkühlung eines Kühlmittels näher erläutert werden soll. Die Wärmepumpenkaskade 100 umfasst fünf Stufen  $i = 1 \dots 5$ . Jede der Stufen  $i$  umfasst eine Wärmepumpe 10 mit einem Kühlmittelleinlass 11, einem ersten Kühlmittelauslass 12 und einem zweiten Kühlmittelauslass 13. Jede Wärmepumpe 10 jeder Stufe  $i$  umfasst ferner eine Warmseite 14 und eine Kaltseite 15. In der in Fig. 1 gezeigten Wärmepumpenkaskade 100 ist in jeder Stufe  $i$  die Kaltseite 15 dem ersten Kühlmittelauslass 12 und die Warmseite 14 dem zweiten Kühlmittelauslass 13 zugeordnet. Die Wärmepumpen 10 weisen zudem Volumenstromteiler 24 auf, wobei die Volumenstromteiler 24 eingerichtet sind, einen in den Kühlmittelleinlass 11 der jeweiligen Wärmepumpe 10 eintretenden Kühlmittelstrom auf die Warmseite 14 und die Kaltseite 15 aufzuteilen. Der erste Kühlmittelauslass 12 jeder Wärmepumpe 10 der ersten 4 Stufen  $i = 1 \dots 4$  ist mit dem Kühlmittelleinlass 11 der Wärmepumpe

10 einer nachfolgenden Stufe  $i+1$  verbunden. Der erste Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der letzten Stufe  $i=5$  ist mit einem ersten Kühlmittelstrang 16 verbunden. Ferner sind die zweiten Kühlmittelauslässe 13 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  und der Wärmepumpe 10 der zweiten Stufe  $i=2$  mit einem zweiten Kühlmittelstrang 17 verbunden.

**[0064]** Im ersten Kühlmittelstrang 16 befindet sich ein Wärmetauscher 18 für einen Fahrzeuginnenraum eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs, und im zweiten Kühlmittelstrang 17 befindet sich ein weiterer Wärmetauscher 19 in Form eines Kühlers 20 des nicht näher dargestellten Kraftfahrzeugs. Die zweiten Kühlmittelauslässe 13 der dritten bis fünften Stufen  $i+1=3..5$  sind jeweils über eine jeweilige Rückführleitung 21 mit dem Kühlmittelinlass 11 der vorangehenden Stufe  $i$  verbunden, sodass ein aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der dritten Stufe  $i=3$  austretendes Kühlmittel dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der zweiten Stufe  $i=2$ , ein aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der vierten Stufe  $i=4$  dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der dritten Stufe  $i=3$  und ein aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der fünften Stufe  $i=5$  austretendes Kühlmittel dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der vierten Stufe  $i=4$  zugeführt wird.

**[0065]** Die Wärmepumpen 10 sind als elastokalorische Wärmepumpen 22 ausgebildet. Jede der Wärmepumpen 10 ist eingerichtet, eine Temperaturspreizung des Kühlmittels zwischen der Warmseite 14 und der Kaltseite 15 von  $10^{\circ}\text{C}$  zu bewirken. Zur Erläuterung wird weiter beispielhaft angenommen, dass das in den Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  eingeführte Kühlmittel eine Temperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  aufweist. In der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  wird das Kühlmittel in zwei Teilströme auf die Warmseite 14 und die Kaltseite 15 aufgeteilt und es wird Wärme von der Kaltseite 15 auf die Warmseite 14 übertragen. Das aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  austretende Kühlmittel weist dann eine Temperatur von  $15^{\circ}\text{C}$  auf und wird dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der zweiten Stufe  $i=2$  zugeführt. Das aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  austretende Kühlmittel weist eine Temperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  aus und wird dem zweiten Kühlmittelstrang 17 zugeführt. Das aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der zweiten Stufe  $i=2$  austretende Kühlmittel weist eine Temperatur von  $10^{\circ}\text{C}$  auf und wird dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der dritten Stufe  $i=3$  zugeführt. Das aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der zweiten Stufe  $i=2$  austretende Kühlmittel weist eine Temperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  auf und wird ebenfalls dem zweiten Kühlmittelstrang 17 zugeführt. Das aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der dritten Stufe  $i=3$  austretende Kühlmittel weist eine Temperatur von  $5^{\circ}\text{C}$  auf, und das aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der dritten Stufe  $i=3$  austretende

Kühlmittel weist eine Temperatur von  $15^{\circ}\text{C}$  auf. Die Temperaturverhältnisse der vierten und fünften Stufe  $i=4$  und  $i=5$  gelten entsprechend.

**[0066]** Das aus dem zweiten Kühlmittelauslass 13 der Wärmepumpe 10 der dritten Stufe  $i=3$  austretende Kühlmittel mit einer Temperatur von  $15^{\circ}\text{C}$  wird über die entsprechende Rückführleitung 21 dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der zweiten Stufe zugeführt und mischt sich dort mit dem dieselbe Temperatur von  $15^{\circ}\text{C}$  aufweisenden, aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  austretendem Kühlmittel. Entsprechendes gilt für das aus den zweiten Kühlmittelauslässen 13 der Wärmepumpen 10 der vierten und fünften Stufe  $i=4$  und  $i=5$  austretende Kühlmittel.

