

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 847/2012
(22) Anmeldetag: 31.07.2012
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2013

(51) Int. Cl. : **F02G 5/02** (2006.01)
F01K 13/02 (2006.01)
F01K 23/06 (2006.01)

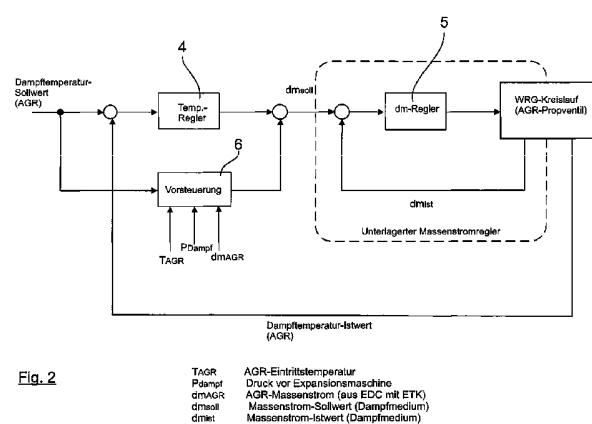
(56) Entgegenhaltungen:
EP 2280152 A1

(73) Patentanmelder:
MAN TRUCK & BUS ÖSTERREICH AG
4400 STEYR (AT)

(72) Erfinder:
Kreuzriegler André Dipl.Ing.
Reichraming (AT)
Raab Gottfried Dipl.Ing.
Perg (AT)
Klammer Josef Dipl.Ing. (FH)
Garsten (AT)

(54) **Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems in einem Kraftfahrzeug**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, insbesondere in einem Nutzfahrzeug, mit einem Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf (1) als Arbeitskreislauf, der einen Vorratstank (VR) mit einem Arbeitsmedium aufweist, der über eine Speisepumpe (SP) mit wenigstens einem Regelventil (V1, V2) verbunden ist, dem jeweils ein Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) als Verdampfer zugeordnet ist. Der Arbeitskreislauf weist weiter eine dem wenigstens einen Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) nachgeschaltete Expansionsmaschine (E) auf, auf die ein Kondensator (K) mit einer Verbindung über eine Kondensatorabsaugpumpe (KP) zum Vorratstank (VR) folgt. Der wenigstens eine Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) wird sowohl von einem Arbeitsmedium-Massenstrom als auch von einem Heizmedium-Massenstrom einer Wärmequelle durchströmt. Erfindungsgemäß wird bei durch den Fahrzeugbetrieb vorgegebenem Heizmedium-Massenstrom und vorgegebener Heizmedium-Temperatur auf einen vorbestimmten Dampftemperatur-Sollwert und/oder Phasenzustand für das Arbeitsmedium durch Variation des Arbeitsmedium-Massenstroms durch den wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer mittels Verstellung des Regelventildurchgangs (V1, V2) geregelt.



Zusammenfassung

Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems in einem Kraftfahrzeug

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, insbesondere in einem Nutzfahrzeug, mit einem Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf (1) als Arbeitskreislauf, der einen Vorratstank (VR) mit einem Arbeitsmedium aufweist, der über eine Speisepumpe (SP) mit wenigstens einem Regelventil (V1, V2) verbunden ist, dem jeweils ein Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) als Verdampfer zugeordnet ist. Der Arbeitskreislauf weist weiter eine dem wenigstens einen Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) nachgeschaltete Expansionsmaschine (E) auf, auf die ein Kondensator (K) mit einer Verbindung über eine Kondensatorabsaugpumpe (KP) zum Vorratstank (VR) folgt. Der wenigstens eine Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) wird sowohl von einem Arbeitsmedium-Massenstrom als auch von einem Heizmedium-Massenstrom einer Wärmequelle durchströmt. Erfindungsgemäß wird bei durch den Fahrzeugbetrieb vorgegebenem Heizmedium-Massenstrom und vorgegebener Heizmedium-Temperatur auf einen vorbestimmten Dampftemperatur-Sollwert und/oder Phasenzustand für das Arbeitsmedium durch Variation des Arbeitsmedium-Massenstroms durch den wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer mittels Verstellung des Regelventildurchgangs (V1, V2) geregelt.

(Fig. 2)

Beschreibung

Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems in einem Kraftfahrzeug

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems (WRG-System) in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, insbesondere in einem Nutzfahrzeug.

- 10 Ein allgemein bekanntes Wärme-Rückgewinnungs-System weist einen Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf (WRG-Kreislauf) als Arbeitskreislauf auf, der einen Vorratstank mit einem Arbeitsmedium enthält, der über eine Speisepumpe mit wenigstens einem Regelventil verbunden ist, dem jeweils ein Wärmetauscher als Verdampfer zugeordnet ist. Der Arbeitskreislauf enthält weiter eine, dem wenigstens einen Wärmetauscher nachgeschaltete
- 15 Expansionsmaschine, auf die ein Kondensator mit einer Verbindung über eine Kondensatorabsaugpumpe zum Vorratstank folgt. Der Wärmetauscher wird im Fahrzeugbetrieb sowohl von einem Arbeitsmedium-Massenstrom als auch von einem Heizmedium-Massenstrom einer Fahrzeug-Wärmequelle im Gegenstrom durchströmt. Nach einem Aufwärmvorgang (flüssiger Zustand des Arbeitsmediums) und einem anschließenden Verdampfungsprozess
- 20 (Arbeitsmedium teilweise flüssig und teilweise dampfförmig) folgt ein Überhitzungsprozess (Arbeitsmedium dampfförmig über Sattdampftemperatur), wobei nach einer Umschaltung auf Expanderbetrieb der Arbeitsmedium-Dampf der Expansionsmaschine zu deren Antrieb zugeführt wird.
- 25 In bekannten Wärme-Rückgewinnungs-Systemen können verschiedene Wärmequellen am Verbrennungsmotor genutzt werden, um ein Arbeitsmedium zu verdampfen. Als Wärmequellen beziehungsweise Heizmedien können insbesondere das Motorkühlmittel, die Ladeluft oder vorzugsweise das Abgas verwendet werden. Die im Arbeitsmedium-Dampf enthaltene Energie wird in der Expansionsmaschine in mechanische Energie umgewandelt und wieder
- 30 dem Verbrennungsmotor zugeführt, so dass der Gesamtwirkungsgrad gesteigert werden kann.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Regelung eines solchen Wärme-Rückgewinnungs-Systems vorzuschlagen, mit dem ein wirkungsgradoptimaler und sicherer

