



(11)

**EP 2 693 001 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**02.08.2017 Patentblatt 2017/31**

(51) Int Cl.:  
**F01K 23/06** <sup>(2006.01)</sup> **F01K 23/10** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **13001382.4**

(22) Anmeldetag: **18.03.2013**

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

Method for regulating a heat recovery system in a motor vehicle

Procédé de réglage d'un système de récupération de chaleur dans un véhicule automobile

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **31.07.2012 AT 8472012**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**05.02.2014 Patentblatt 2014/06**

(73) Patentinhaber: **MAN Truck & Bus Österreich AG  
4400 Steyr (AT)**

(72) Erfinder:  
• **Kreuzriegler, André  
4462 Reichraming (AT)**

• **Raab, Gottfried  
4320 Perg (AT)**  
• **Klammer, Josef  
4451 Garsten (AT)**

(74) Vertreter: **Liebl, Thomas et al  
Neubauer - Liebl - Bierschneider  
Patentanwälte  
Münchener Straße 49  
85051 Ingolstadt (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 1 323 990 EP-A1- 1 431 523  
EP-A1- 1 443 183 EP-A1- 2 280 152  
EP-A1- 2 357 349 WO-A1-2012/009526  
WO-A1-2013/007530 DE-A1-102011 084 352**

**EP 2 693 001 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 Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems (WRG-System) in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor, insbesondere in einem Nutzfahrzeug.

**[0002]** 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 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 (Arbeitsmedium teilweise flüssig und teilweise dampfförmig) folgt ein Überhitzungsprozess (Arbeitsmedium dampfförmig über Satteldampf-temperatur), wobei nach einer Umschaltung auf Expanderbetrieb der Arbeitsmedium-Dampf der Expansionsmaschine zu deren Antrieb zugeführt wird.

**[0003]** 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 dem Verbrennungsmotor zugeführt, so dass der Gesamtwirkungsgrad gesteigert werden kann.

**[0004]** Die EP 1 431 523 A1 offenbart ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungssystems, in dem die Stellgröße für einen Aktuator in Abhängigkeit von der Dampfenthalpie bestimmt wird, sodass es sich hier um eine temperaturbasierte Regelung handelt.

**[0005]** Die EP 1 323 990 A1 offenbart ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungssystems, in dem der Arbeitsmedium-Massenstrom in Abhängigkeit von dem Unterschied zwischen dem Arbeitsmedium-Temperatur-Istwert und dem Arbeitsmedium-Sollwert geregelt wird, sodass es sich auch hier um eine temperaturbasierte Regelung handelt.

**[0006]** Die EP 1 443 183 A1 offenbart ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungssystems, in dem ein Soll-Dampfmassenstrom zum Erzielen einer Dampf-Solltemperatur aus der Energie des Abgases errechnet wird, und in den Dampfmassenstrom in Abhängigkeit von dem Unterschied zwischen dem Arbeitsmedium-Temperatur-Istwert und dem Arbeitsmedium-Soll-

wert geregelt wird, sodass es sich auch hier um eine temperaturbasierte Regelung handelt.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Regelung eines Wärme-Rückgewinnungs-Systems vorzuschlagen, mit dem ein wirkungsgradoptimaler und sicherer Betrieb eines solchen Systems durchführbar ist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0009]** Gemäß Anspruch 1 ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass im Expanderbetrieb einem auf einen optimalen Dampf-temperatur-Sollwert des Arbeitsmediums regelnden Arbeitsmedium-Temperaturregler ein Arbeitsmedium-Massenstromregler unterlagert ist, wobei der Arbeitsmedium-Temperaturregler-Ausgangswert als Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert am Eingang des unterlagerten Arbeitsmedium-Massenstrom-Reglers anliegt. Damit kann vorteilhaft schneller auf Veränderungen im Vergleich mit einer reinen, relativ trägen Temperaturregelung reagiert werden.

**[0010]** Um die voll von den Wärmequellen am Verbrennungsmotor im Heizmedium-Massenstrom zur Verfügung stehende Heizenergie auszunützen wird durch Regelung des Arbeitsmedium-Massenstroms die Temperatur und insbesondere im Verdampfungsprozess der Phasenzustand des Arbeitsmediums geregelt.

**[0011]** 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 pulsweiten-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.