**[0067]** Durch diese Rückführung des Kühlmittels verringert sich der für die Abkühlung nutzbare Volumenstrom des Kühlmittels, welcher aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der letzten Stufe  $i=5$  austritt, nur um einen Faktor  $1/2^n = 1/10$  gegenüber einer Verringerung um den Faktor  $1/2^n = 1/32$ , welcher vorliegen würde, wenn keine Kühlmittelrückführung vorgesehen wäre. Es steht somit eine größere Kühlmittelmenge für die Abkühlung zur Verfügung.

**[0068]** Das aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der letzten Stufe  $i=5$  austretende, abgekühlte Kühlmittel wird über den ersten Kühlmittelstrang 16 dem Wärmetauscher 18 zugeführt und kann dazu genutzt werden, den Fahrzeuginnenraum des Kraftfahrzeugs zu kühlen. Dabei nimmt das im ersten Kühlmittelstrang 16 befindliche Kühlmittel die Wärme aus dem Fahrzeuginnenraum auf und wird wieder auf eine Temperatur von beispielsweise  $20^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Das aus den zweiten Kühlmittelauslässen 13 der Wärmepumpen 10 der ersten und der zweiten Stufe  $i=1$  und  $i=2$  austretende Kühlmittel wird über den zweiten Kühlmittelstrang 17 dem Wärmetauscher 19 beziehungsweise dem Kühler 20 zugeführt und gibt die Wärme über diesen an die Außenumgebung ab. Alternativ kann die Wärme des Kühlmittels im zweiten Kühlmittelstrang 17 auch zur Erwärmung einer Batterie oder sonstiger Systeme des Kraftfahrzeugs verwendet werden. Dadurch, dass das Kühlmittel im zweiten Kühlmittelstrang 17 über den Wärmetauscher 19 die Wärme wieder abgibt, wird dieses wieder auf beispielsweise  $20^{\circ}\text{C}$  abgekühlt und mit dieser Temperatur ebenfalls dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  zugeführt. Hier mischt es sich mit dem erwärmten Kühlmittel aus dem ersten Kühlmittelstrang 16, und der Kühlmittelkreislauf ist geschlossen.

**[0069]** Im Fall von Luft als Kühlmittel ist es auch denkbar, dass auf den ersten Kühlmittelstrang 16 und den zweiten Kühlmittelstrang 17 sowie auf den ersten Wärmetauscher 18 und auf den zweiten Wärmetauscher 19 bzw. den Kühler 20 verzichtet wird. In diesem Fall kann die abgekühlte Luft aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der letzten Stufe  $i=5$  direkt zur Kühlung z.B. des Fahrzeuginnenraumes genutzt werden, und die erwärmte Luft aus den zweiten Kühlmittel-

auslassen 13 der Wärmepumpen 10 der ersten und der zweiten Stufe  $i=1$  und  $i=2$  wird in die Außenluft geblasen.

**[0070]** Fig. 2 zeigt eine alternative Ausgestaltung der Wärmepumpenkaskade 100, welche benutzt werden kann, um einen Fahrzeuginnenraum eines Kraftfahrzeugs zu erwärmen. Gegenüber der Wärmepumpenkaskade 100 der Fig. 1 sind in der Wärmepumpenkaskade 100 der Fig. 2 in jeder der Wärmepumpen 10 die Rollen von Warmseite 14 und Kaltseite 15 vertauscht. Somit ist in jeder Wärmepumpe 10 die Warmseite 14 dem ersten Kühlmittelauslass 12 und die Kaltseite 15 dem jeweils zweiten Kühlmittelauslass 13 zugeordnet. Das Kühlmittel durchströmt die Wärmepumpenkaskade 100 in der vorbeschriebenen Weise, wobei jedoch aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe der letzten Stufe  $i=5$  ein erwärmtes Kühlmittel mit einer Temperatur von  $45^{\circ}\text{C}$  austritt. Dem gegenüber betragen die Temperaturen des aus den zweiten Kühlmittelauslässen 13 der Wärmepumpen 10 der ersten und der zweiten Stufe  $i=1$  und  $i=2$  austretenden Kühlmittels  $15^{\circ}\text{C}$  beziehungsweise  $20^{\circ}\text{C}$ . Das erwärmte, aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der letzten Stufe  $i=5$  austretende Kühlmittel wird über den Wärmetauscher 18 des ersten Kühlmittelstrangs 16 dazu genutzt, den Fahrzeuginnenraum zu erwärmen. Dadurch kühlt sich das Kühlmittel ab und wird über den ersten Kühlmittelstrang 16 wieder dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  zugeführt. Das aus den zweiten Kühlmittelauslässen 13 der Wärmepumpen 10 der ersten und der zweiten Stufe  $i=1$  und  $i=2$  austretende, abgekühlte Kühlmittel wird über den zweiten Kühlmittelstrang 17 dem Wärmetauscher 19 zugeführt und durch Aufnahme von Wärme wieder auf beispielsweise  $20^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Das erneut erwärmte Kühlmittel im zweiten Kühlmittelstrang 17 wird mit dem abgekühlten Kühlmittel aus dem ersten Kühlmittelstrang 16 vermischt und dem Kühlmittelinlass 11 der Wärmepumpe 10 der ersten Stufe  $i=1$  wieder zugeführt.

