



(10) **DE 10 2011 051 285 B4** 2015.11.12

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 051 285.3**  
(22) Anmeldetag: **23.06.2011**  
(43) Offenlegungstag: **27.12.2012**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **12.11.2015**

(51) Int Cl.: **F25B 30/02 (2006.01)**  
**B60H 1/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Halla Visteon Climate Control Corporation,  
Daejeon-si, KR**

(72) Erfinder:  
**Heckt, Roman, Dr.-Ing., 52078 Aachen, DE; Graaf,  
Marc, Dipl.-Ing., 47798 Krefeld, DE**

(74) Vertreter:  
**Sperling, Fischer & Heyner Patentanwälte, 01277  
Dresden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 102 54 109 A1**  
**DE 10 2009 028 522 A1**  
**US 2006 / 0 288 716 A1**  
**WO 2009/ 094 691 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer einer Wärmepumpe von Klimaanlage in Fahrzeugen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer (2) einer Wärmepumpe (1) von Klimaanlage in Fahrzeugen, wobei ein Beheizen des Innenraumes des Fahrzeuges mit Hilfe einer einen Verdampfer (2) aufweisenden Wärmepumpe (1), die als Quelle zur Verdampfung des flüssigen Kältemittels Umgebungsluft (10) nutzt, durchgeführt wird, und die Wärmepumpe (1) neben dem Verdampfer (2) zumindest einen Verdichter (3), einen Verflüssiger (4) und ein Expansionsventil (5), das mit dem Verdampfer (2) verbunden ist, aufweist, die in der genannten Reihenfolge durch eine einen Kältemittelkreislauf unterstützende Kältemittelleitung (6) miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet,

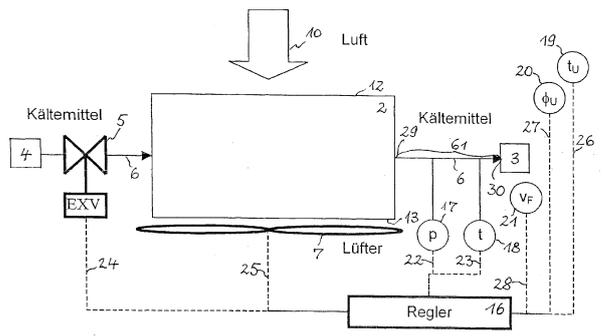
dadurch gekennzeichnet, dass eine Regelung der Oberflächentemperaturniveaus des Verdampfers (2) und der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft (10) in Abhängigkeit von der Umgebungslufttemperatur vor dem Verdampfer (2) mit Hilfe einer Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung einschließlich eines Reglers (16) in folgenden Schritten erfolgt:

a) Abschätzung oder Berechnung der Oberflächentemperatur des Verdampfers (2) mittels in einem Abschnitt (61) der Kältemittelleitung (6) zwischen Austritt (29) des Verdampfers (2) und Eintritt (30) des Verdichters (3) gemessener Signale: Druck (p) und Temperatur (t), des in dem Abschnitt (61) der Kältemittelleitung (6) befindlichen Kältemittelmassenstroms, wobei dem Abschnitt (61) ein Drucksensor (17) und ein Temperatursensor (18) zugeordnet sind,  
b) Ermittlung des Taupunktes der vor dem Fahrzeug vorhandenen Umgebungsluft (10),

c) Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft (10) und des Temperaturniveaus der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils (5), Kältemittelmassenstrom in Kältemittelleitung (6) und Drehzahl des Lüfters (7) sowie verdichterartabhängig Hub oder Drehzahl des Verdichters (3), die zumindest

mittels eines im Regler (16) hinterlegten Algorithmus nach Auswertung mittels programmtechnischer Mittel eingestellt werden, und

d) Einstellung einer minimalen Überhitzung am Verdampfer (2) zur Vermeidung einer lokalen Vereisung des Verdampfers (2).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer einer Wärmepumpe von Klimaanlage in Fahrzeugen, wobei ein Beheizen des Innenraumes des Fahrzeuges mit Hilfe einer einen Verdampfer aufweisenden Wärmepumpe, die als Quelle zur Verdampfung des flüssigen Kältemittels Umgebungsluft nutzt, durchgeführt wird, und die Wärmepumpe neben dem Verdampfer zumindest einen Verdichter, einen Verflüssiger und ein Expansionsventil, das mit dem Verdampfer verbunden ist, aufweist, die in der genannten Reihenfolge durch eine einen Kältemittelkreislauf unterstützende Kältemittelleitung miteinander verbunden sind,

**[0002]** Der Einsatz von Wärmepumpen mit Umgebungsluft als Quelle zur Beheizung des Fahrgastinnenraums wurde von mehreren Instituten, Fahrzeugherstellern und Zulieferern untersucht. Veröffentlichte Ergebnisse zeigen, dass im Stand der Technik die Luftwärmepumpe bei Umgebungstemperaturen unter 0°C auf Grund der möglichen Vereisung des Verdampfers nicht oder nur für kurze Zeit betrieben werden können.

**[0003]** Falls eine Vereisung des Verdampfers auftritt, wird der Kältekreislauf im AC-Betrieb umgeschaltet und der vereiste Verdampfer, der dann als Kondensator betrieben wird, aktiv abgetaut.

**[0004]** Ein Problem besteht darin, dass während der Phase des aktiven Abtauens nicht nur die Wärmepumpenfunktion nicht zur Verfügung steht, die Zuluft für den Innenraum wird über den Verdampfer in der Klimaanlage zusätzlich gekühlt. Hierdurch wird das Defizit in der Aufheizleistung zusätzlich verstärkt.

**[0005]** Dieser Nachteil kann nur abgemildert werden durch eine Erhöhung der Komplexität der Kältemittelkreislaufverschaltung.

**[0006]** Ein weiteres Problem besteht darin, dass in der Phase des vereisten AC-Kondensators vor dem Motorkühler der Luftstrom und damit die Motorkühlung nur unzureichend gewährleistet sind.

**[0007]** Die Vereisung eines Verdampfers ist ein physikalischer Vorgang, der wesentlich von folgenden Faktoren beeinflusst wird:

- Taupunkt der den Verdampfer überströmenden Luft,
- Oberflächentemperatur des Verdampfers und
- Strömungsgeschwindigkeit der über den Verdampfer geleiteten Luft.

**[0008]** Bei der Abkühlung von feuchter Luft wird entweder Luftfeuchtigkeit auskondensieren, die bei Temperaturen unter 0°C Eiskristalle ausbildet, die zu einer Eisschicht zusammenwachsen. Auch kann Luftfeuchtigkeit desublimieren und eine Reifschicht bilden.

**[0009]** Wenn der Verdampfer weiter bei diesen Bedingungen betrieben wird, wird die Eis-/Reifschicht wachsen und den luftseitigen Strömungsquerschnitt des Verdampfers verringern.

**[0010]** Gleichzeitig wird der Wärmeübertragungswiderstand zwischen Luft und Verdampferoberfläche vergrößert. Bei gleicher Leistung des Lüfters/Gebälases führt dies auf Grund der höheren Druckverluste zu einer verringerten Strömungsgeschwindigkeit der über den Verdampfer geleiteten Luft, die die Reifbildung begünstigt. Der Verdampfer wird schließlich mit Reif/Eis zuwachsen.

**[0011]** Ein Problem besteht darin, dass es zusätzlichen Aufwand an Wärmeenergie braucht, um den Verdampfer abzutauen.

**[0012]** Ein Verfahren zum Betreiben einer Wärmepumpe bei niedrigen Umgebungslufttemperaturen für einen Heizkreis ist in der Druckschrift WO 2009/094 691 A1 beschrieben, wobei die in **Fig. 1** dargestellte Wärmepumpe **1** einen Verdampfer **2**, einen Verdichter **3**, einen Verflüssiger **4**, ein Expansionsventil **5**, das sich zwischen dem Austritt des Verflüssigers **4** und dem Eintritt des Verdampfers **2** befindet, umfasst. Die Verbindungen zwischen dem Verdampfer **2**, dem Verdichter **3**, dem Verflüssiger **4**, dem Expansionsventil **5** und wiederum dem Verdampfer **2** sind durch Leitungen **6** für den Kältemittelfluss vorgesehen. Die Kältemittelflüssigkeit nimmt im Verdampfer **2** die Wärme aus der Umgebungsluft **10** auf und verdampft zum Kältemittelgas. Der Verdichter **3** verdichtet das Kältemittelgas mit mechanischer Energie und erhöht dadurch seine Temperatur. Im Verflüssiger **4** übergibt das Kältemittelgas seine Wärme dem Heizkreis **14**, das Kältemittelgas kondensiert und wird wieder Kältemittelflüssigkeit.