35 Betrieb eines solchen Systems durchführbar ist.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass bei durch den Fahrzeugbetrieb vorgegebenem Heizmedium-Massenstrom und vorgegebener Heizmedium-Temperatur auf einen vorbestimmten Temperatur-Sollwert und/oder Phasenzustand für das Arbeitsmedium durch Variation des Arbeitsmedium-Massenstroms durch den wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer mittels Verstellung des Regelventildurchgangs geregelt wird.

Um die voll von den Wärmequellen am Verbrennungsmotor im Heizmedium-Massenstrom zur Verfügung stehende Heizenergie auszunützen wird hier durch Regelung des Arbeitsmedium-Massenstroms die Temperatur und insbesondere im Verdampfungsprozess der Phasenzustand des Arbeitsmediums geregelt.

Für eine definierte Beaufschlagung des wenigstens einen Wärmetauschers/Verdampfers mit einem definierten Arbeitsmedium-Massenstrom wird vorzugsweise ein Regelventil als proportional-Regelventil verwendet, welches über ein pulswerten-moduliertes Signal (PWM-Signal) angesteuert wird. Eine genaue Zuordnung des Arbeitsmedium-Massenstrom-Istwerts zur Regelventilstellung beziehungsweise zum PWM-Signal ist wegen des variierenden Druckgefälles über dem Regelventil nicht unmittelbar möglich. Es wird daher vorgeschlagen, den genauen Arbeitsmedium-Massenstrom-Istwert durch das wenigstens eine Regelventil mit Hilfe des Ventilkennfeldes unter Berücksichtigung der aktuellen Ventilstellung beziehungsweise des PWM-Signals, des aktuellen (gemessenen) Druckabfalls über das Regelventil und der aktuellen Arbeitsmedium-Temperatur am Regelventil zu berechnen.

Der Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf hat folgende Funktion: die Speisepumpe entnimmt dem Vorratstank das Arbeitsmedium, welches über das Proportional-Regelventil zum Wärmetauscher geleitet und in diesem verdampft wird. Bei der Verwendung von zwei Wärmetauschern wird das Arbeitsmedium von der Speisepumpe auf zwei zugeordnete Proportional-Regelventile verteilt. Der Wärmetauscher bezieht seine Wärme aus dem ebenfalls durchgeleiteten Heizmedium-Massenstrom, insbesondere aus dem Abgas einer Brennkraftmaschine, wobei vorzugsweise ein rückgeführtes Abgas und ein Abgas welches nach einer Abgasnachbehandlung der Umgebung zugeführt wird, jeweils einem Wärmetauscher/Verdampfer mit zugeordnetem Regelventil und zugeordneter Regelung zugeführt wird.

Nach dem wenigstens einem Wärmetauscher ist mittels eines Umschaltventils ein direkter Strömungsweg zur Expansionsmaschine oder ein Strömungsweg über ein Drosselventil schaltbar. Steht vor der Expansionsmaschine beim Aufwärmvorgang noch kein Dampf und

5

10

20

30

35

hohe Dampftemperatur eingeregelt. Da in diesem Fall der benötigte Massenstrom, um die entsprechende Dampftemperatur darstellen zu können, aufgrund eines Sättigungsverhaltens nicht eindeutig ist, wird vor dem Integrator mit dem Manipulationswert eingegriffen, so dass wirklich der maximale Massenstrom mit der geforderten Temperatur eingeregelt wird. Dieser Manipulationswert ist abhängig von der Abgastemperatur am Verdampfereintritt, der aktuellen Dampftemperatur nach dem Verdampfer und vom aktuellen Massenstrom des Dampfmediums. Ist eine nahe an der Gaseintrittstemperatur geforderte Dampftemperatur erreicht, der Massenstrom durch den Wärmetauscher/Verdampfer aber relativ klein, wird der Verdampfer in Sättigung betrieben und es ist ein höherer Massendurchsatz bei gleicher Dampftemperatur möglich. Daher soll ein additiver, positiver Wert am Integratoreingang den Massenstrom erhöhen, wobei dieser Manipulationswert mit steigendem Massenstrom wieder sinken soll. Wenn die Dampftemperatur unter die Solltemperatur fällt, wird der Manipulationswert auf Null gesetzt, wobei nun der übergeordnete Temperaturregler die geforderte Dampftemperatur einregelt und ein maximaler Massenstrom bei dieser Temperatur mit der größtmöglichen erzielbaren Dampfmenge erreicht wird. Sinkt (zum Beispiel aus numerischen Gründen) der Massenstromsollwert und somit der aktuelle Massenstrom, so wird der Manipulationswert wieder aktiv und der Massenstrom steigt wieder an. Es muss aber darauf geachtet werden, dass der Manipulationswert klein genug gewählt wird, damit der Temperaturregler den Sollwert einregeln kann.