**[0071]** Wie schon bei der Ausführungsform der Fig. 1 kann im Fall von Luft als Kühlmittel auf den ersten Kühlmittelstrang 16 und den zweiten Kühlmittelstrang 17 sowie auf den ersten Wärmetauscher 18 und auf den zweiten Wärmetauscher 19 verzichtet werden. In diesem Fall kann die erwärmte Luft aus dem ersten Kühlmittelauslass 12 der Wärmepumpe 10 der letzten Stufe  $i=5$  direkt zur Erwärmung z.B. des Fahrzeuginnenraumes genutzt werden, und die abgekühlte Luft aus den zweiten Kühlmittelauslässen 13 der Wärmepumpen 10 der ersten und der zweiten Stufe  $i=1$  und  $i=2$  wird in die Außenluft geblasen.

**[0072]** Fig. 3 zeigt eine weitere Ausgestaltung der Wärmepumpenkaskade 100. Die Funktion der Wärmepumpenkaskade 100 gemäß Fig. 3 entspricht jener der Wärmepumpenkaskaden 100 nach den Fig. 1 und 2. Dabei ist in jeder der fünf Stufen  $i=1\ldots 5$  eine Umschaltvorrichtung 23 vorgesehen, welche ausgebildet ist, wahlweise in jeder Wärmepumpe 10 die Warmseite 14 dem ersten Kühlmittelauslass 12 und die Kaltseite 15 dem zweiten

Kühlmittelauslass 13 oder die Warmseite 14 dem zweiten Kühlmittelauslass 13 und die Kaltseite 15 dem ersten Kühlmittelauslass 12 zuzuordnen. Durch gleichzeitiges Schalten der Umschaltvorrichtungen 23 kann somit die Wärmepumpenkaskade 100 der Fig. 3 zwischen den Ausgestaltungen der Fig. 1 und 2 umgeschaltet und sowohl für die Beheizung als auch für die Kühlung eines Fahrzeuginnenraumes eingesetzt werden.

**[0073]** In den Fig. 1 bis 3 umfassen die Wärmepumpenkaskaden 100 fünf Stufen  $i=1\ldots 5$ . Selbstverständlich ist es jedoch auch möglich, die Wärmepumpenkaskade 100 auf sieben, zehn oder mehr Stufen auszuweiten.

## Bezugszeichenliste

### [0074]

100	Wärmepumpenkaskade
200	Verfahren zur Erwärmung oder Abkühlung eines Kühlmittels
10	Wärmepumpe
11	Kühlmittelinlass
12	Erster Kühlmittelauslass
13	Zweiter Kühlmittelauslass
14	Warmseite
15	Kaltseite
16	Erster Kühlmittelstrang
17	Zweiter Kühlmittelstrang
18	Wärmetauscher
19	Wärmetauscher
20	Kühler
21	Rückführleitung
22	Elastokalorische Wärmepumpe
23	Umschaltvorrichtung
24	Volumenstromteiler

## Patentansprüche

1. Wärmepumpenkaskade (100) umfassend  $n$  Stufen mit  $n \geq 2$ , wobei jede der  $n$  Stufen eine Wärmepumpe (10) mit einem Kühlmittelinlass (11), einem ersten Kühlmittelauslass (12) und einem zweiten Kühlmittelauslass (13) aufweist, wobei jede Wärmepumpe (10) eine Warmseite (14) und eine Kaltseite (15) und einen Volumenstromteiler (24) aufweist, wobei der Volumenstromteiler (24) eingerichtet ist, einen in den Kühlmittelinlass (11) eintretenden Kühlmittelstrom auf die Warmseite (14) und die Kaltseite (15) aufzuteilen, wobei der erste Kühlmittelauslass (12) der Wärmepumpe (10) jeder Stufe  $i$  mit  $i = 1\ldots n-1$  mit dem Kühlmittelinlass (11) der Wärmepumpe (10) einer nachfolgenden Stufe  $i+1$  verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Kühlmittelauslass (13) der Wärmepumpe (10) mindestens einer nachfolgenden Stufe  $i+1$  mit  $i = 1\ldots n-1$  mittels einer Rückführleitung (21) mit dem Kühlmittelinlass (11) der Wärmepumpe (10) einer voran-



gehenden Stufe 1...i verbunden ist.