**[0013]** Im Expansionsventil **5** wird der Druck der Kältemittelflüssigkeit durch Öffnen des Ventils **5** abgebaut und die Kältemittelflüssigkeit gerät wieder in den Verdampfer **2**, in dem durch Aufnahme aus der Wärme der Umgebungsluft **10** wieder Kältemittelgas entsteht und so die Kreislauffunktion wieder durchlaufen wird.

**[0014]** Dem Verdampfer **2** ist ein Lüfter **7** zugeordnet, der mit einer Steuereinheit **8** in Verbindung steht, die selbst mit dem Verdichter **3** und einem Temperatursensor **9** in signaltechnischer Verbindung steht. Die Wärmepumpe **1** weist einen regelmäßig oder vorübergehend von der Steuereinheit **8** unterbrechbaren Kältemittelfluss durch den Verdampfer **2** auf. Bei normalem Betrieb saugt der Lüfter **7** Umgebungsluft **10** über eine Seite **12** des Verdampfers **2** an, wodurch die Umgebungsluft **10** über die Verdampferoberfläche geleitet wird und durch Aufnahme von Wärme aus der Umgebungsluft **10** Kältemittelgas erzeugt wird. Im Fall einer Vereisung des Verdampfers **2**, wobei die sehr niedrigen Temperaturen im Vereisungsbereich von dem Temperatursensor **9** angezeigt werden, wird der Kältemittelfluss im Verdichter **3** durch die Steuereinheit **8** gestoppt. Durch die Steuereinheit **8** wird danach die Richtung **11** des Verdampfers **2** auf die Verdampferoberfläche auftreffenden Luft von der Seite **13** aus umgekehrt, so dass wärmere Luft auf die Verdampferoberfläche geleitet und der Verdampfer **2** enteist wird.

**[0015]** Ein Problem besteht darin, dass bei Vereisung der Kältemittelfluss unterbrochen werden muss und ein größerer Elektroenergieaufwand zum Abtauen vorhanden ist. Bei Elektrofahrzeugen ist außerdem keine warme Luft vorhanden.

**[0016]** Ein Verfahren und eine Einrichtung zum Steuern des Kältemitteldrucks in einer Klimaanlage sind in der Druckschrift US 2006/0 288 716 A1 beschrieben, wobei die Einrichtung aus einem Verdichter, einem Verflüssiger und einem Verdampfer besteht, die in einer geschlossenen Kältemittelschleife angeordnet sind. Der Verflüssiger ist zumindest in zwei ventilgesteuerte Einheiten unterteilt. Bei Vereisungsgefahr wird zumindest eine Einheit des Verflüssigers abgeschaltet. Mittels eines zusätzlichen Ventils wird Hochdruck in den Verdampfer entspannt, so dass das Druckniveau im Verdampfer steigt und das Vereisungsrisiko geringer wird.

**[0017]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer einer Wärmepumpe von Klimaanlage in Fahrzeugen anzugeben, die derart ausgebildet sind, dass lokale Vereisungen des Wärmepumpenverdampfers bei Erreichen einer bestimmten Temperatur vermieden werden und damit die Wärmepumpenfunktion in der Klimaanlage kontinuierlich aufrechterhalten werden kann.

**[0018]** Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 7 gelöst.

**[0019]** Das Verfahren zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer einer Wärmepumpe von Klimaanlage in Fahrzeugen begleitet ein Beheizen des Innenraumes des Fahrzeuges mit Hilfe einer einen Verdampfer aufweisenden Wärmepumpe, die als Quelle zur Verdampfung des flüssigen Kältemittels Umgebungsluft nutzt, durchgeführt wird, und die Wärmepumpe neben dem Verdampfer zumindest einen Verdichter, einen Verflüssiger und ein Expansionsventil, das mit dem Verdampfer verbunden ist, aufweist, die in der genannten Reihenfolge durch eine einen Kältemittelkreislauf unterstützende Kältemittelleitung miteinander verbunden sind, wobei gemäß dem Kennzeichenteil des Patentanspruchs 1

eine Regelung der Oberflächentemperatur des Verdampfers und der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft in Abhängigkeit von der Umgebungslufttemperatur vor dem Verdampfer mit Hilfe einer Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung einschließlich eines Reglers in folgenden Schritten erfolgt:

a) Abschätzung oder Berechnung der Oberflächentemperatur des Verdampfers mittels in einem Abschnitt der Kältemittelleitung zwischen Austritt des Wärmepumpenverdampfers und Eintritt des Verdichters gemessener Signale:

Druck  $p$  und Temperatur  $t$ , des in dem Abschnitt der Kältemittelleitung befindlichen Kältemittelmassenstroms, wobei dem Abschnitt ein Drucksensor und ein Temperatursensor zugeordnet sind,

b) Ermittlung des Taupunktes der vor dem Fahrzeug vorhandenen Umgebungsluft,

c) Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft und des Temperaturniveaus der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils, Kältemittelmassenstrom in Kältemittelleitung und Drehzahl des Lüfters sowie verdichterartabhängig Hub oder Drehzahl des Verdichters, die zumindest mittels eines im Regler hinterlegten Algorithmus nach Auswertung mittels programmtechnischer Mittel eingestrichelt werden, und

d) Einstellung einer minimalen Überhitzung am Verdampfer zur Vermeidung von lokalen Vereisungen/von lokalen „Kältespots“ des Verdampfers.

**[0020]** Die eingestellte minimalste Überhitzung am Verdampfer kann 0 Kelvin betragen.

**[0021]** Die Einstellung einer minimalen Überhitzung im Verdampfer innerhalb eines festgelegten Toleranzbereiches des Kältemittels kann durch folgende Schritte erreicht werden.

- Verringern des Querschnitts des Expansionsventils bis eine geringe Überhitzung gemessen wird,
- Vergrößern des Querschnitts des Expansionsventils aus der letzten Verringerungs-Stellung, wenn dauerhaft eine geringe Überhitzung gemessen wird,
- ständige Wiederholung des Wechsels von Verringern und Vergrößern des Querschnitts des Expansionsventils zur dynamischen Regelung des austrittsseitig über die Kältemittelleitung aus dem Verdampfer austretenden Kältemittels im Bereich der Phasengrenze.

**[0022]** Der eingesetzte Regelalgorithmus ist folgendermaßen ausgeführt:

- Bestimmung der Sättigungstemperatur des Kältemittels aus dem Drucksignal  $p$  mittels hinterlegten Kennlinien, Polynomfunktionen oder durch den Zugriff auf Bibliotheken mit ausführlichen Stoffdatenfunktionen,
- Regelung des Querschnitts des Expansionsventils derart, dass die Differenz zwischen Umgebungstemperatur und Sättigungstemperatur des Kältemittels einen Grenzwert  $DT\_Max$  nicht überschreitet und einen weiteren Grenzwert  $DT\_Dauer$  nicht dauerhaft überschreitet,
- Zusätzlich wird eine vorgegebene Überhitzung eingeregelt, wobei bevorzugt Überhitzungswerte im Bereich zwischen 0 K und 5 K eingeregelt werden.

**[0023]** Eine Ermittlung des Taupunktes der Umgebungsluft kann im Fahrzeug mit der dort vorhandenen Sensorik, die ein Umgebungstemperatursignal  $t_U$  sowie ein optionales Feuchtesignal  $\Phi_U$  ermittelt, durchgeführt werden.

**[0024]** Bei der Ermittlung des Taupunktes der Umgebungsluft im Fahrzeug kann bei Nicht-Vorhandensein der Sensorik bei der Auswertung im Regler von einer Luftfeuchte von größer 95% ausgegangen werden.