Ein weiterer schneller Eingriff in die Regelung kann gegebenenfalls dadurch erreicht werden, dass Wandtemperaturen am Wärmetauscherverdampfer gemessen werden, um gegebenenfalls schnell eine Flüssigkeits-/Dampfgranze zu ermitteln, so dass einem Absinken der Arbeitsmedien-Austrittstemperatur unter die Sattdampftemperatur schnell entgegengewirkt werden kann. Ein solcher Eingriff kann vorteilhaft sein, wenn beispielsweise die Verdampferaustrittstemperatur mit sehr hohem Gradienten abfällt, wodurch ohne diesen Eingriff die relativ träge Temperaturregelung nicht mehr in der Lage ist, die Temperatur über der Sattdampftemperatur zu halten. Für die Ermittlung der Flüssigkeits-/Dampfgranze kann die Wandtemperatur in der Nähe des Medieneintritts, in der Mitte zwischen Medieneintritt und Mediumaustritt sowie in der Nähe des Mediumaustritts gemessen werden, damit vorzeitig auf ein Absinken der Austrittstemperatur reagiert werden kann. Dies setzt voraus, dass mit der Wandtemperatur mit möglichst geringer Verzögerung auf die internen Temperaturverhältnisse geschlossen werden kann.

Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf einen eingeregelter Expanderbetrieb mit einer über der Sattdampftemperatur geregelten Solldampftemperatur. Um diesen angestrebten Zustand in einem Anfahrprozess möglichst schnell und effizient zu erreichen werden folgende Verfahrensschritte vorgeschlagen:

5

a) Aufwärmvorgang (Arbeitsmedium flüssig)

10

Der Aufwärmvorgang erfolgt temperaturbasiert und temperaturgeregelt, indem die Arbeitsmedium-Solltemperatur stufenweise oder kontinuierlich je nach der Heizmedium-Eintritttemperatur am Wärmetauscher und dem Heizmedium-Massenstrom bis zur Sattdampftemperatur erhöht wird.

b) Verdampfungsprozess

15

20

25

30

Im Verdampfungsprozess ist das Arbeitsmedium (nach dem Wärmetauscher) teilweise gasförmig und teilweise flüssig bei jeweils gleicher Sattdampftemperatur, so dass hier keine temperaturbasierte Regelung eingesetzt werden kann. Die Sattdampftemperatur ist grundsätzlich eine Funktion des Drucks und kann leicht ermittelt werden. Der Verdampfungsprozess wird daher nur durch eine Arbeitsmedium-Massenstrom-Regelung geführt. Der Verdampfungszustand wird durch den vorhergehenden, temperaturgeregelten Aufwärmvorgang erreicht, wobei der Arbeitsmedium-Massenstrom der Temperaturregelung zum Zeitpunkt des Umschaltens auf die reine Massenstromregelung als Sollwert übernommen wird. Durch Anpassung an die sich ständig verändernden Betriebsparameter, beispielsweise von Abgaseintrittstemperaturen und eines Abgasmassenstroms, soll über Kennfelder sichergestellt werden, dass der Arbeitsmedium-Kreislauf nicht wieder in den einphasigen, flüssigen Zustand zurückfällt. Dann wird durch zeitlich gesteuertes, stufenweises Absenken des Arbeitsmedium-Massenstroms die Überhitzungsphase eingeleitet und der Überhitzungsprozess erreicht. Fällt aber die Temperatur wieder unter die Sattdampftemperatur, so wird wieder auf die Temperaturregelung des Aufwärmvorgangs umgeschaltet, wobei der Temperaturregler so initialisiert wird, dass der zum Zeitpunkt des Umschaltens vorherrschende Massenstrom eingestellt wird.

35

c) Überhitzungsprozess

Die Arbeitsmedien-Dampftemperatur wird über die Sattedampftemperatur temperaturgeregelt bis zu der für den Expanderbetrieb vorgegebenen Arbeitsmedium-Dampftemperatur erhöht.

d) Expanderbetrieb

Es erfolgt eine Umschaltung auf den Expanderbetrieb in Verbindung mit einer Regelung, wie sie vorstehend in Verbindung mit dem Expanderbetrieb erläutert wurde.

Bei einem besonders bevorzugten Verfahren ist das Heizmedium sowohl ein nach einer Abgasnachbehandlung der Umgebung zugeführtes Abgas (AG) aus einer Fahrzeugbrennkraftmaschine als auch ein rückgeführtes Abgas (AGR), wobei beiden Abgasarten ein eigener Wärmetauscher mit vorgeschalteten Regelventilen und einer jeweils darauf wirkenden Regelung zugeordnet ist. Werden alternativ oder zusätzlich andere Heizmedien, wie beispielsweise ein Motorkühlmittel und/oder eine Ladeluft in einem Wärme-Rückgewinnungskreislauf verwendet, sind die vorstehenden Verfahren zur Regelung entsprechend und dem jeweiligen Heizmedium angepasst zu verwenden.