2. Wärmepumpenkaskade (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Kühlmittelauslass (13) der Wärmepumpe (10) jeder nachfolgenden Stufe i+1 mit i = 2...n-1 mittels einer Rückföhrleitung (21) mit dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) einer vorangehenden Stufe 1...i verbunden ist. 5
3. Wärmepumpenkaskade (100) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Kühlmittelauslass (13) der Wärmepumpe (10) jeder nachfolgenden Stufe i+1 mit i = 2...n-1 mittels einer Rückföhrleitung (21) mit dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) der vorangehenden Stufe i verbunden ist. 10
4. Wärmepumpenkaskade (100) nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmepumpen (10) kalorische Wärmepumpen, insbesondere elektrokalarische Wärmepumpen, magnetokalarische Wärmepumpen oder elastokalarische Wärmepumpen (22), sind, und/oder dass jede Wärmepumpe (10) eingerichtet ist, eine Temperaturspreizung des Kühlmittels zwischen der Warmseite (14) und der Kaltseite (15) von mindestens 5°C, bevorzugt von mindestens 10°, weiter bevorzugt von mindestens 20°C, zu bewirken. 20
5. Wärmepumpenkaskade (100) nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest der erste Kühlmittelauslass (12) der Wärmepumpe (10) der letzten Stufe i = n mit einem ersten Kühlmittelstrang (16) verbunden ist, wobei der erste Kühlmittelstrang (16) mit dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) der ersten Stufe i = 1 verbunden ist, wobei bevorzugt der erste Kühlmittelstrang (16) einen Wärmetauscher (18) umfasst. 25
6. Wärmepumpenkaskade (100) nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest der zweite Kühlmittelauslass (13) der Wärmepumpe (10) der ersten Stufe i = 1 mit einem zweiten Kühlmittelstrang (17) verbunden ist, wobei der zweite Kühlmittelstrang (17) mit dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) der ersten Stufe i=1 verbunden ist, wobei bevorzugt der jeweils zweite Kühlmittelauslass (13) der Wärmepumpen (10) der ersten j Stufen j= 1... n-1, bevorzugt der ersten zwei Stufen, mit dem zweiten Kühlmittelstrang (17) verbunden ist, wobei weiter bevorzugt der zweite Kühlmittelstrang (17) einen Wärmetauscher (19), insbesondere einen Kühler (20), umfasst. 30
7. Wärmepumpenkaskade (100) nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** 35

**dass** der erste Kühlmittelauslass (12) jeder Wärmepumpe (10) der Warmseite (14) zugeordnet ist und dass der zweite Kühlmittelauslass (13) jeder Wärmepumpe (10) der Kaltseite (15) zugeordnet ist, oder dass der erste Kühlmittelauslass (12) jeder Wärmepumpe (10) der Kaltseite (15) zugeordnet ist und dass der zweite Kühlmittelauslass (13) jeder Wärmepumpe (10) der Warmseite (14) zugeordnet ist, und/oder dass jede Wärmepumpe (10) eine Umschaltvorrichtung (23) aufweist, wobei die Umschaltvorrichtung (23) ausgebildet ist, wahlweise die Warmseite (14) dem ersten Kühlmittelauslass (12) und die Kaltseite (15) dem zweiten Kühlmittelauslass (13) zuzuordnen, oder die Kaltseite (15) dem ersten Kühlmittelauslass (12) und die Warmseite (14) dem zweiten Kühlmittelauslass (13) zuzuordnen. 40

8. Wärmepumpenkaskade (100) nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens fünf, bevorzugt mindestens sieben, weiter bevorzugt mindestens zehn, Stufen vorgesehen sind. 45
9. Verfahren (200) zur Erwärmung oder Abkühlung eines Kühlmittels, durchgeführt mit einer Wärmepumpenkaskade (100) umfassend n Stufen mit  $n \geq 2$  nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei ein Kühlmittelstrom einem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) der ersten Stufe i= 1 zugeführt wird, wobei in jeder der Stufen i mit i = 1... n-1 ein erster Teilstrom des Kühlmittels durch den ersten Kühlmittelauslass (12) der jeweiligen Wärmepumpe (10) dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) der nachfolgenden Stufe i+ 1 zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** in mindestens einer der nachfolgenden Stufen i+1 mit i = 1...n-1 ein zweiter Teilstrom des Kühlmittels durch den zweiten Kühlmittelauslass (13) der jeweiligen Wärmepumpe (10) dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) einer vorangehenden Stufe 1..i zugeführt wird. 50
10. Verfahren (200) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jeder der nachfolgenden Stufen i+1 mit i = 2...n-1 der zweite Teilstrom des Kühlmittels durch den zweiten Kühlmittelauslass (13) der jeweiligen Wärmepumpe (10) dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) einer vorangehenden Stufe 1..i zugeführt wird, wobei bevorzugt in jeder der nachfolgenden Stufen i+1 mit i = 2... n-1 der zweite Teilstrom des Kühlmittels durch den zweiten Kühlmittelauslass (13) der jeweiligen Wärmepumpe (10) dem Kühlmittleinlass (11) der Wärmepumpe (10) der vorangehenden Stufe i zugeführt wird. 55