**[0025]** Die Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer einer Wärmepumpe von Klimaanlagen in Fahrzeugen enthält

gemäß dem Kennzeichenteil des Patentanspruchs 7

einen Regler und den Verdampfer sowie ein Expansionsventil, einen Lüfter und Kältemittelleitungen zwischen Expansionsventil und Verdampfer sowie zwischen Verdampfer und Verdichter, wobei eine Signalleitung zum Expansionsventil zum Öffnen und Schließen und eine Signalleitung zum Lüfter zur Drehzahlregelung geführt sind, sowie Signalleitungen von einem Drucksensor und einem Temperatursensor, die sich im Abschnitt der Kältemittelleitung des Kältemittels zwischen dem Verdampfer und dem Verdichter befinden, und zum Regler führen, wobei dem Regler aus vorhandenen Fahrzeugsensoren die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_F$ , die Temperatur  $t_U$  und die Umgebungsluftfeuchte  $\phi_U$  bereitgestellt werden, und außerdem einen Sensor zur Erfassung der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_F$ , einen Sensor zur Erfassung der Umgebungstemperatur  $t_U$  und wahlweise einen Sensor zur Erfassung der Umgebungsluftfeuchte  $\Phi_U$ , wobei die den Sensoren zugehörigen Signalleitungen ebenfalls an den Regler führen, wobei der Regler programmtechnische Mittel zur Auswertung und Regelung besitzt, mit denen eine minimale Überhitzung des austrittsseitig aus dem Verdampfer austretenden Kältemittels im Vergleich zur Sättigungstemperatur des Kältemittels einstellbar ist.

**[0026]** Dem Wärmepumpenverdampfer ist der Lüfter zugeordnet, der Umgebungsluft mit einer einstellbaren Strömungsgeschwindigkeit, ggf. unmittelbar über Lüfterdrehzahl, PWM-Signal oder Strom, vor dem und durch den Verdampfer absaugt und somit einen dauerhaften Kontakt zwischen der Verdampferoberfläche und der strömenden Umgebungsluft mit der jeweilig vorhandenen Umgebungstemperatur  $t_U$  ermöglicht.

**[0027]** Der im Regler hinterlegte Algorithmus kann die Luftgeschwindigkeit und das Temperaturniveau der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils, Kältemittelmassenstrom und Drehzahl des Lüfters beeinflussen.

**[0028]** Die Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung kann als offener Regelkreis ohne Rückmeldung der Position des Expansionsventils und der Drehzahl des Lüfters ausgebildet sein. Optional kann bei einer Schrittmotoransteuerung der Regelalgorithmus die Anzahl der Öffnungs- und Schließungs-Schritte mit speichern und somit den Öffnungsquerschnitt bestimmen.

**[0029]** Die Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung kann alternativ mit geschlossenem Regelkreis mit entsprechender Rückmeldung der Position des Expansionsventils und der Lüfterdrehzahl oder des Lüfterstroms ausgeführt sein.

**[0030]** Der Regler kann einen Computer oder ein Steuergerät darstellen, der alle genannten Eingangsgrößen  $p$ ,  $t$ , Taupunkt,  $t_U$ ,  $\Phi_U$ ,  $DT_{\text{Start}}$ ,  $DT_{\text{Dauer}}$ ,  $DT_{\text{max}}$ ,  $\ddot{U}H_{\text{Max}}$  erfasst und mit programmtechnischen Mitteln auswertet und dann seine auf der Auswertung basierenden Signale an die Stellgrößen der Einrichtung weitergibt.

**[0031]** Die Erfindung beinhaltet eine Regelung, die das Oberflächentemperaturniveau des Wärmepumpenverdampfers und die Strömungsgeschwindigkeit der über die Verdampferoberfläche geleiteten Umgebungsluft in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur regelt, die vor dem Verdampfer vorhanden und vorgesehen ist, über die Verdampferoberfläche mit einer eingestellten Strömungsgeschwindigkeit geleitet zu werden.

**[0032]** Weiterbildungen und weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind in weiteren Unteransprüchen angegeben.

**[0033]** Die Erfindung wird mittels eines Ausführungsbeispiels mit zwei Kältemitteln anhand mehrerer Zeichnungen näher erläutert.

**[0034]** Es zeigt:

**[0035]** Fig. 1 einen schematische Darstellung des Aufbaus einer Wärmepumpe für einen Heizkreis mit einer Enteisungsmöglichkeit des Verdampfers nach dem Stand der Technik,

**[0036]** Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Regelstrecke mit einer geregelten Vereisungsvermeidung für einen Wärmepumpenverdampfer einer Klimaanlage in Fahrzeugen,

**[0037]** Fig. 3 eine Darstellung der Sättigungstemperaturen für die in der Wärmepumpe eingesetzten Kältemittel R134a und R744 als Funktion des Kältemitteldruckes für die Regelstrecke in Fig. 2,

**[0038]** Fig. 4 einen zeitlichen Ablauf der Sollwertvorgabe für die erlaubte Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungstemperatur und der Sättigungstemperatur und

**[0039]** Fig. 5 einen zeitlichen Ablauf der Überhitzungsregelung in der Regelstrecke.

**[0040]** In Fig. 2 ist eine erfindungsgemäße Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für einen Verdampfer 2 einer Wärmepumpe einer Klimaanlage in Fahrzeugen schematisch dargestellt.

**[0041]** Die Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für den Verdampfer 2 enthält im Wesentlichen einen Regler 16 und den Verdampfer 2 selbst sowie ein Expansionsventil 5, einen Lüfter 7 und Kältemittelleitungen 6 zwischen Expansionsventil 5 und Verdampfer 2 sowie zwischen Verdampfer 2 und Verdichter 3, wobei eine Signalleitung 24 zum Expansionsventil 5 zum Öffnen und Schließen und eine Signalleitung 25 zum Lüfter 7 zur Drehzahlregelung geführt sind, sowie Signalleitungen 22, 23 von einem Drucksensor 17 und einem Temperatursensor 18, die sich in einem Abschnitt 61 der Kältemittelleitung 6 zwischen dem Verdampfer 2 und dem Verdichter 3 befinden, und zum Regler 16 führen, und außerdem einen Sensor 21 zur Erfassung der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_F$  sowie einen Sensor 19 zur Erfassung der Umgebungstemperatur  $t_U$  und wahlweise einen Sensor 20 zur Erfassung der Umgebungsluftfeuchte  $\Phi_U$ , wobei die den Sensoren 19, 20, 21 zugehörigen Signalleitungen 26, 27, 28 ebenfalls an den Regler 16 führen. Diese Sensorik mit den Sensoren 19, 20, 21 gehört zur derzeitigen Serienausstattung eines Fahrzeuges.

**[0042]** Der Regler 16 besitzt programmtechnische Mittel zur Auswertung und Regelung, mit denen eine minimale Überhitzung des austrittsseitig aus dem Verdampfer 2 austretenden Kältemittels im Vergleich zur Sättigungstemperatur des Kältemittels einstellbar ist.

**[0043]** Die Oberflächentemperatur des Wärmepumpenverdampfers 2 wird mittels des in der Kältekreislaufleitung 6 zwischen dem Austritt 29 des Wärmepumpenverdampfers 2 und dem Eintritt 30 des Verdichters 3 gemessenen Drucksignals  $p$  und der in oder auf der Kältekreislaufleitung 61 zwischen dem Austritt 29 des Wärmepumpenverdampfers 2 und dem Eintritt 30 des Verdichters 3 gemessenen Temperatursignals  $t$  abgeschätzt.

**[0044]** Dem Wärmepumpenverdampfer 2 ist der Lüfter 7 zugeordnet, der Umgebungsluft 10 mit einer einstellbaren Strömungsgeschwindigkeit vor dem und durch den Verdampfer 2 absaugt und somit eine dauerhafte Überströmung der Verdampferoberfläche durch die Umgebungsluft 10 mit der jeweilig vorhandenen Umgebungstemperatur  $t_U$  ermöglicht.