**[0012]** 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.

**[0013]** 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 im anschließenden Verdampfungsprozess nur Dampf zusammen mit Flüssigkeit zur Verfügung wird das Arbeitsmedium über den Drosselventil-Strömungsweg geleitet. Erst beim Erreichen einer bestimmten Überhitzungstemperatur über der Sattdampftemperatur wird das Arbeitsmedium durch Umschalten auf den Expanderbetrieb direkt zur Expansionsmaschine geleitet. Im Kondensator wird dann der übrige Arbeitsmedium-Dampf wieder in den flüssigen Zustand versetzt und weiter über die Kondensator-Absaugpumpe und einen Filter zurück zum Vorratstank transportiert.

**[0014]** Eine weitere Verbesserung der Regelungsqualität bezüglich des Ansprech- und Einschwingverhaltens wird dadurch erreicht, dass der Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert zusätzlich durch eine Vorsteuerung korrigiert wird, die auf Änderungen der Heizmedium-Seite reagiert, wobei als Korrekturparameter insbesondere der Heizmedium-Massenstrom und/oder die Heizmedium-Eintrittstemperatur am Wärmetauscher und/oder der Arbeitsmedium-Druck vor der Expansionsmaschine in einer solchen Vorsteuerung für eine Korrektur ausgewertet werden. Bei mehreren Wärmetauscher/Verdampfern ist die vorstehende Temperaturregelung mit unterlagertem Arbeitsmedium-Massenstromregler und gegebenenfalls der Vorsteuerung jeweils für jeden Wärmetauscher separat durchzuführen.

**[0015]** Eine weitere Steigerung der Effektivität wird erreicht, wenn als Arbeitsmedium-Massenstrom-Regler ein Proportional-Integral-Regler (PI-Regler) oder Proportional-Integral-Differenzial-Regler (PID-Regler) verwendet wird und der dortige Integrator je nach den Gegebenheiten mit einem zusätzlichen Manipulationswert beaufschlagt wird, wodurch eine Arbeitsmedium-Massenstrom-Maximierung möglich ist.

**[0016]** Dies wird im Folgenden an einem Beispiel erläutert, wenn als Heizmedium Abgas verwendet wird: da die Abgastemperatur dann am Abgas-Wärmetauscher in jedem möglichen Betriebszustand kleiner als die maximale Bauteiltemperatur ist, wird praktisch immer eine möglichst 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.

**[0017]** Ein weiterer schneller Eingriff in die Regelung kann gegebenenfalls dadurch erreicht werden, dass Wandtemperaturen am Wärmetauscherverdampfer gemessen werden, um gegebenenfalls schnell eine Flüssigkeits-/Dampfgränze 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-/Dampfgränze kann die Wandtemperatur in der Nähe des Medieneintritts, in der Mitte zwischen Medieneintritt und Mediaustritt sowie in der Nähe des Mediaustritts 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.

**[0018]** Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf einen eingeregelteten 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:

a) Aufwärmvorgang (Arbeitsmedium flüssig)

**[0019]** Der Aufwärmvorgang erfolgt temperaturbasiert und temperaturgeregelt, indem die Arbeitsmedium-Solltemperatur stufenweise oder kontinuierlich je nach der Heizmedium-Eintrittstemperatur am Wärmetauscher und dem Heizmedium-Massenstrom bis zur Sattdampftemperatur erhöht wird.

b) Verdampfungsprozess

**[0020]** Im Verdampfungsprozess ist das Arbeitsmedi-

um (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.

#### c) Überhitzungsprozess

**[0021]** Die Arbeitsmedien-Dampftemperatur wird über die Sattdampftemperatur temperaturgeregelt bis zu der für den Expanderbetrieb vorgegebenen Arbeitsmedium-Dampftemperatur erhöht.

#### d) Expanderbetrieb

**[0022]** Es erfolgt eine Umschaltung auf den Expanderbetrieb in Verbindung mit einer Regelung, wie sie vorstehend in Verbindung mit dem Expanderbetrieb erläutert wurde.

**[0023]** 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 ein Ladeluft in einem Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf verwendet, sind die vorstehenden Verfahren zur Regelung entsprechend und dem jeweiligen Heizmedium angepasst zu verwenden.

**[0024]** 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:

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

$dm_{air, th}$ ... theoretischer Luftmassenstrom  
 $sf_{NP}$ ... Liefergrad bei geschlossener AGR-Klappe  
 $dm_{AGR}$ ... AGR-Massenstrom

**[0025]** Anhand einer Zeichnung wird ein Verfahren zur Regelung mit Abgas als Heizmedium weiter erläutert.

**[0026]** Es zeigen:

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

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

Fig. 3 eine Anpassung des Massenstromreglers zur Massenstrommaximierung.