## Claims

1. Heat-pump cascade (100) comprising  $n$  stages with  $n \geq 2$ , wherein each of the  $n$  stages has a heat pump (10) with a coolant inlet (11), a first coolant outlet (12) and a second coolant outlet (13), wherein each heat pump (10) has a warm side (14) and a cold side (15) and a volume-flow divider (24), wherein the volume-flow divider (24) is configured to divide between the warm side (14) and the cold side (15) a coolant flow entering the coolant inlet (11), wherein the first coolant outlet (12) of the heat pump (10) of each stage  $i$  with  $i = 1 \dots n-1$  is connected to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of a following stage  $i+1$ , **characterized in that** the second coolant outlet (13) of the heat pump (10) of at least one following stage  $i+1$  with  $i = 1 \dots n-1$  is connected to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of a previous stage  $1 \dots i$  by means of a return line (21).
2. Heat-pump cascade (100) according to Claim 1, **characterized in that** the second coolant outlet (13) of the heat pump (10) of each following stage  $i+1$  with  $i = 2 \dots n-1$  is connected to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of a previous stage  $1 \dots i$  by means of a return line (21).
3. Heat-pump cascade (100) according to Claim 2, **characterized in that** the second coolant outlet (13) of the heat pump (10) of each following stage  $i+1$  with  $i = 2 \dots n-1$  is connected to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of the previous stage  $i$  by means of a return line (21).
4. Heat-pump cascade (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the heat pumps (10) are caloric heat pumps, in particular electrocaloric heat pumps, magnetocaloric heat pumps or elastocaloric heat pumps (22), and/or **in that** each heat pump (10) is configured to bring about a temperature spread of the coolant between the warm side (14) and the cold side (15) of at least  $5^\circ\text{C}$ , preferably of at least  $10^\circ\text{C}$ , more preferably of at least  $20^\circ\text{C}$ .
5. Heat-pump cascade (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least the first coolant outlet (12) of the heat pump (10) of the last stage  $i = n$  is connected to a first coolant section (16), wherein the first coolant section (16) is connected to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of the first stage  $i = 1$ , wherein preferably the first coolant section (16) comprises a heat exchanger (18).
6. Heat-pump cascade (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least the second coolant outlet (13) of the heat pump (10) of the first stage  $i = 1$  is connected to a second coolant section (17), wherein the second coolant section (17) is connected to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of the first stage  $i = 1$ , wherein preferably the in each case second coolant outlet (13) of the heat pumps (10) of the first  $j$  stages with  $j = 1 \dots n-1$ , preferably the first two stages, is connected to the second coolant section (17), wherein more preferably the second coolant section (17) comprises a heat exchanger (19), in particular a cooler (20).
7. Heat-pump cascade (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the first coolant outlet (12) of each heat pump (10) is assigned to the warm side (14) and **in that** the second coolant outlet (13) of each heat pump (10) is assigned to the cold side (15), or **in that** the first coolant outlet (12) of each heat pump (10) is assigned to the cold side (15) and **in that** the second coolant outlet (13) of each heat pump (10) is assigned to the warm side (14), and/or **in that** each heat pump (10) has a switching device (23), wherein the switching device (23) is configured such that, selectively, it assigns the warm side (14) to the first coolant outlet (12) and the cold side (15) to the second coolant outlet (13) or assigns the cold side (15) to the first coolant outlet (12) and the warm side (14) to the second coolant outlet (13).
8. Heat-pump cascade (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least five, preferably at least seven, more preferably at least ten, stages are provided.
9. Method (200) for heating or cooling a coolant, carried out using a heat-pump cascade (100) comprising  $n$  stages with  $n \geq 2$  according to one of the preceding claims, wherein a coolant flow is fed to a coolant inlet (11) of the heat pump (10) of the first stage  $i = 1$ , wherein, in each of the stages  $i$  with  $i = 1 \dots n-1$ , a first partial flow of the coolant is fed through the first coolant outlet (12) of the respective heat pump (10) to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of the following stage  $i+1$ , **characterized in that**, in at least one of the following stages  $i+1$  with  $i = 1 \dots n-1$ , a second partial flow of the coolant is fed through the second coolant outlet (13) of the respective heat pump (10) to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of a preceding stage  $1 \dots i$ .
10. Method (200) according to Claim 9, **characterized in that**, in each of the following stages  $i+1$  with  $i = 2 \dots n-1$ , the second partial flow of the coolant is fed through the second coolant outlet (13) of the respective heat pump (10) to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of a preceding stage  $1 \dots i$ , wherein preferably, in each of the following stages  $i+1$  with  $i = 2 \dots n-1$ , the second partial flow of the coolant is fed

through the second coolant outlet (13) of the respective heat pump (10) to the coolant inlet (11) of the heat pump (10) of the preceding stage i.

## Revendications

1. Cascade de pompes à chaleur (100) comprenant n étages avec  $n \geq 2$ , chacun des n étages présentant une pompe à chaleur (10) avec une entrée de réfrigérant (11), une première sortie de réfrigérant (12) et une deuxième sortie de réfrigérant (13), chaque pompe à chaleur (10) présentant un côté chaud (14) et un côté froid (15) et un diviseur de courant volumique (24), le diviseur de courant volumique (24) étant adapté pour répartir un courant de réfrigérant entrant dans l'entrée de réfrigérant (11) entre le côté chaud (14) et le côté froid (15), la première sortie de réfrigérant (12) de la pompe à chaleur (10) de chaque étage i avec  $i = 1 \dots n-1$  étant reliée à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) d'un étage suivant i+1, **caractérisée en ce que** la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) d'au moins un étage suivant i+1 avec  $i = 1 \dots n-1$  est reliée au moyen d'une conduite de retour (21) à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) d'un étage précédent 1 ... i.
2. Cascade de pompes à chaleur (100) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) de chaque étage suivant i+1 avec  $i = 2 \dots n-1$  est reliée au moyen d'une conduite de retour (21) à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) d'un étage précédent 1 ... i.
3. Cascade de pompes à chaleur (100) selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) de chaque étage suivant i+1 avec  $i = 2 \dots n-1$  est reliée au moyen d'une conduite de retour (21) à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) de l'étage précédent i.
4. Cascade de pompes à chaleur (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les pompes à chaleur (10) sont des pompes à chaleur caloriques, notamment des pompes à chaleur électrocaloriques, des pompes à chaleur magnétocaloriques ou des pompes à chaleur élastocaloriques (22), et/ou **en ce que** chaque pompe à chaleur (10) est adaptée pour produire un écart de température du réfrigérant entre le côté chaud (14) et le côté froid (15) d'au moins 5 °C, de préférence d'au moins 10 °, de manière davantage préférée d'au moins 20 °C.
5. Cascade de pompes à chaleur (100) selon l'une

quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**au moins la première sortie de réfrigérant (12) de la pompe à chaleur (10) du dernier étage  $i = n$  est reliée à une première ligne de réfrigérant (16), la première ligne de réfrigérant (16) étant reliée à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) du premier étage  $i = 1$ , de préférence la première ligne de réfrigérant (16) comprenant un échangeur de chaleur (18) .