Wenn aus Kostengründen der Massenstrom für das rückgeführte Abgas nicht durch eine entsprechende Massenstrommessung ermittelt werden kann, besteht folgende kostengünstige Berechnungsmöglichkeit unter Verwendung eines Motorsteuergeräts: Das Motorsteuergerät berechnet, basierend auf einer Kombination des Liefergrads mit völlig geschlossener beziehungsweise völlig geöffneter Abgasrückführ-Klappe (AGR-Klappe) den Ansaugluftmassenstrom. Aus den Motorsteuergerät-Werten für den theoretischen Luftmassenstrom und den berechneten Luftmassenstrom (dm_{air}) kann wie folgt der AGR-Massenstrom dargestellt werden:

$$dm_{AGR} = dm_{air, th} \cdot sf_{NP} - dm_{air}$$

$dm_{air, th}$... theoretischer Luftmassenstrom

sf_{NP} ... Liefergrad bei geschlossener AGR-Klappe

dm_{AGR} ... AGR-Massenstrom

Anhand einer Zeichnung wird ein Verfahren zur Regelung mit Abgas als Heizmedium weiter erläutert.

5 Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Wärme-Rückgewinnungs-Kreislaufs,

Fig. 2 eine Temperaturregelung mit Vorsteuerung und unterlagertem Massenstromregler,
10 und

Fig. 3 eine Anpassung des Massenstromreglers zur Massenstrommaximierung.

In Fig. 1 ist ein Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf 1 als Blockschaltbild dargestellt, wobei als
15 Arbeitsmedium Wasser/Dampf und als Heizmedium rückgeführtes Abgas AGR und nach einer Abgasnachbehandlung der Umgebung zugeführtes Abgas AG verwendet wird. Links von der strichlierten Linie (Pfeil 2) ist der flüssige Bereich des Kreislaufs und rechts von der strichlierten Linie (Pfeil 3) ist der dampfförmige Bereich des Kreislaufs dargestellt.

20 Von einem Vorratstank VR wird mit einer Speisepumpe SP das Arbeitsmedium über einen Verteiler VT mit zwei Strömungsleitungen über zugeordnete proportional Regelventile V1 und V2 durch einen AGR-Wärmetauscher (AGR-WT) und einen parallelen AG-Wärmetauscher (AG-WT) geleitet. Durch den AGR-Wärmetauscher wird im Gegenstrom AGR-Abgas und durch den AG-Wärmetauscher entsprechend AG-Abgas geleitet. Am Eintritt
25 werden sowohl die AGR-Eintrittstemperatur T1 des AGR-Abgases als auch die AG-Eintrittstemperatur T3 des AG-Abgases gemessen. Der AGR-WT und der AG-WT werden im eingefahrenen Betrieb als Verdampfer betrieben, wobei die die Dampfaustrittstemperaturen T2 und T4 sowie nach einer Zusammenführung die Dampftemperatur T5 erfasst werden. Zudem werden der Druck P0 nach der Speisepumpe sowie die Drücke P1 und P2 jeweils
30 nach den Proportionalregelventilen V1 und V2 sowie der Druck P6 vor einem Umschaltventil V3 erfasst. Bei geringem Druckverlust Δp über die Verdampfer (AGR-WT, AG-WT) reicht auch die Messung des Druckes P1 und/oder P2. Der Arbeitsmediumdampf wird im eingefahrenen Zustand mit dem Ventil V3 im Expanderbetrieb einer Expansionsmaschine E zugeführt und gelangt von dort in einen Kondensator K, in dem der Dampf zur Flüssigkeit abkühlt und
35 mittels einer Kondensator-Absaugpumpe KP und einem Filter F wieder dem Vorratstank VR

zugeführt wird. Wenn für einen Betrieb der Expansionsmaschine E insbesondere in einem Anfahrzustand noch nicht ausreichend Dampf vorliegt erfolgt eine Leitung über ein Drosselventil V4.

- 5 Der Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf 1 wird durch Variation des Arbeitsmediumdurchgangs durch die Proportionalregelventile V1, V2 geregelt und/oder gesteuert.

In Fig. 2 ist dazu ein Temperaturregler 4 mit unterlagertem Massenstrom-Regler (dm-Regler) 5 für das Arbeitsmedium als Dampfmedium dargestellt. Die Regelung ist hier für den AGR-WT dargestellt, wobei die gleiche Regelung auch für den AG-Zweig erforderlich ist. Am Eingang des Temperaturreglers erfolgt der Vergleich zwischen dem Dampftemperatur-Sollwert im AGR-Zweig und dem entsprechenden Dampftemperatur-Istwert, wobei eine Regelabweichung entsprechend dem geltenden Reglerverhalten als Stellsignal abgegeben wird. Dieses Stellsignal wird im unterlagerten Massenstrom-Regler 5 als Massenstrom-Sollwert für das Dampfmedium (dm_{sol}) verwendet für den Vergleich mit dem entsprechenden Massenstrom-Istwert (dm_{ist}), wobei entsprechend dem eingestellten Reglerverhalten (PI-Regler) der dm-Regler 5 ein Stellsignal an das AGR-Proportionalregelventil V1 abgibt.

Zur Verbesserung der Regelungsqualität wird hier zudem mit einer Vorsteuerung 6 der Massenstrom-Sollwert beeinflusst und korrigiert, wobei die Vorsteuerung 6 insbesondere auf Änderungen der Heizmedium-Seite (AGR) reagiert. Als Korrekturparameter sind dabei hier der Vorsteuerung neben dem Dampftemperatur-Sollwert die AGR-Eintrittstemperatur T_{AGR} entsprechend T1 aus Fig. 1 zugeführt. Weitere Korrekturparameter sind der Druck vor der Expansionsmaschine P_{dampf} (entsprechend P6 aus Fig. 1 oder zusätzlich unmittelbar vor der Expansionsmaschine E gemessen), sowie der AGR-Massenstrom dm_{AGR} , welcher beispielsweise mittels Werten aus der Motorsteuerung (EDC) berechnet wird.