**[0027]** In Fig. 1 ist ein Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf 1 als Blockschaltbild dargestellt, wobei als 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.

**[0028]** 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 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 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 nach den Proportionalregelventilen V1 und V2 sowie der Druck P6 vor einem Umschaltventil V3 erfasst. Bei geringem Druckverlust  $\Delta p$  über die Verdamp-

fer (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 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.

**[0029]** Der Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf 1 wird durch Variation des Arbeitsmediumdurchgangs durch die Proportionalregelventile V1, V2 geregelt und/oder gesteuert.

**[0030]** 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 ( $dm_{soll}$ ) 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.

**[0031]** 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.

**[0032]** 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.

**[0033]** 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).

**[0034]** Der Massenstrom-Anpassungseinheit 9 wer-

den 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  $dm_{ist}$  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 mit einem Arbeitsmedium, 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) 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 Sattdampftemperatur) 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 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,** **dass** der Arbeitskreislauf einen Vorratstank (VR) mit Arbeitsmedium aufweist, wobei auf die Expansionsmaschine (E) ein Kondensator (K) mit einer Verbindung über eine Kondensatorabsaugpumpe (KP) zum Vorratstank (VR) folgt, und dass im Expanderbetrieb dem auf einen optimalen Dampftemperatur-Sollwert des Arbeitsmediums regelnden Arbeitsmedium-Temperaturregler (4) ein Arbeitsmedium-Massenstromregler (5) unterlagert ist, wobei der Arbeitsmedium-Temperaturregler-Ausgangswert als Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert ( $dm_{soll}$ ) am Eingang des unterlagerten Arbeitsmedium-Massenstrom-Reglers (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. 5
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das wenigstens eine Regelventil (V1, V2) ein Proportional-Regelventil ist, welches über ein pulsweiten-moduliertes Signal (PWM-Signal) angesteuert wird. 10
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 Aufwärmvorgang und anschließenden Verdampfungsprozess mit teilweise flüssigem und gasförmigem Arbeitsmedium über den Drosselventil-Strömungsweg und erst beim Erreichen einer bestimmten Überhitzungstemperatur über der Sattedampftemperatur durch Umschalten auf den Expanderbetrieb direkt zur Expansionsmaschine (E) geleitet wird. 20 25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitsmedium-Massenstrom-Sollwert ( $\dot{m}_{\text{soll}}$ ) zusätzlich durch eine Vorsteuerung (6) korrigiert wird, die auf Änderungen der Heizmediumseite reagiert, wobei als Korrekturparameter insbesondere der Heizmedium-Massenstrom ( $\dot{m}_{\text{AGR}}$ ) und/oder die Heizmedium-Eintrittstemperatur ( $T_{\text{AGR}}$ ) am Wärmetauscher (AGR-WT) und/oder der Arbeitsmedium-Druck ( $P_{\text{Dampf}}$ ) vor der Expansionsmaschine (E) in der Vorsteuerung (6) für eine Korrektur ausgewertet werden. 30 35 40
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **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 ( $T_{\text{AG}}$ ) am Wärmetauschereingang, der aktuellen Arbeitsmedium-Dampftemperatur ( $T_{\text{AG-Medium,ist}}$ ) nach dem Wärmeauscher (AG-WT) und vom aktuellen Arbeitsmediumdampf-Massenstrom ( $\dot{m}_{\text{ist}}$ ) gesteuert wird, dergestalt **dass** beim Erreichen einer optimalen Arbeitsmedi- 45 50 55
- um-Dampftemperatur nahe an der Heizmedium-Temperatur am Wärmetauschereingang und bei einem relativ kleinen Arbeitsmedium-Massenstrom ein positiver Manipulationswert generiert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wandtemperaturen am wenigstens einen Wärmetauscher/Verdampfer (AGR-WT, AG-WT) gemessen werden, um gegebenenfalls schnell eine Flüssigkeits-/Dampf-grenze zu ermitteln und einem Absinken der Arbeitsmedium-Austrittstemperatur unter die Sattedampftemperatur schnell entgegenwirken zu können.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Erreichen eines eingeregelter Expanderbetriebs folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:
  - a) Aufwärmvorgang  
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 Sattedampftemperatur erhöht wird.
  - b) Verdampfungsprozess  
Im Verdampfungsprozess ist das Arbeitsmedium nach dem Wärmetauscher (AGR-WT, AG-WT) gasförmig und flüssig mit der Sattedampftemperatur und beim Erreichen der Sattedampftemperatur 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  
Die Arbeitsmedium-Dampftemperatur wird temperaturgeregelt über die Sattedampftemperatur bis zu der für den Expanderbetrieb vorgegebenen Arbeitsmedium-Dampftemperatur erhöht.
  - d) Expanderbetrieb  
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.