**[0045]** Der Taupunkt der Umgebungsluft **10** wird mittels des im Fahrzeug vorhandenen Umgebungslufttemperatursignals  $t_U$  und des optionalen Umgebungsluftfeuchtesignals  $\Phi_U$  ermittelt. Falls die dafür vorgesehene Sensorik nicht vorhanden ist, wird der ungünstigste Fall (100% relative Luftfeuchtigkeit, gesättigte Luft) angenommen. Der im Regler **16** hinterlegte Algorithmus beeinflusst die Luftgeschwindigkeit und das Temperaturniveau der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsorgans (Expansionsventil) **5**, Drehzahl des Lüfters **7** sowie wahlweise verdichterartabhängig Drehzahl des Verdichters und Hub des Verdichters. Dabei kann die Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung als offener Regelkreis ohne Rückmeldung der Position des Expansionsventils **5** und der Drehzahl des Lüfters **7** oder alternativ mit geschlossenem Regelkreis mit entsprechender Rückmeldung der Position des Expansionsventils **5** und der Lüfterdrehzahl oder des Lüfterstroms ausgeführt werden.

**[0046]** Der Kältemittelmassenstrom wird, wie im Stand der Technik angegeben, mittels des Verdichterhubs bei mechanischen Verdichtern bzw. mittels der Verdichterdrehzahl eines elektrischen Verdichters indirekt geregelt. Eine Messung oder Ermittlung des Massenstroms mittels Kennfelder ist dabei nicht erforderlich.

**[0047]** Der Regelalgorithmus im Regler **16** für den Verdampfer **2** der Wärmepumpe ist folgendermaßen aufgebaut:

Aus dem in dem Abschnitt **61** der Leitung **6** erfassten Drucksignal  $p$  wird mittels hinterlegten Kennlinien, Polynomfunktionen oder durch den Zugriff auf Bibliotheken mit ausführlichen Stoffdatenfunktionen die Sättigungstemperatur des Kältemittels bestimmt.

**[0048]** In Fig. 3 sind die Sättigungstemperaturen für die Kältemittel R134a und R744 als Funktion des Kältemitteldrucks beispielhaft dargestellt. Hier kann auch das Kältemittel R1234yf eingesetzt bzw. zugeordnet werden.

**[0049]** In Fig. 4 ist der zeitliche Ablauf der Sollwertvorgabe für die erlaubte Temperaturdifferenz zwischen Umgebungstemperatur  $t_U$  und Sättigungstemperatur für einen linearen Anstieg dargestellt.

**[0050]** Der mit der Veränderung des Querschnitts des Expansionsventils **5** veränderbare Kältemittelmassenstrom wird so geregelt, dass die Sättigungstemperatur des Kältemittels einen Grenzwert DT\_Max nicht (auch nicht kurzfristig) unterschreitet und einen weiteren Grenzwert DT\_Dauer nicht dauerhaft unterschreitet.

**[0051]** Die Begrenzung der Temperaturdifferenz auf den Wert DT\_Max wird zum Start der Einrichtung für eine Zeitdauer Dt\_Start erlaubt. Nach Ablauf dieser „Startzeit“ wird die erlaubte Temperaturdifferenz auf den Wert DT\_Dauer reduziert. Die Reduzierung kann dabei sprunghaft, linear oder mittels eines Filters stattfinden.

**[0052]** In Tabelle 1 sind die dazu aktuell verwendeten Grenzwerte, die sich in Tests bewährt haben, aufgelistet.

Tabelle 1

Größe	Wert
DT_Max	8–10 K
DT_Dauer	4–6 K
Dt_Start	5 Min.

**[0053]** In Fig. 5 ist ein zeitlicher Ablauf der Überhitzungsregelung schematisch dargestellt.

**[0054]** Ein weiterer Grenzwert entspricht der Überhitzung des Kältemittels nach Verlassen des Wärmepumpenverdampfers **2**. Eine positive Überhitzung bedeutet, dass das Kältemittel eine höhere Temperatur als die Sättigungstemperatur besitzt und damit dampfförmig ist.

**[0055]** Wenn der Querschnitt des Expansionsventils **5** im Bereich A der Fig. 5 zu weit verschlossen wird, steigt die Überhitzung an. Der Regelalgorithmus sieht vor, dass bei Überschreitung einer maximalen Überhitzung ÜH\_Max das Expansionsventil **5** im Bereich B weiter geöffnet wird.

**[0056]** Ziel der Regelung ist dabei die Einstellung einer minimalen Überhitzung, bevorzugt eine Überhitzung von 0 Kelvin bezüglich der Sättigungstemperatur im Bereich C. Da aus der vorhandenen Sensorik nicht ermittelt werden kann, ob das Kältemittel im Wärmepumpenverdampfer **2** bei einer gemessenen Überhitzung von

0 Kelvin tatsächlich vollständig verdampft, wird nach einer kurzen Zeit der Strömungsquerschnitt des Expansionsventils **5** durch Signale des Reglers **16** im Bereich D langsam geschlossen, bis eine geringe Überhitzung gemessen wird. Wenn dauerhaft eine geringe Überhitzung gemessen wird, wird das Expansionsventil **5** im Bereich E mit einem etwas größeren Schritt geöffnet. Durch die ständige Wiederholung dieses Vorgehens zwischen Messung und Öffnung/Schließen im Bereich F wird der kältemittelseitige Austritt **29** aus dem Wärmepumpenverdampfer **2** dynamisch im Bereich der Phasengrenze geregelt und somit zumindest eine lokale Vereisung des Verdampfers **2** vermieden.

**[0057]** Der Regler **16** kann ein Steuergerät oder einen Computer darstellen, der alle genannten Eingangsgrößen  $p$ ,  $t$ ,  $t_U$ ,  $\Phi_U$ ,  $DT_{Start}$ ,  $DT_{Dauer}$ ,  $DT_{max}$ ,  $\dot{U}H_{Max}$  erfasst und mit programmtechnischen Mitteln ausgewertet und dann seine auf der Auswertung basierenden Signale an die Stellgrößen der Einrichtung weitergibt.

**[0058]** Beim Einsatz des Kältemittels R134a oder von Kältemitteln mit ähnlichen Stoffdaten, wie z. B. R1234yf, besteht jedoch ein großer Verstärkungsfaktor zwischen dem Druckverlust im Verdampfer **2** und der Oberflächentemperatur des Verdampfers **2** als im Vergleich zum Kältemittel R744. Wenn das Expansionsventil **5** zu weit geöffnet ist, steigt der Druckverlust im Wärmepumpenverdampfer **2** an und wird sich lokal im Bereich des Kältemittelsaustritts **29** aus dem Verdampfer **2** die Oberflächentemperatur des Verdampfers **2** verringern.

**[0059]** Damit vermieden wird, dass dies zu einer lokalen Vereisung führen kann, wird durch den Regler **16** der Querschnitt des Expansionsventils **5** geschlossen, wenn die ermittelte Sättigungstemperatur des Kältemittels zu niedrig liegt, aber gleichzeitig keine Überhitzung festgestellt wird. In diesem Fall muss außerdem der Kältemittelmassenstrom reduziert werden.

**[0060]** Bei einem elektrischen Verdichter **3** geschieht dies durch die Reduktion der Verdichterdrehzahl.

**[0061]** Bei einem extern geregelten Hubkolbenverdichter **3** geschieht dies durch die Ansteuerung des Expansionsventils **5** in der Form, dass eine Verringerung des Verdichterhubs erzielt wird.