In Fig. 3 ist der Massenstrom-Regler 5 (dm-Regler) aus Fig. 2 mit weiteren Einzelheiten detailliert dargestellt. Als Massenstrom-Regler 5 wird ein Proportional-Integral-Regler verwendet. Zur Maximierung des Dampfmedium-Massenstroms wird hier der Eingang des Integrators (I-Regler) mit einem Manipulationswert aus einer Massenstrom-Anpassungseinheit 9 beaufschlagt.

In Fig. 3 wird speziell die Massenstrom-Anpassung in der Regelung für den AG-Zweig mit dem AG-Wärmetauscher betrachtet (die Regelung im parallelen AGR-Zweig soll entsprechend ausgeführt werden).

- 5 Der Massenstrom-Anpassungseinheit 9 werden die gasseitige AG-Eintrittstemperatur T_{AG} sowie der Sollwert und Istwert des Arbeitsmediums für die AG-WT-Austrittstemperatur zugeführt. Weiter wird bei der Massenstromanpassung 9 der Massenstrom-Istwert für das Dampfmedium $\dot{m}_{ist}$ berücksichtigt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems (WRG-Systems) in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, insbesondere in einem Nutzfahrzeug,

mit einem Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf (1) als Arbeitskreislauf, der einen Vorratstank (VR) mit einem Arbeitsmedium aufweist, der über eine Speisepumpe (SP) mit wenigstens einem Regelventil (V1, V2) verbunden ist, dem jeweils ein Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) als Verdampfer zugeordnet ist, und der Arbeitskreislauf weiter eine dem wenigstens einen Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) nachgeschaltete Expansionsmaschine (E) aufweist, auf die ein Kondensator (K) mit einer Verbindung über eine Kondensatorabsaugpumpe (KP) zum Vorratstank (VR) folgt, wobei der wenigstens eine Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) sowohl von einem Arbeitsmedium-Massenstrom als auch von einem Heizmedium-Massenstrom einer Wärmequelle durchströmt wird, dergestalt dass nach einem Aufwärmvorgang (flüssiger Zustand des Arbeitsmediums) und einem anschließenden Verdampfungsprozess (Arbeitsmedium teilweise flüssig und teilweise dampfförmig) in einem Überhitzungsprozess (Arbeitsmedium dampfförmig über der Sattdampf temperatur) Arbeitsmedium-Dampf nach einer Umschaltung auf Expanderbetrieb der Expansionsmaschine (E) zu deren Antrieb zugeführt wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass bei durch den Fahrzeugbetrieb vorgegebenem Heizmedium-Massenstrom und vorgegebener Heizmedium-Temperatur auf einen vorbestimmten Dampftemperatur-Sollwert und/oder Phasenzustand für das Arbeitsmedium durch Variation des Arbeitsmedium-Massenstroms durch den wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer (AGR-WT, AG-WT) mittels Verstellung des Regelventildurchgangs (V1, V2) geregelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsmedium-Massenstrom-Istwert durch das wenigstens eine Regelventil (V1, V2) mit Hilfe des Ventilkennfelds unter Berücksichtigung der aktuellen Ventilstellung, des aktuellen Druckabfalls über dem Regelventil (V1, V2) und der aktuellen Arbeitsmedium-Temperatur am Regelventil (V1, V2) berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Regelventil (V1, V2) ein Proportional-Regelventil ist, welches über ein pulsweitenmoduliertes Signal (PWM-Signal) angesteuert wird.
- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem wenigstens einen Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) mittels eines Umschaltventils (V3) ein direkter Strömungsweg zur Expansionsmaschine (E) oder ein Strömungsweg über ein Drosselventil (V4) schaltbar ist, wobei das Arbeitsmedium beim
- 10 und gasförmigem Arbeitsmedium über den Drosselventil-Strömungsweg und erst beim Erreichen einer bestimmten Überhitzungstemperatur über der Sattdampftemperatur durch Umschalten auf den Expanderbetrieb direkt zur Expansionsmaschine (E) geleitet wird.
- 15 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Expanderbetrieb dem auf einen optimalen Dampftemperatur-Sollwert des Arbeitsmediums regelnden Arbeitsmedium-Temperaturregler (4) ein Arbeitsmedium-Massenstromregler (dm-Regler 5) unterlagert ist, wobei der Arbeitsmedium-Temperaturregler-Ausgangswert als Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert (dm_{soll})
- 20 am Eingang des unterlagerten Arbeitsmedium-Massenstrom-Reglers (dm-Regler 5) anliegt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert (dm_{soll}) zusätzlich durch eine Vorsteuerung (6) korrigiert wird,
- 25 die auf Änderungen der Heizmediumseite reagiert, wobei als Korrekturparameter insbesondere der Heizmedium-Massenstrom (dm_{AGR}) und/oder die Heizmedium-Eintrittstemperatur (T_{AGR}) am Wärmetauscher (AGR-WT) und/oder der Arbeitsmedium-Druck (P_{Dampf}) vor der Expansionsmaschine (E) in der Vorsteuerung (6) für eine Korrektur ausgewertet werden.
- 30 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Arbeitsmedium-Massenstrom-Regler (5) ein Proportional-Integral-Regler (PI-Regler) oder Proportional-Integral-Differential-Regler (PID)-Regler verwendet ist, und