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.

## Claims

1. A method for controlling a heat recovery system (HR system) in a motor vehicle having an internal combustion engine, in particular in a commercial vehicle, having a heat recovery circuit (1) as a working circuit containing a working medium, which is connected via a feed pump (FP) to at least one control valve (V1, V2), to each of which a heat exchanger (EGR-HE, EG-HE) is assigned as an evaporator, and the working circuit furthermore has an expansion machine (E), which is connected downstream of the at least one heat exchanger (EGR-HE, EG-HE) and which is followed by a condenser (C), wherein the at least one heat exchanger (EGR-HE, EG-HE) receives both a mass flow of working medium and a mass flow of heating medium from a heat source, such that, after a warm-up operation (liquid state of the working medium) and a subsequent evaporation process (working medium partially liquid and partially in the form of steam), working medium steam is fed in a superheating process (working medium in the form of steam above the saturated steam temperature), after a switch to expander mode, to the expansion machine (E) in order to drive the latter, wherein the mass flow of working medium, with a mass flow of heating medium determined by the operation of the vehicle and a specified heating medium temperature, is regulated to a predetermined steam temperature setpoint and/or phase state for the working medium by variation of the mass flow of working medium through the at least one heat exchanger/evaporator (EGR-HE, EG-HE) by means of adjustment of the control valve flow rate (V1, V2), **characterized in that** the working circuit has a storage tank (ST) containing working medium, wherein the expansion machine (E) is followed by a condenser (C) having a connection via a condenser suction pump (CP) to the storage tank (ST), and **in that**, in the expander mode, a mass flow controller for the working medium (5) is subordinated to the working medium temperature controller (4), which regulates to an optimum steam temperature setpoint of the working medium, wherein the working medium temperature controller output value is applied as a setpoint ( $dm_{\text{setpoint}}$ ) for the mass flow of working medium to the input of the subordinated mass flow controller for the working medium (5).

2. The method according to Claim 1, **characterized in that** the actual value of the mass flow of working medium through the at least one control valve (V1, V2) is calculated with the aid of the valve characteristic map, taking into account the current valve position, the current pressure drop across the control valve (V1, V2) and the current working medium temperature at the control valve (V1, V2).
3. The method according to Claim 2, **characterized in that** the at least one control valve (V1, V2) is a proportional control valve which is driven by means of a pulse width modulated signal (PWM signal).
4. The method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that**, downstream of the at least one heat exchanger (EGR-HE, EG-HE), a direct flow path to the expansion machine (E) or a flow path via a throttle valve (V4) can be selected by means of a changeover valve (V3), wherein, during the warm-up operation and the subsequent evaporation process, the working medium is passed as a partially liquid and partially gaseous working medium via the throttle valve flow path, and is passed directly to the expansion machine (E) by switching over to the expander mode only when a particular superheat temperature above the saturated steam temperature is reached.
5. The method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the setpoint ( $dm_{\text{setpoint}}$ ) for the mass flow of working medium is additionally corrected by a feedforward controller (6) which responds to changes on the heating medium side, wherein the mass flow of heating medium ( $dm_{\text{EGR}}$ ) and/or the heating medium inlet temperature ( $T_{\text{EGR}}$ ) at the heat exchanger (EGR-HE) and/or the working medium pressure ( $P_{\text{steam}}$ ) upstream of the expansion machine (E), in particular, are evaluated as correction parameters for a correction in the feedforward controller (6).
6. The method according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** a proportional-integral controller (PI controller) or a proportional-integral-differential controller (PID controller) is used as a mass flow controller for the working medium (5), and, to maximize the mass flow of working medium, the input of the integrator (8) of the PI controller or PID controller is additionally supplied with a manipulation value, which is controlled in accordance with the heating medium temperature ( $T_{\text{EG}}$ ) at the heat exchanger inlet, the current working medium steam temperature ( $T_{\text{EG-medium,actual}}$ ) downstream of the heat exchanger (EG-HE) and the current mass flow of working medium steam ( $dm_{\text{actual}}$ ), such that a positive manipulation value is generated when an optimum working medium steam temperature close

to the heating medium temperature at the heat exchanger inlet is reached and the mass flow of working medium is relatively low.