**[0062]** Das Verfahren zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer **2** einer Wärmepumpe von Klimaanlagen in Fahrzeugen mit der vorgenannten in **Fig. 2** gezeigten Einrichtung wird im Folgenden näher erläutert: Es wird ein Beheizen des Innenraumes des Fahrzeuges mit Hilfe einer einen Verdampfer **2** aufweisenden Wärmepumpe, die als Quelle zur Verdampfung des flüssigen Kältemittels Umgebungsluft **10** nutzt, durchgeführt, und die Wärmepumpe **1** weist neben dem Verdampfer **2** zumindest einen Verdichter **3**, einen Verflüssiger **4** und ein Expansionsventil **5**, das mit dem Verdampfer **2** verbunden ist, auf, die in der genannten Reihenfolge durch eine einen Kältemittelkreislauf unterstützende Kältemittelleitung **6** miteinander verbunden sind,

**[0063]** Dabei erfolgt eine Regelung der Oberflächentemperaturniveaus des Verdampfers **2** und der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft **10** in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur vor dem Verdampfer **2** mit Hilfe einer Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung einschließlich des in **Fig. 2** angegebenen Reglers **16** in folgenden Schritten:

- a) Abschätzung oder Berechnung der Oberflächentemperatur des Verdampfers **2** mittels in einem Abschnitt **61** der Kältemittelleitung **6** zwischen Austritt **29** des Wärmepumpenverdampfers **2** und Eintritt **30** des Verdichters **3** gemessener Signale: Druck  $p$  und Temperatur  $t$ , des in dem Abschnitt **61** der Kältemittelleitung **6** befindlichen Kältemittelmassenstroms, wobei dem Abschnitt **61** ein Drucksensor **17** und ein Temperatursensor **18** zugeordnet sind,
- b) Ermittlung des Taupunktes der vor dem Fahrzeug vorhandenen Umgebungsluft **10**,
- c) Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft **10** und des Temperaturniveaus der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils **5**, Kältemittelmassenstrom in Kältemittelleitung **6** und Drehzahl des Lüfters **7** sowie wahlweise verdichterartabhängig Hub oder Drehzahl des Verdichters, die zumindest mittels eines im Regler **16** hinterlegten Algorithmus nach Auswertung mittels programmtechnischer Mittel eingestellt werden, und
- d) Einstellung einer minimalen Überhitzung am Verdampfer **2** zur Vermeidung zumindest einer lokalen Vereisung des Verdampfers **2**.

**[0064]** Eine Einstellung einer minimalen Überhitzung im Verdampfer **2** kann durch folgende Schritte erreicht werden:

- Verringern des Querschnitts des Expansionsventils **5** bis eine geringe Überhitzung gemessen wird,
- Vergrößern des Querschnitts des Expansionsventils **5** aus der letzten Verringerungs-Stellung, wenn dauerhaft eine geringe Überhitzung gemessen wird,
- eine wie in **Fig. 5** gezeigte ständige Wiederholung des Wechsels von Verringern und Vergrößern des Querschnitts des Expansionsventils **5** zur dynamischen Regelung des austrittsseitig über die Kältemittelleitung **6** aus dem Verdampfer **2** austretenden Kältemittels im Bereich der Phasengrenze.

**[0065]** Der im Regler **16** gespeicherte Regelalgorithmus wird folgendermaßen ausgeführt:

- Bestimmung der Sättigungstemperatur des Kältemittels aus dem Drucksignal  $p$  mittels hinterlegten Kennlinien, Polynomfunktionen oder durch den Zugriff auf Bibliotheken mit ausführlichen Stoffdatenfunktionen,
- Regelung des Querschnitts des Expansionsventils **5** derart, dass die Differenz zwischen der Umgebungstemperatur und Sättigungstemperatur des Kältemittels einen Grenzwert  $DT_{Max}$  nicht dauerhaft überschreitet und einen weiteren Grenzwert  $DT_{Dauer}$  nicht dauerhaft überschreitet,
- Einstellung einer vorgegebenen Überhitzung, wobei bevorzugt Überhitzungswerte im Bereich zwischen 0 Kelvin und 5 Kelvin eingeregelt werden.

**[0066]** Eine Ermittlung des Taupunktes der Umgebungsluft **10** im Fahrzeug kann mit der dort vorhandenen Sensorik, die ein Umgebungstemperatursignal  $t_U$  sowie ein optionales Feuchtesignal  $\Phi_U$  ermittelt, durchgeführt werden.

**[0067]** Die Vorteile der Erfindung bestehen in

- einem vereisungsfreien Betrieb einer mit Umgebungsluft **10** betriebenen Wärmepumpe,
- einer Steigerung der mittleren Heizleistung der Wärmepumpe,
- einem reduzierten Kraftstoffverbrauch/Energiebedarf im Vergleich zum PTC,
- einer kontinuierlichen Verfügbarkeit der (Zu)heizleistung der Wärmepumpe,
- einer reduzierten Komplexität des Systems (einen Entfall der Notwendigkeit einer Abtauvorrichtung) und
- einer Kostenreduzierung.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Wärmepumpe
<b>2</b>	Verdampfer
<b>3</b>	Verdichter
<b>4</b>	Verflüssiger
<b>5</b>	Expansionsventil
<b>6</b>	Kältemittelleitung
<b>61</b>	Abschnitt der Kältemittelleitung <b>6</b>
<b>7</b>	Lüfter
<b>8</b>	Steuereinheit
<b>9</b>	Temperatursensor
<b>10</b>	Umgebungsluft
<b>11</b>	Warmluft
<b>12</b>	Vorderseite des Verdampfers
<b>13</b>	Rückseite des Verdampfers
<b>14</b>	Heizkreis
<b>16</b>	Regler
<b>17</b>	Drucksensor
<b>18</b>	Temperatursensor
<b>19</b>	Sensor
<b>20</b>	Sensor
<b>21</b>	Sensor
<b>22</b>	Signalleitung
<b>23</b>	Signalleitung
<b>24</b>	Signalleitung
<b>25</b>	Signalleitung
<b>26</b>	Signalleitung
<b>27</b>	Signalleitung
<b>28</b>	Signalleitung
<b>29</b>	Austritt
<b>30</b>	Eintritt

$t_U$	Umgebungstemperatur
$p$	Druck
$t$	Temperatur
$\Phi_U$	Umgebungsluftfeuchte
$v_F$	Fahrzeuggeschwindigkeit
<b>Dt_Start</b>	Zeitdauer
<b>DT_Dauer</b>	Grenzwert
<b>DT_Max</b>	Grenzwert
<b>ÜH_Max</b>	maximaler Überhitzungswert
<b>A, B, C, D, E, F</b>	Zeitbereiche für den Öffnungszustand des Expansionsventils

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer (2) einer Wärmepumpe (1) von Klimaanlage in Fahrzeugen,

wobei ein Beheizen des Innenraumes des Fahrzeuges mit Hilfe einer einen Verdampfer (2) aufweisenden Wärmepumpe (1), die als Quelle zur Verdampfung des flüssigen Kältemittels Umgebungsluft (10) nutzt, durchgeführt wird, und die Wärmepumpe (1) neben dem Verdampfer (2) zumindest einen Verdichter (3), einen Verflüssiger (4) und ein Expansionsventil (5), das mit dem Verdampfer (2) verbunden ist, aufweist, die in der genannten Reihenfolge durch eine einen Kältemittelkreislauf unterstützende Kältemittelleitung (6) miteinander verbunden sind,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass eine Regelung der Oberflächentemperaturniveaus des Verdampfers (2) und der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft (10) in Abhängigkeit von der Umgebungslufttemperatur vor dem Verdampfer (2) mit Hilfe einer Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung einschließlich eines Reglers (16)

in folgenden Schritten erfolgt:

a) Abschätzung oder Berechnung der Oberflächentemperatur des Verdampfers (2) mittels in einem Abschnitt (61) der Kältemittelleitung (6) zwischen Austritt (29) des Verdampfers (2) und Eintritt (30) des Verdichters (3) gemessener Signale: Druck ( $p$ ) und Temperatur ( $t$ ), des in dem Abschnitt (61) der Kältemittelleitung (6) befindlichen Kältemittelmassenstroms, wobei dem Abschnitt (61) ein Drucksensor (17) und ein Temperatursensor (18) zugeordnet sind,

b) Ermittlung des Taupunktes der vor dem Fahrzeug vorhandenen Umgebungsluft (10),

c) Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft (10) und des Temperaturniveaus der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils (5), Kältemittelmassenstrom in Kältemittelleitung (6) und Drehzahl des Lüfters (7) sowie verdichterartabhängig Hub oder Drehzahl des Verdichters (3), die zumindest

mittels eines im Regler (16) hinterlegten Algorithmus nach Auswertung mittels programmtechnischer Mittel eingestellt werden, und

d) Einstellung einer minimalen Überhitzung am Verdampfer (2) zur Vermeidung einer lokalen Vereisung des Verdampfers (2).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die eingestellte Überhitzung am Verdampfer (2) 0 Kelvin beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass die Einstellung einer minimalen Überhitzung im Verdampfer (2) durch folgende Schritte erreicht wird:

- Verringern des Querschnitts des Expansionsventils (5) bis eine geringe Überhitzung gemessen wird,
- Vergrößern des Querschnitts des Expansionsventils (5) aus der letzten Verringerungs-Stellung, wenn dauerhaft eine geringe Überhitzung gemessen wird,
- ständige Wiederholung des Wechsels von Verringern und Vergrößern des Querschnitts des Expansionsventils (5) zur dynamischen Regelung des austrittsseitig über die Kältemittelleitung (6) aus dem Verdampfer (2) austretenden Kältemittels im Bereich der Phasengrenze.

4. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass der Regelalgorithmus folgendermaßen ausgeführt ist:

- Bestimmung der Sättigungstemperatur des Kältemittels aus dem Drucksignal ( $p$ ) mittels hinterlegten Kennlinien, Polynomfunktionen oder durch den Zugriff auf Bibliotheken mit ausführlichen Stoffdatenfunktionen,

- Regelung des Querschnitts des Expansionsventils (5) derart, dass die Differenz zwischen der Umgebungstemperatur und Sättigungstemperatur des Kältemittels einen Grenzwert  $DT\_Max$  nicht kurzzeitig überschreitet und einen weiteren Grenzwert  $DT\_Dauer$  nicht dauerhaft überschreitet,
- Einstellung einer vorgegebenen Überhitzung, wobei bevorzugt Überhitzungssollwerte im Bereich zwischen 0 Kelvin und 5 Kelvin eingeregelt werden.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Ermittlung des Taupunktes der Umgebungsluft (10) im Fahrzeug mit der dort vorhandenen Sensorik, die ein Umgebungstemperatursignal  $t_U$  sowie ein optionales Feuchtesignal  $\Phi_U$  ermittelt, durchgeführt wird.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung des Taupunktes der Umgebungsluft (10) im Fahrzeug bei Nicht-Vorhandensein der Sensorik bei der Auswertung im Regler (16) von einer Luftfeuchte größer als 95% ausgegangen wird.

7. Einrichtung zur Vereisungsvermeidungsregelung für Verdampfer (2) einer Wärmepumpe (1) von Klimaanlagen in Fahrzeugen,

**dadurch gekennzeichnet**,

dass sie einen Regler (16) und den Verdampfer (2) sowie ein Expansionsventil (5), einen Lüfter (7) und Kältemittelleitungen (6) zwischen Expansionsventil (5) und Verdampfer (2) sowie zwischen Verdampfer (2) und Verdichter (3) enthält, wobei eine Signalleitung (24) zum Expansionsventil (5) zum Öffnen und Schließen und eine Signalleitung (25) zum Lüfter (7) zur Drehzahlregelung geführt sind, sowie Signalleitungen (22, 23) von einem Drucksensor (17) und einem Temperatursensor (18), die sich im Abschnitt (61) der Kältemittelleitung (6) des zwischen dem Verdampfer (2) und dem Verdichter (3) befinden und zum Regler (16) führen, und außerdem einen Sensor (21) zur Erfassung der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_F$  sowie einen Sensor (19) zur Erfassung der Umgebungstemperatur  $t_U$  und wahlweise einen Sensor (20) zur Erfassung der Umgebungsluftfeuchte  $\Phi_U$ , wobei die den

Sensoren (19, 20, 21) zugehörigen Signalleitungen (26, 27, 28) ebenfalls an den Regler (16) führen, wobei der Regler (16) programmtechnische Mittel zur Auswertung und Regelung besitzt, mit denen eine minimale Überhitzung des austrittsseitig aus dem Verdampfer (2) austretenden Kältemittels im Vergleich zur Sättigungstemperatur des Kältemittels einstellbar ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Verdampfer (2) der Lüfter (7) zugeordnet ist, der Umgebungsluft (10) mit einer einstellbaren Strömungsgeschwindigkeit vor dem und durch den Verdampfer (2) absaugt und somit eine dauerhafte Überströmung der Verdampferoberfläche von Umgebungsluft (10) mit der jeweilig vorhandenen Umgebungstemperatur  $t_U$  ermöglicht.

9. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der im Regler (16) hinterlegte Algorithmus die Luftgeschwindigkeit und das Temperaturniveau der Verdampferoberfläche mittels der Stellglieder: Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils (5), Kältemittelmassenstrom und Drehzahl des Lüfters (7) beeinflusst.

10. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie als offener Regelkreis ohne Rückmeldung der Position des Expansionsventils (5) und der Drehzahl des Lüfters (7) ausgebildet ist.

11. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie alternativ mit geschlossenem Regelkreis mit entsprechender Rückmeldung der Position des Expansionsventils (5) und der Lüfterdrehzahl oder des Lüfterstroms ausgeführt ist.

12. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regler (16) ein Steuergerät oder einen Computer darstellt, der alle genannten Eingangsgrößen  $p$ ,  $t$ , Taupunkt,  $t_U$ ,  $\Phi_U$ ,  $Dt\_Start$ ,  $DT\_Dauer$ ,  $DT\_max$ ,  $\ddot{U}H\_Max$  erfasst und mit programmtechnischen Mitteln auswertet und dann seine auf der Auswertung basierenden Signale an die Stellgrößen der Einrichtung zur Vermeidung von lokalen Vereisungen des Verdampfers (2) weitergibt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