5

15

20

25

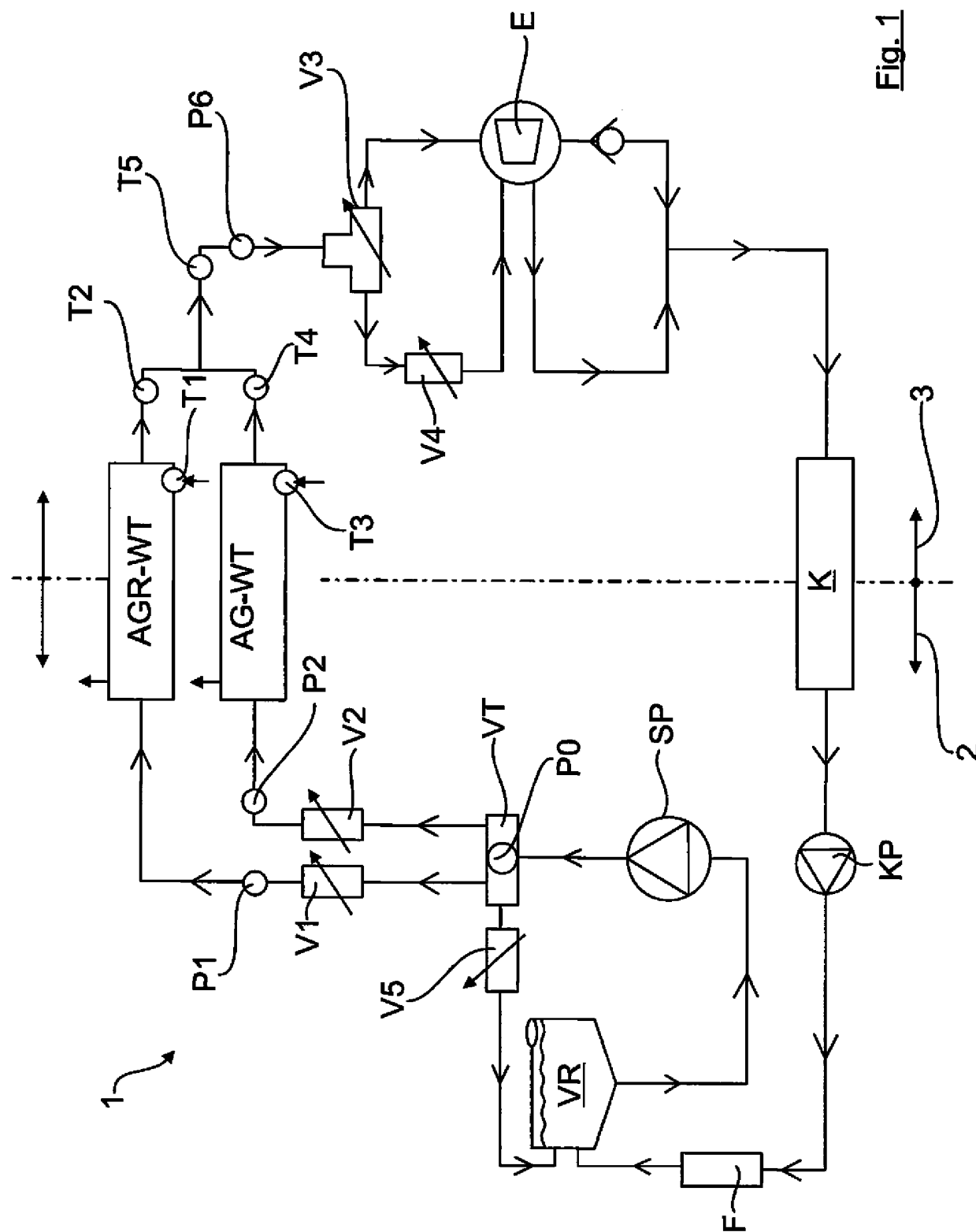
30

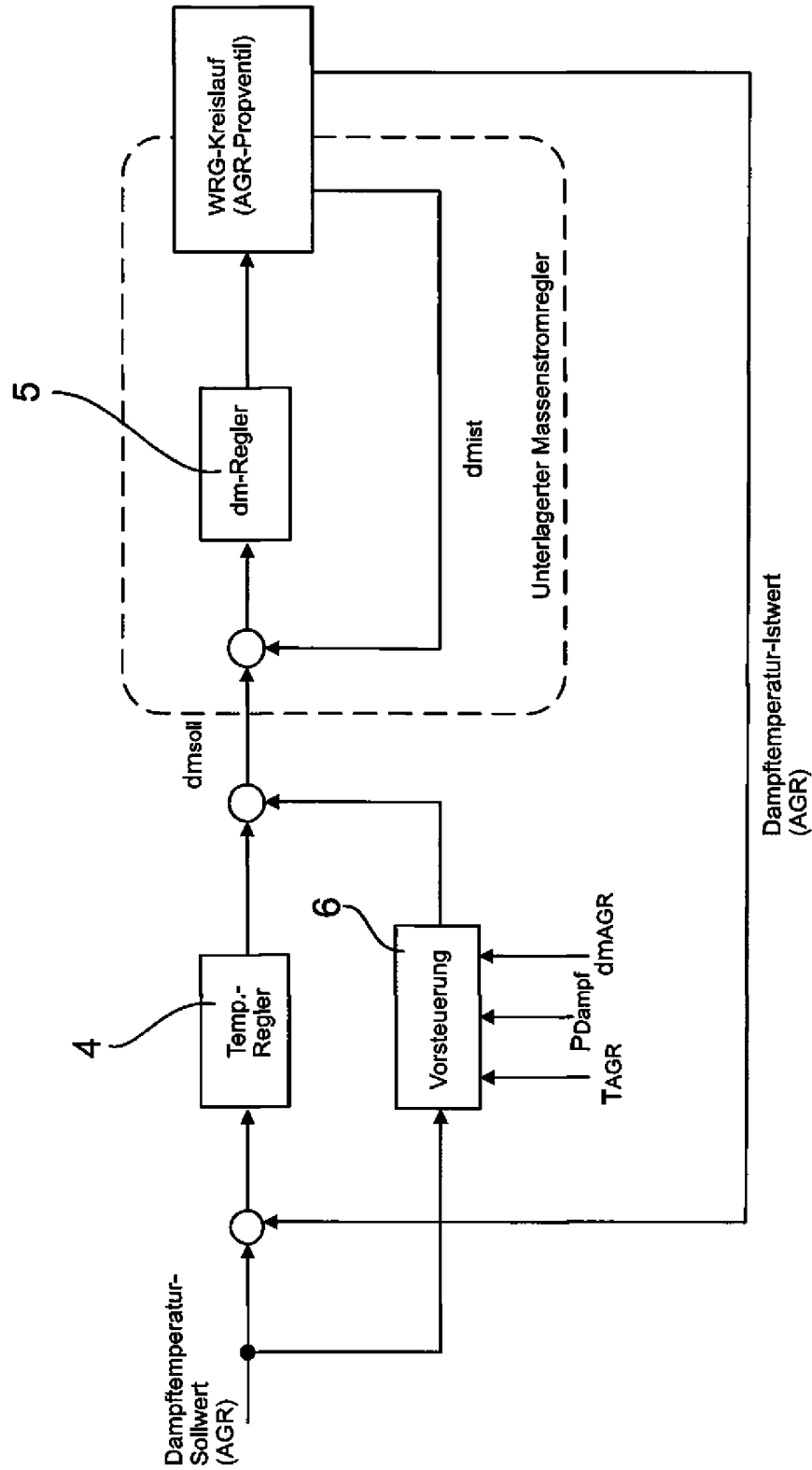
c) Überhitzungsprozess

Die Arbeitsmedium-Dampftemperatur wird temperaturgeregelt über die Satteldampftemperatur bis zu der für den Expanderbetrieb vorgegebenen Arbeitsmedium-Dampftemperatur erhöht.

d) Expanderbetrieb

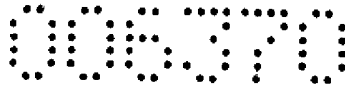
- 5 Es erfolgt eine Umschaltung auf den Expanderbetrieb in Verbindung mit einer Regelung entsprechend der Ansprüche 1 bis 8.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Heizmedium ein nach einer Abgasnachbehandlung der Umgebung zugeführtes Abgas (AG) und rückgeführtes Abgas (AGR) aus einer Fahrzeugbrennkraftmaschine ist, wobei beiden Abgasarten (AG und AGR) jeweils ein eigener Wärmetauscher (AG-WT und AGR-WT) mit jeweils vorgeschalteten Regelventilen (V1 und V2) und einer jeweils darauf wirkenden Regelung zugeordnet ist.
- 10
- 15 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Massenstrom für das rückgeführte Abgas (AGR-Massenstrom) aus dem vom Motorsteuergerät (EDC) berechneten Ansaugluft-Massenstrom abgeleitet wird.





TAGR AGR-Eintrittstemperatur
 P_{Dampf} Druck vor Expansionsmaschine
 dm_{AGR} AGR-Massenstrom (aus EDC mit ETK)
 dm_{soll} Massenstrom-Sollwert (Dampfmedium)
 dm_{ist} Massenstrom-Istwert (Dampfmedium)

Fig. 2



Neue Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems (WRG-Systems) in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, insbesondere in einem
5 Nutzfahrzeug,
mit einem Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf (1) als Arbeitskreislauf, mit einem Arbeitsmedium, mit einer Speisepumpe (SP) und mit wenigstens einem Regelventil (V1, V2), dem jeweils ein Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) als Verdampfer zugeordnet ist, und der Arbeitskreislauf weiter eine dem wenigstens einen