7. The method according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the wall temperatures at the at least one heat exchanger/evaporator (EGR-HE, EG-HE) are measured in order, if appropriate, to be able to quickly determine a liquid/steam boundary and to quickly counteract a drop in the working medium outlet temperature below the saturated steam temperature.

8. The method according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that**, to reach a set expander mode, the following method steps are carried out:

a) Warm-up operation

The warm-up operation takes place in a temperature-based and temperature-controlled manner by increasing the working medium setpoint temperature up to the saturated steam temperature in stages or continuously, depending on the heating medium inlet temperature at the heat exchanger (EGR-HE, EG-HE) and the mass flow of heating medium.

b) Evaporation process

In the evaporation process, the working medium downstream of the heat exchanger (EGR-HE, EG-HE) is gaseous and liquid with the saturated steam temperature and, when the saturated steam temperature is reached, a switch is made to feedback control of the mass flow of working medium, in which a temperature increase is brought about, the 2-phase state ceases and the superheating process is reached, by lowering the mass flow of working medium by means of the control valve (V1, V2).

c) Superheating process

The working medium steam temperature is increased in a temperature-controlled manner beyond the saturated steam temperature and up to the working medium steam temperature specified for the expander mode.

d) Expander mode

The system switches over to the expander mode in combination with feedback control in accordance with Claims 1 to 7.

9. The method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the heating medium is exhaust gas (EG) fed into the environment after an exhaust gas aftertreatment and recirculated exhaust gas (EGR) from a vehicle combustion engine, wherein the two types of exhaust gas (EG and EGR) are each assigned a dedicated heat exchanger (EG-HE and EGR-HE), each having upstream control valves (V1

and V2) and a feedback control system acting thereon.

10. The method according to Claim 9, **characterized in that** the mass flow for the recirculated exhaust gas (EGR mass flow) is derived from the intake air mass flow calculated by the engine control unit (EDC).

## 10 Revendications

1. Procédé de régulation d'un système de récupération de chaleur (système WRG) dans un véhicule automobile équipé d'un moteur à combustion interne, notamment un véhicule utilitaire, comprenant un circuit de récupération de chaleur (1) faisant office de circuit de travail avec un fluide de travail, lequel est relié par le biais d'une pompe d'alimentation (SP) à au moins une vanne de régulation (V1, V2), à laquelle est respectivement associé un échangeur de chaleur (AGR-WT, AG-WT) faisant office d'évaporateur, et le circuit de travail possédant en outre une machine d'expansion (E) branchée en aval de l'au moins un échangeur de chaleur (AGR-WT, AG-WT), laquelle est suivie par un condenseur (K), l'au moins un échangeur de chaleur (AGR-WT, AG-WT) étant traversé à la fois par un débit massique de fluide de travail et par un débit massique de fluide de chauffage d'une source de chaleur, de telle sorte qu'après une opération de réchauffage (état liquide du fluide de travail) et ensuite un processus d'évaporation (fluide de travail partiellement liquide et partiellement sous forme de vapeur), dans un processus de surchauffe (fluide de travail sous forme de vapeur au-dessus de la température de la vapeur saturée), de la vapeur de fluide de travail est acheminée à la machine d'expansion (E) en vue de son entraînement après un basculement en mode expenseur, le débit massique du fluide de travail, avec le débit massique de fluide de chauffage prédéfini par le fonctionnement du véhicule et la température prédéfinie du fluide de chauffage, étant régulé à une température de consigne de vapeur et/ou un état de phase prédéterminés pour le fluide de travail en faisant varier le débit massique du fluide de travail à travers l'au moins un échangeur de chaleur/évaporateur (AGR-WT, AG-WT) au moyen d'un réglage du passage de la vanne de régulation (V1, V2), **caractérisé en ce que** le circuit de travail possède un réservoir (VR) de fluide de travail, la machine d'expansion (E) étant suivie par un condenseur (K) pourvu d'une liaison vers le réservoir (VR) par le biais d'une pompe d'aspiration de condenseur (KP), et **en ce que** qu'en mode expenseur, un régulateur de débit massique de fluide de travail (5) est subordonné au régulateur de température de fluide de travail (4) qui régule le fluide de travail à une température de consigne optimale