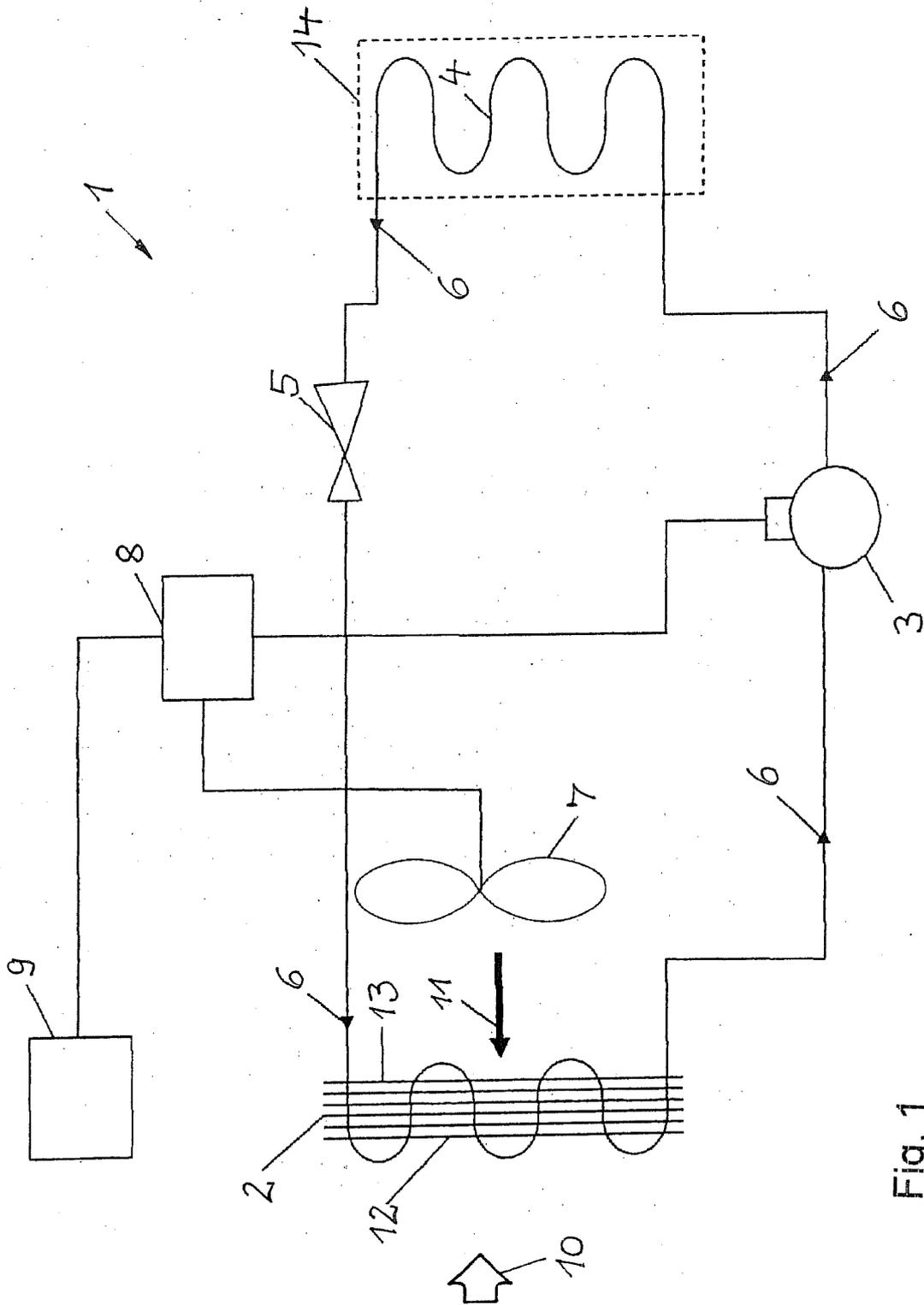
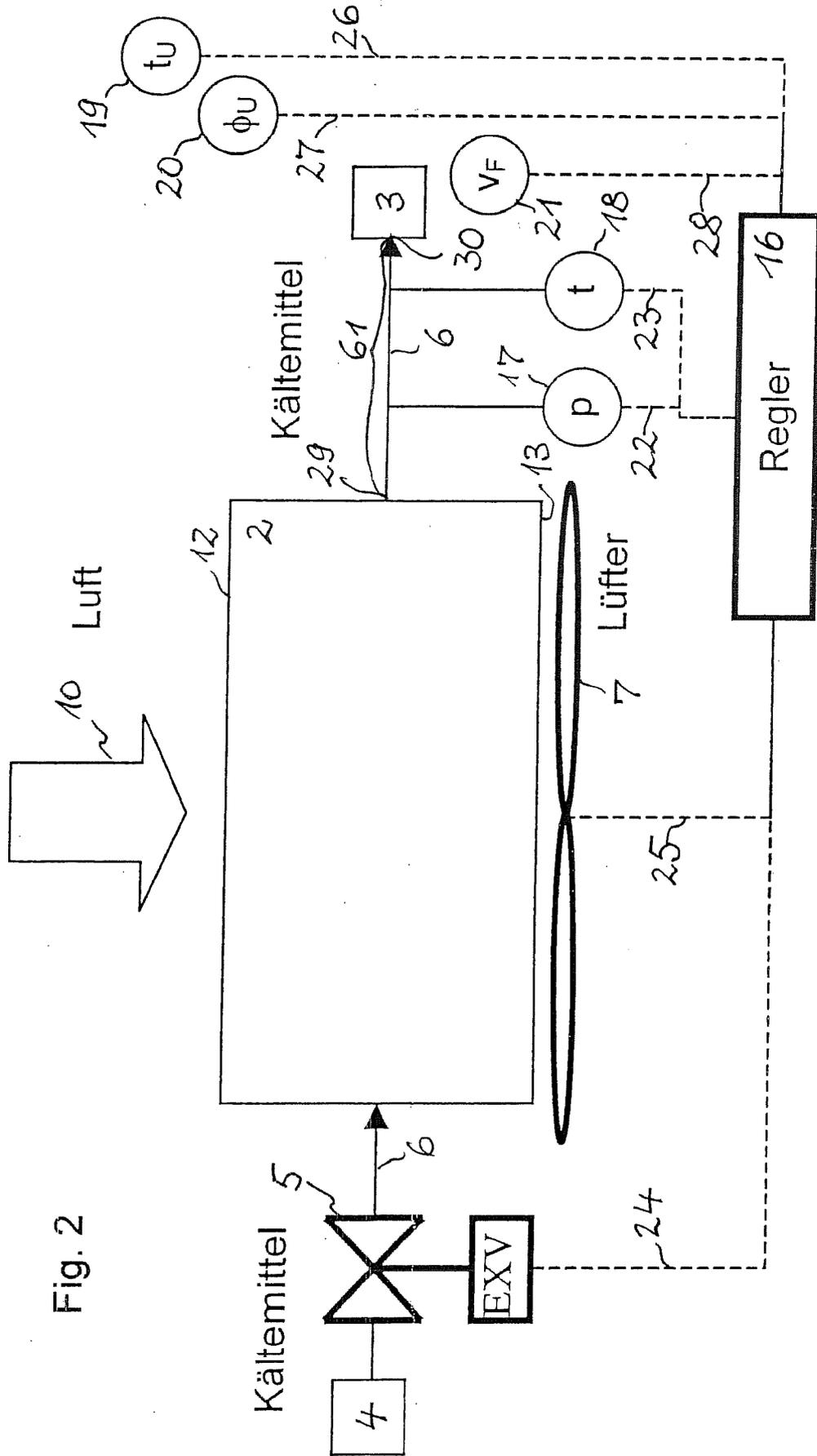