6. Cascade de pompes à chaleur (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**au moins la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) du premier étage  $i = 1$  est reliée à une deuxième ligne de réfrigérant (17), la deuxième ligne de réfrigérant (17) étant reliée à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) du premier étage  $i = 1$ , de préférence la deuxième sortie de réfrigérant (13) respective des pompes à chaleur (10) des j premiers étages  $j = 1 \dots n-1$ , de préférence des deux premiers étages, étant reliée à la deuxième ligne de réfrigérant (17), de manière davantage préférée la deuxième ligne de réfrigérant (17) comprenant un échangeur de chaleur (19), notamment un refroidisseur (20) .
7. Cascade de pompes à chaleur (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la première sortie de réfrigérant (12) de chaque pompe à chaleur (10) est associée au côté chaud (14) et **en ce que** la deuxième sortie de réfrigérant (13) de chaque pompe à chaleur (10) est associée au côté froid (15), ou **en ce que** la première sortie de réfrigérant (12) de chaque pompe à chaleur (10) est associée au côté froid (15) et **en ce que** la deuxième sortie de réfrigérant (13) de chaque pompe à chaleur (10) est associée au côté chaud (14), et/ou **en ce que** chaque pompe à chaleur (10) présente un dispositif de commutation (23), le dispositif de commutation (23) étant configuré pour associer, au choix, le côté chaud (14) à la première sortie de réfrigérant (12) et le côté froid (15) à la deuxième sortie de réfrigérant (13), ou pour associer le côté froid (15) à la première sortie de réfrigérant (12) et le côté chaud (14) à la deuxième sortie de réfrigérant (13).
8. Cascade de pompes à chaleur (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**au moins cinq étages, de préférence au moins sept, de manière davantage préférée au moins dix, sont prévus.
9. Procédé (200) de chauffage ou de refroidissement d'un réfrigérant, réalisé avec une cascade de pompes à chaleur (100) comprenant n étages avec  $n \geq 2$  selon l'une quelconque des revendications précitées, un courant de réfrigérant étant amené à une

entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) du premier étage  $i = 1$  ; dans chacun des étages  $i$  avec  $i = 1 \dots n-1$ , un premier courant partiel du réfrigérant étant amené par la première sortie de réfrigérant (12) de la pompe à chaleur (10) respective à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) de l'étage suivant  $i+1$ , **caractérisé en ce que**, dans au moins un des étages suivants  $i+1$  avec  $i = 1 \dots n-1$ , un deuxième courant partiel du réfrigérant est amené par la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) respective à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) d'un étage précédent  $1 \dots i$ .

10. Procédé (200) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** dans chacun des étages suivants  $i+1$ , avec  $i = 2 \dots n-1$ , le deuxième courant partiel du réfrigérant est amené par la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) respective à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) d'un étage précédent  $1 \dots i$ , de préférence dans chacun des étages suivants  $i+1$  avec  $i = 2 \dots n-1$ , le deuxième courant partiel du réfrigérant étant amené par la deuxième sortie de réfrigérant (13) de la pompe à chaleur (10) respective à l'entrée de réfrigérant (11) de la pompe à chaleur (10) de l'étage précédent  $i$ .