- de la vapeur, la valeur de sortie du régulateur de température de fluide de travail étant appliquée en tant que valeur de consigne du débit massique du fluide de travail ( $dm_{soll}$ ) à l'entrée du régulateur de débit massique de fluide de travail (5) subordonné. 5
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la valeur réelle du débit massique du fluide de travail à travers l'au moins une vanne de régulation ( $V1$ ,  $V2$ ) est calculée à l'aide du diagramme caractéristique de la vanne en tenant compte de la position actuelle de la vanne, de la chute de tension de part et d'autre de la vanne de régulation ( $V1$ ,  $V2$ ) et de la température actuelle du fluide de travail au niveau de la vanne de régulation ( $V1$ ,  $V2$ ). 10 15
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**au moins une vanne de régulation ( $V1$ ,  $V2$ ) est une vanne de régulation proportionnelle qui est commandée par le biais d'un signal modulé en largeur d'impulsion (signal PWM). 20
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**un trajet d'écoulement direct vers la machine d'expansion (E) ou un trajet d'écoulement par le biais d'une vanne d'étranglement ( $V4$ ) peut être commuté après l'au moins un échangeur de chaleur (AGR-WT, AG-WT) au moyen d'une vanne d'inversion ( $V3$ ), le fluide de travail, lors de l'opération de réchauffage et ensuite du processus d'évaporation avec le fluide de travail partiellement liquide et gazeux, est acheminé à la machine d'expansion (E) par le biais du trajet d'écoulement à vanne d'étranglement, et ne lui est acheminé directement qu'après avoir atteint une température de surchauffe donnée supérieure à la température de la vapeur saturée par basculement en mode expanseur. 25 30 35
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la valeur de consigne du débit massique du fluide de travail ( $dm_{soll}$ ) est en plus corrigée par une commande pilote (6) qui réagit aux modifications du côté du fluide de chauffage, les paramètres de correction interprétés dans la commande pilote (6) pour une correction étant notamment le débit massique du fluide de chauffage ( $Dm_{AGR}$ ) et/ou la température d'entrée du fluide de chauffage ( $T_{AGR}$ ) au niveau de l'échangeur de chaleur (AGR-WT) et/ou la pression du fluide de travail ( $P_{Dampf}$ ) avant la machine d'expansion (E). 40 45 50
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le régulateur de débit massique de fluide de travail (5) utilisé est un régulateur proportionnel-intégrateur (régulateur PI) ou un régulateur proportionnel-intégrateur-dérivateur (régulateur PID), et **en ce qu'**en vue de maximiser le débit massique du fluide de travail, une valeur de manipulation est en plus appliquée à l'entrée de l'intégrateur (8) du régulateur PI ou du régulateur PID, laquelle est commandée en fonction de la température du fluide de chauffage ( $T_{AG}$ ) à l'entrée de l'échangeur de chaleur, de la température actuelle de la vapeur du fluide de travail ( $T_{AG-Medium,ist}$ ) après l'échangeur de chaleur (AG-WT) et du débit massique actuel de la vapeur du fluide de travail ( $dm_{ist}$ ), de telle sorte qu'une valeur de manipulation positive est générée lorsqu'une température optimale de la vapeur du fluide de travail est atteinte, proche de la température du fluide de chauffage, à l'entrée de l'échangeur de chaleur et en présence d'un débit massique de fluide de travail relativement faible. 55
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les températures de la paroi sur l'au moins un échangeur de chaleur/évaporateur (AGR-WT, AG-WT) sont mesurées afin de pouvoir, le cas échéant, déterminer rapidement une limite liquide/vapeur et contrer rapidement une baisse de la température de sortie du fluide de travail au-dessous de la température de la vapeur saturée.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les étapes suivantes sont exécutées en vue d'atteindre un mode expanseur autorégulé :
- a) Opération de réchauffage  
L'opération de réchauffage s'effectue en se basant sur la température et en régulant la température **en ce que** la température de consigne du fluide de travail est augmentée par paliers et continuellement jusqu'à la température de la vapeur saturée en fonction de la température d'entrée du fluide de chauffage à l'échangeur de chaleur (AGR-WT, AG-WT) et du débit massique du fluide de chauffage.
- b) Processus d'évaporation  
Au cours du processus d'évaporation, le fluide de travail après l'échangeur de chaleur (AGR-WT, AG-WT) est gazeux et liquide à la température de la vapeur saturée et, lorsque la température de la vapeur saturée est atteinte, un basculement est effectué en mode de régulation du débit massique du fluide de travail, une élévation de la température étant effectuée par diminution du débit massique du fluide de travail au moyen de la vanne de régulation ( $V1$ ,  $V2$ ), l'état à 2 phases étant quitté et le processus de surchauffe étant atteint.
- c) Processus de surchauffe  
La température de la vapeur du fluide de travail est augmentée, avec régulation en température par le biais de la température de la vapeur saturée, jusqu'à la température de la vapeur du

fluide de travail qui est prédéfinie pour le mode  
expanseur.