10 Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) nachgeschaltete Expansionsmaschine (E) aufweist, auf die ein Kondensator (K) mit einer Verbindung über eine Kondensatorabsaugpumpe (KP) zu einem Vorratstank (VR) mit Arbeitsmedium folgt, wobei der wenigstens eine Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) sowohl von einem Arbeitsmedium-Massenstrom als auch von einem Heizmedium-Massenstrom
15 einer Wärmequelle durchströmt wird, dergestalt dass nach einem Aufwärmvorgang (flüssiger Zustand des Arbeitsmediums) und einem anschließenden Verdampfungsprozess (Arbeitsmedium teilweise flüssig und teilweise dampfförmig) in einem Überhitzungsprozess (Arbeitsmedium dampfförmig über der Sattdampf-
20 temperatur) Arbeitsmedium-Dampf nach einer Umschaltung auf Expanderbetrieb der Expansionsmaschine (E) zu deren Antrieb zugeführt wird, wobei der Arbeitsmedium-Massenstrom bei durch den Fahrzeugbetrieb vorgegebenem Heizmedium-Massenstrom und vorgegebener Heizmedium-Temperatur auf einen vorbestimmten Dampftemperatur-Sollwert und/oder
25 Phasenzustand für das Arbeitsmedium durch Variation des Arbeitsmedium-Massenstroms durch den wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer (AGR-WT, AG-WT) mittels Verstellung des Regelventildurchgangs (V1, V2) geregelt wird,

dadurch gekennzeichnet,

- 30 dass im Expanderbetrieb einem auf einen optimalen Dampftemperatur-Sollwert des Arbeitsmediums regelnden Arbeitsmedium-Temperaturregler (4) ein Arbeitsmedium-Massenstromregler (dm-Regler 5) unterlagert ist, wobei der Arbeitsmedium-Temperaturregler-Ausgangswert als Arbeitsmedium-Massenstrom-