Fig. 1

Stand der Technik



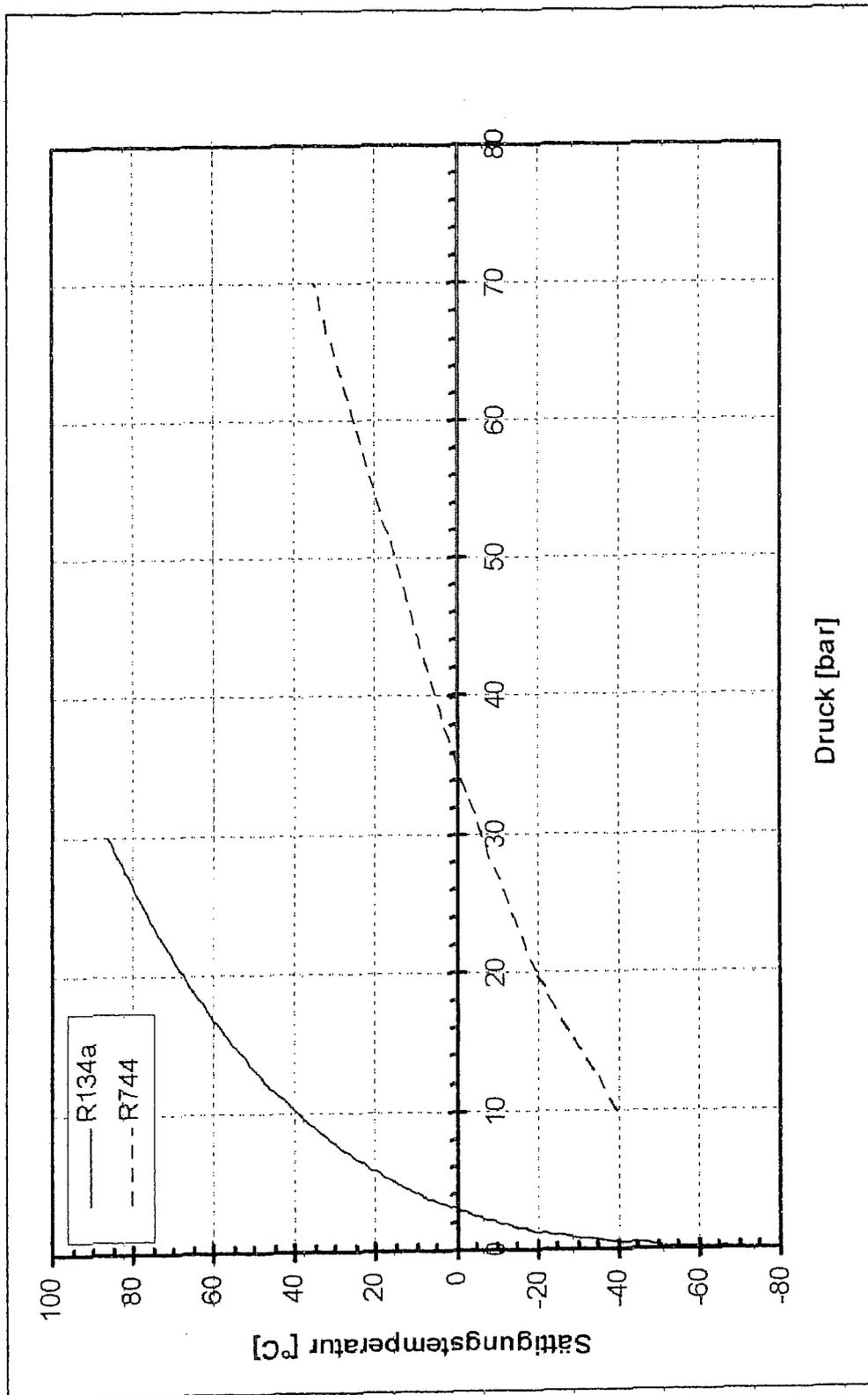


Fig. 3

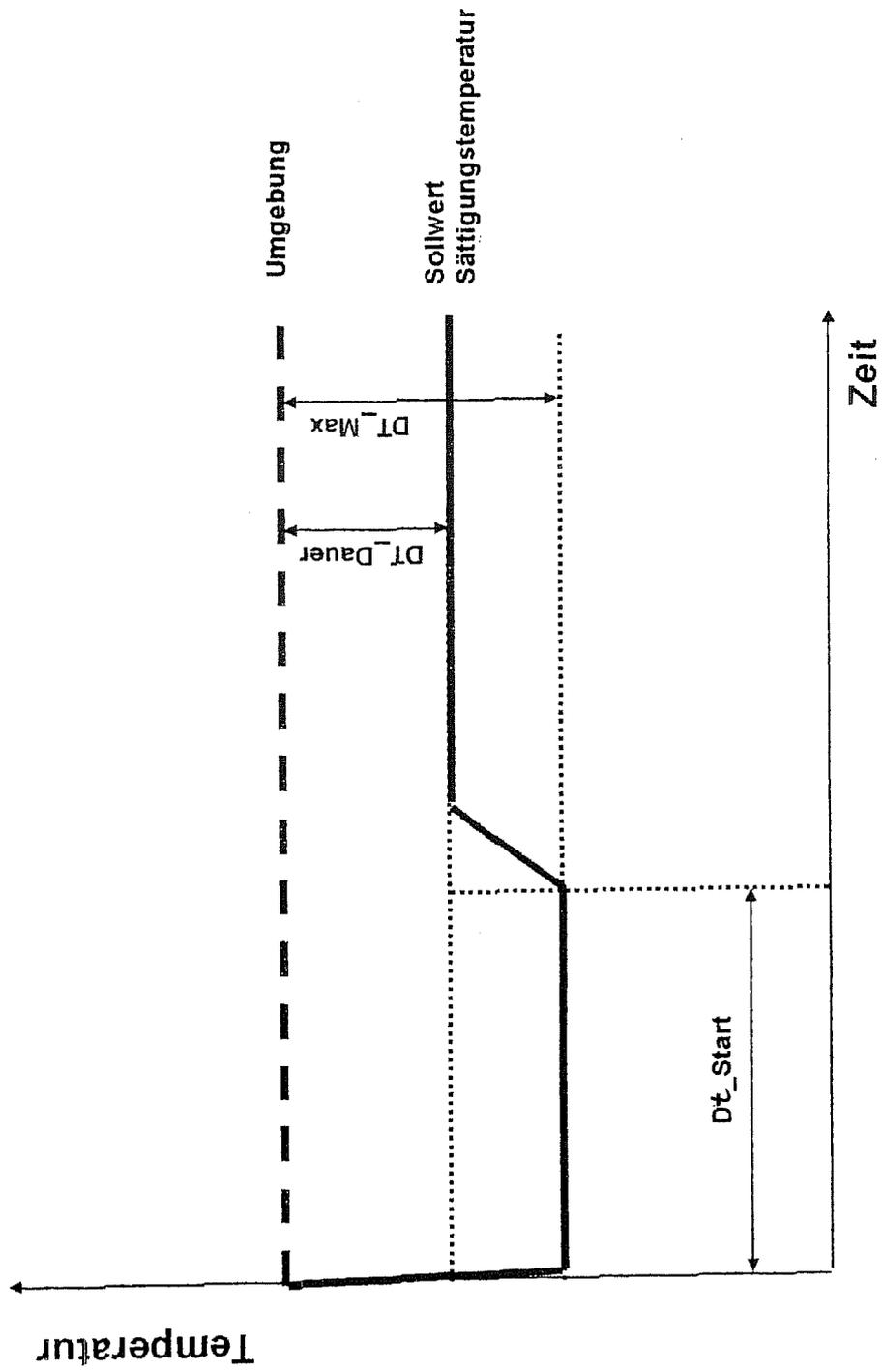


Fig. 4

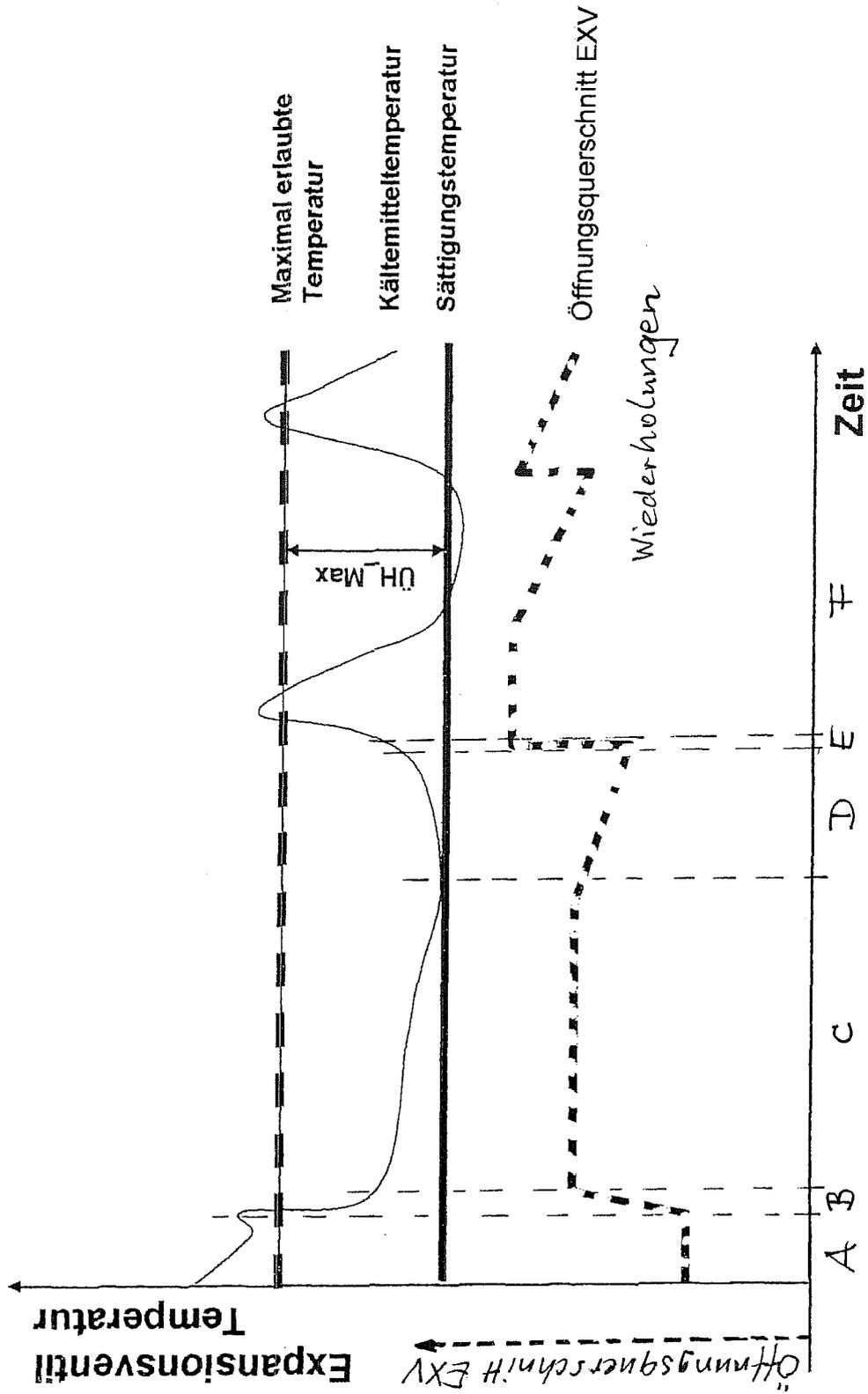


Fig. 5