30

35

40

45

50

55

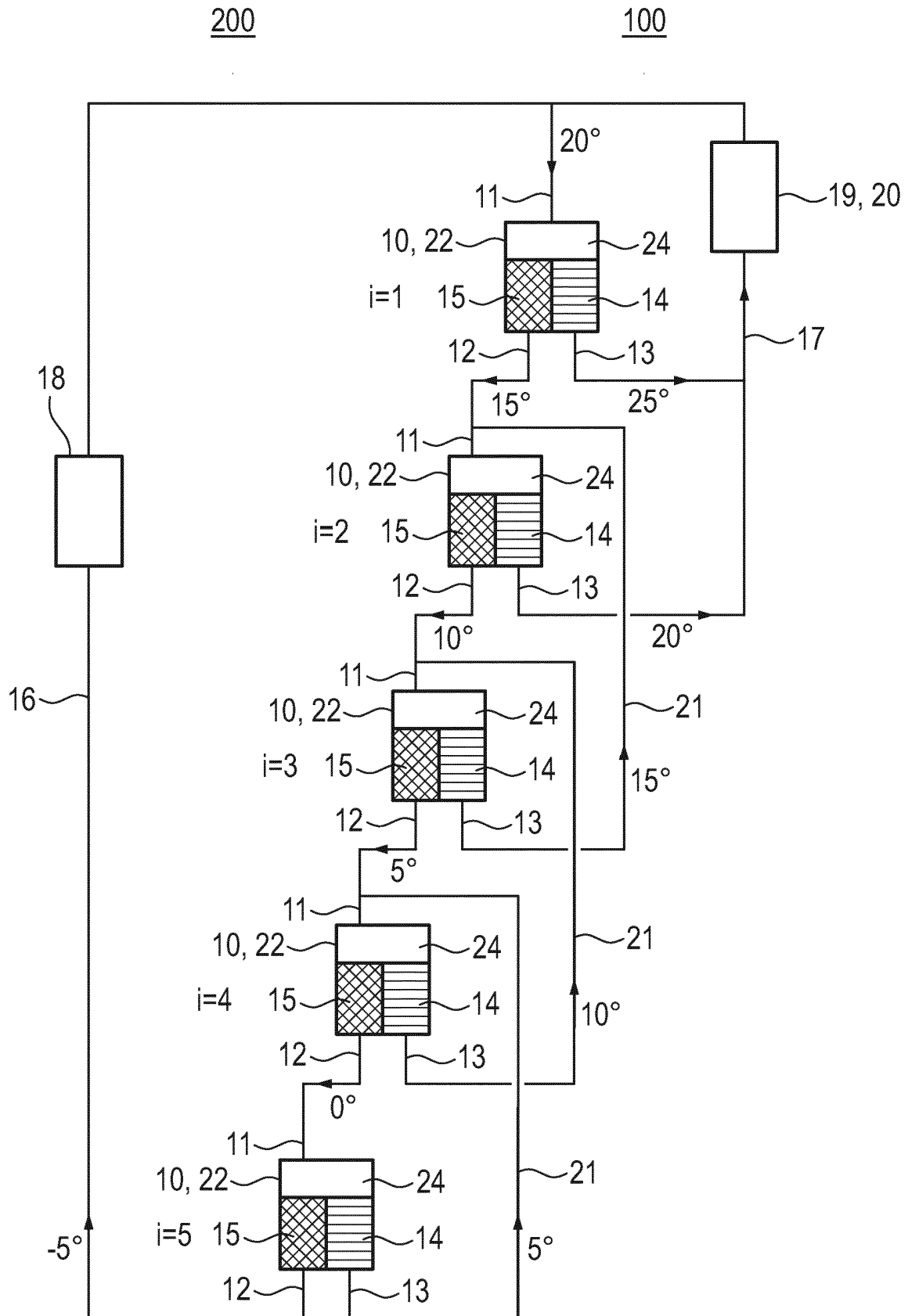


Fig. 1

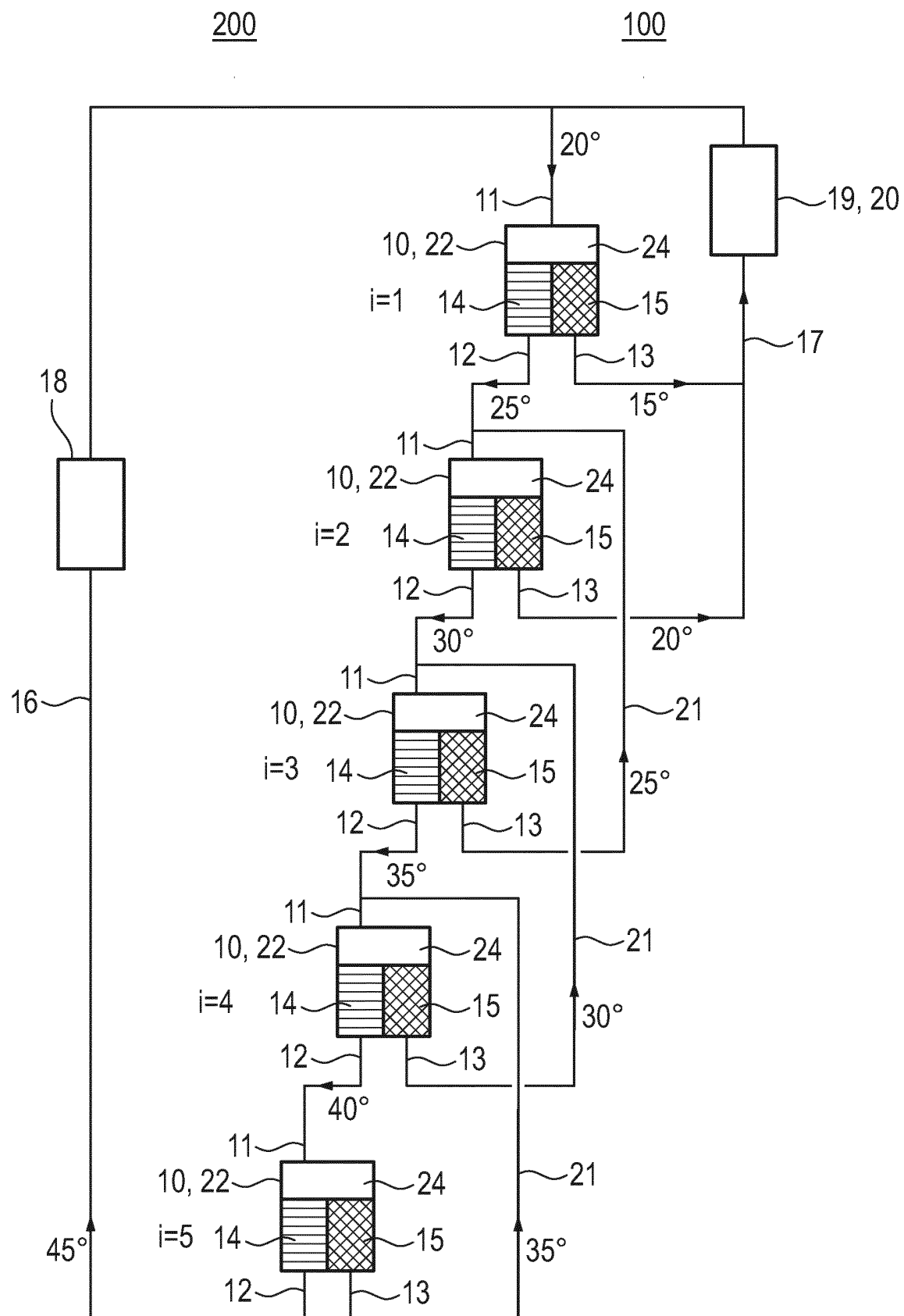


Fig. 2

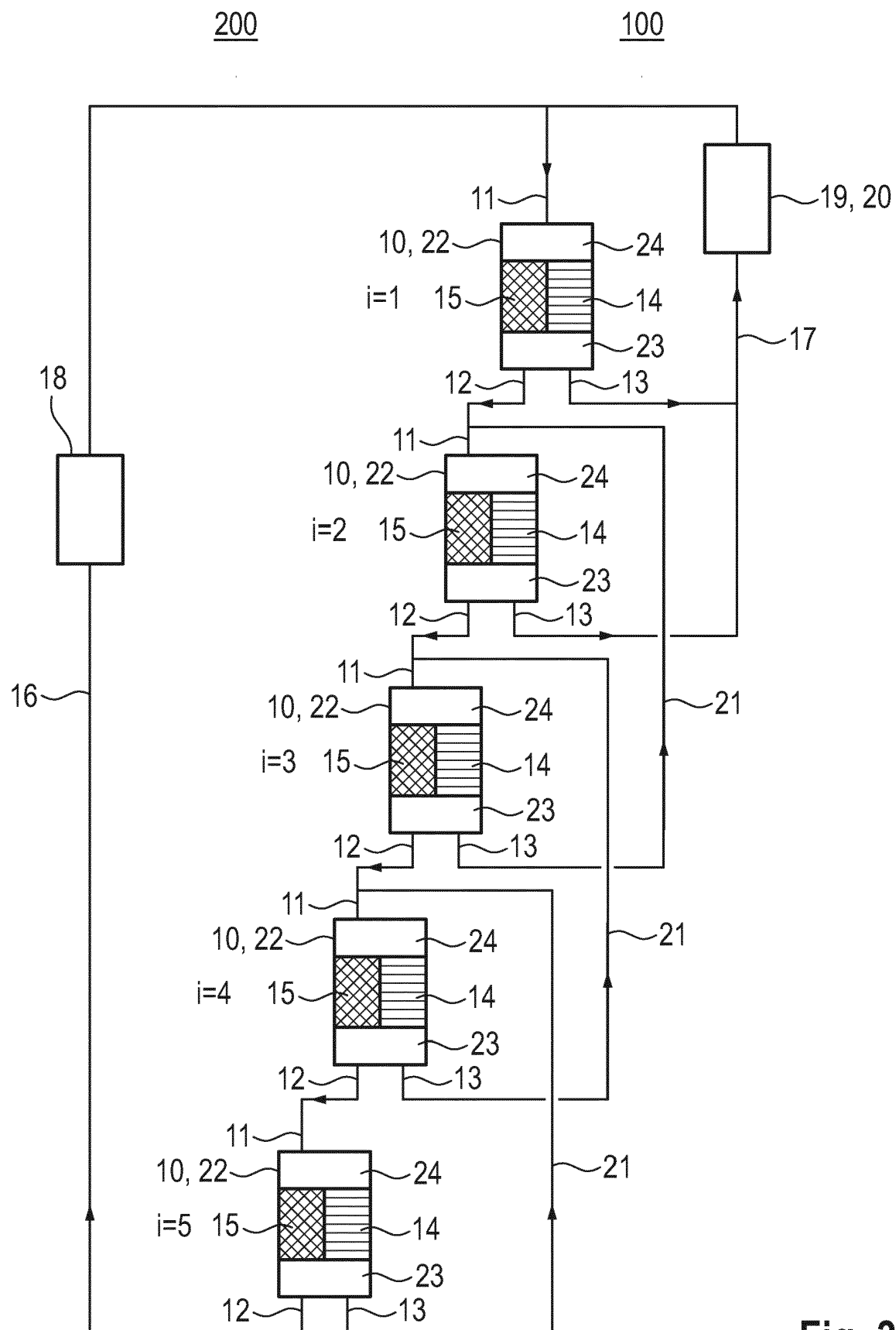


Fig. 3

**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**

- CN 112325510 A [0005]
- DE 102018219714 A1 [0006]
- CN 109260750 A [0007]
- EP 3296658 B1 [0008]
- DD 223221 A1 [0009]
- US 20190257555 A1 [0010]
- US 10465951 B2 [0011]
- US 20170089612 A1 [0012]
- US 7475551 B2 [0013]
- US 20100199687 A1 [0014]
- DE 102010021901 A1 [0015]