Sollwert (dm_{soll}) am Eingang des unterlagerten Arbeitsmedium-Massenstrom-Reglers (dm-Regler 5) anliegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsmedium-Massenstrom-Istwert durch das wenigstens eine Regelventil (V1, V2) mit Hilfe des Ventilkennfelds unter Berücksichtigung der aktuellen Ventilstellung, des aktuellen Druckabfalls über dem Regelventil (V1, V2) und der aktuellen Arbeitsmedium-Temperatur am Regelventil (V1, V2) berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Regelventil (V1, V2) ein Proportional-Regelventil ist, welches über ein pulsweitenmoduliertes Signal (PWM-Signal) angesteuert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert (dm_{soll}) zusätzlich durch eine Vorsteuerung (6) korrigiert wird, die auf Änderungen der Heizmediumseite reagiert, wobei als Korrekturparameter insbesondere der Heizmedium-Massenstrom (dm_{AGR}) und/oder die Heizmedium-Eintrittstemperatur (T_{AGR}) am Wärmetauscher (AGR-WT) und/oder der Arbeitsmedium-Druck (P_{Dampf}) vor der Expansionsmaschine (E) in der Vorsteuerung (6) für eine Korrektur ausgewertet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Arbeitsmedium-Massenstrom-Regler (5) ein Proportional-Integral-Regler (PI-Regler) oder Proportional-Integral-Differential-Regler (PID)-Regler verwendet ist, und dass zur Arbeitsmedium-Massenstrom-Maximierung der Eingang des Integrators (8) des PI-Reglers oder PID-Reglers zusätzlich mit einem Manipulationswert beaufschlagt wird, der abhängig von der Heizmedium-Temperatur (T_{AG}) am Wärmetauschereingang, der aktuellen Arbeitsmedium-Dampftemperatur ($T_{\text{AG-Medium,ist}}$) nach dem Wärmeauscher (AG-WT) und vom aktuellen Arbeitsmediumdampf-Massenstrom (dm_{ist}) gesteuert wird, dergestalt

dass beim Erreichen einer optimalen Arbeitsmedium-Dampftemperatur nahe an der Heizmedium-Temperatur am Wärmetauschereingang und bei einem relativ kleinen Arbeitsmedium-Massenstrom ein positiver Manipulationswert generiert wird.

5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandtemperaturen am wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer (AGR-WT, AG-WT) gemessen werden, um gegebenenfalls schnell eine Flüssigkeits-/Dampfgrenze zu ermitteln und einem Absinken der Arbeitsmedium-Austrittstemperatur unter die Sattdampftemperatur schnell entgegenzuwirken.

10

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem wenigstens einen Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) mittels eines Umschaltventils (V3) ein direkter Strömungsweg zur Expansionsmaschine (E) oder ein Strömungsweg über ein Drosselventil (V4) schaltbar ist, wobei das Arbeitsmedium beim Aufwärmvorgang und anschließenden Verdampfungsprozess mit teilweise flüssigem und gasförmigem Arbeitsmedium über den Drosselventil-Strömungsweg und erst beim Erreichen einer bestimmten Überhitzungstemperatur über der Sattdampftemperatur durch Umschalten auf den Expanderbetrieb direkt zur Expansionsmaschine (E) geleitet wird.

20

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Erreichen eines eingeregelter Expanderbetriebs folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:

a) Aufwärmvorgang

25

Der Aufwärmvorgang erfolgt temperaturbasiert und temperaturgeregelt, indem die Arbeitsmedium-Solltemperatur stufenweise oder kontinuierlich je nach der Heizmedium-Eintrittstemperatur am Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) und dem Heizmedium-Massenstrom bis zur Sattdampftemperatur erhöht wird.

b) Verdampfungsprozess

30

Im Verdampfungsprozess ist das Arbeitsmedium nach dem Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) gasförmig und flüssig mit der Sattdampftemperatur und beim Erreichen der Sattdampftemperatur wird auf eine Arbeitsmedium-Massenstrom-Regelung umgeschaltet, wobei durch Absenken des

Arbeitsmedium-Massenstroms mittels des Regelventils (V1, V2) eine Temperaturerhöhung erfolgt, der 2-phasen Zustand verlassen wird und der Überhitzungsprozess erreicht wird.

c) Überhitzungsprozess

5 Die Arbeitsmedium-Dampftemperatur wird temperaturgeregelt über die Sattdampftemperatur bis zu der für den Expanderbetrieb vorgegebenen Arbeitsmedium-Dampftemperatur erhöht.

d) Expanderbetrieb

10 Es erfolgt eine Umschaltung auf den Expanderbetrieb in Verbindung mit einer Regelung entsprechend der Ansprüche 1 bis 7.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Heizmedium ein nach einer Abgasnachbehandlung der Umgebung zugeführtes Abgas (AG) und rückgeführtes Abgas (AGR) aus einer Fahrzeugbrennkraftmaschine ist, wobei beiden Abgasarten (AG und AGR) jeweils ein eigener Wärmetauscher (AG-WT und AGR-WT) mit jeweils vorgeschalteten Regelventilen (V1 und V2) und einer jeweils darauf wirkenden Regelung zugeordnet ist.

20 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Massenstrom für das rückgeführte Abgas (AGR-Massenstrom) aus dem vom Motorsteuergerät (EDC) berechneten Ansaugluft-Massenstrom abgeleitet wird.