d) Mode expanseur

Un basculement en mode expanseur est effectué en association avec une régulation selon les revendications 1 à 7. 5

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le fluide de chauffage est un gaz d'échappement (AG) acheminé à l'environnement après un post-traitement des gaz d'échappement et un gaz d'échappement recyclé (AGR) issu d'un moteur à combustion interne de véhicule, les deux types de gaz d'échappement (AG et AGR) étant respectivement associés à un échangeur de chaleur (AG-WT et AGR-WT) propre en amont duquel sont respectivement branchées des vannes de régulation (V1 et V2) et une régulation qui agit respectivement sur celles-ci. 10  
15  
20
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le débit massique pour le gaz d'échappement recyclé (débit massique AGR) est dérivé du débit massique d'air aspiré calculé par le contrôleur de moteur (EDC). 25

30

35

40

45

50

55

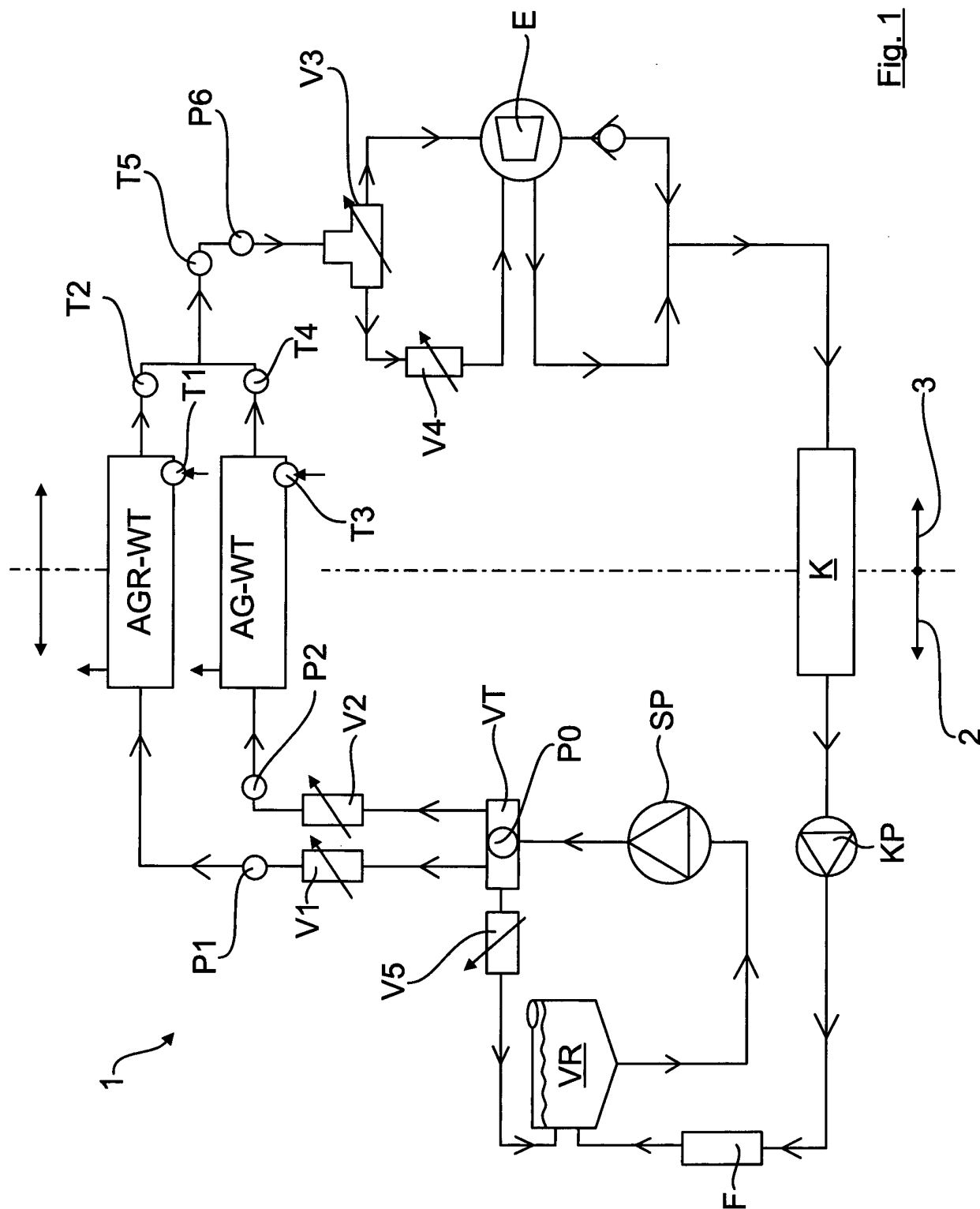


Fig. 1

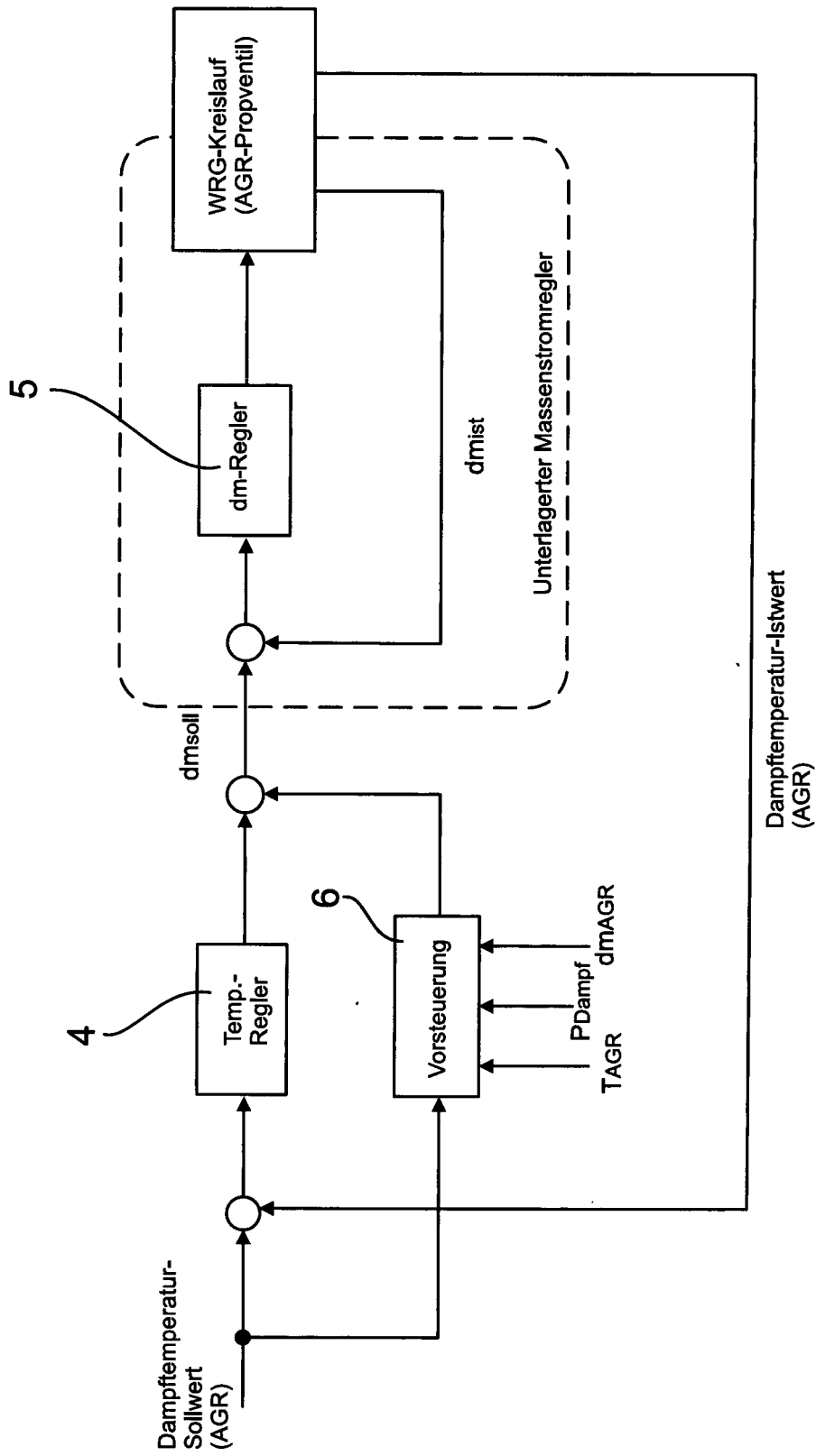


Fig. 2

TAGR	AGR-Eintrittstemperatur
PDampf	Druck vor Expansionsmaschine
dmAGR	AGR-Massenstrom (aus EDC mit ETK)
dm	Massenstrom-Sollwert (Dampfmedium)
dmist	Massenstrom-Istwert (Dampfmedium)

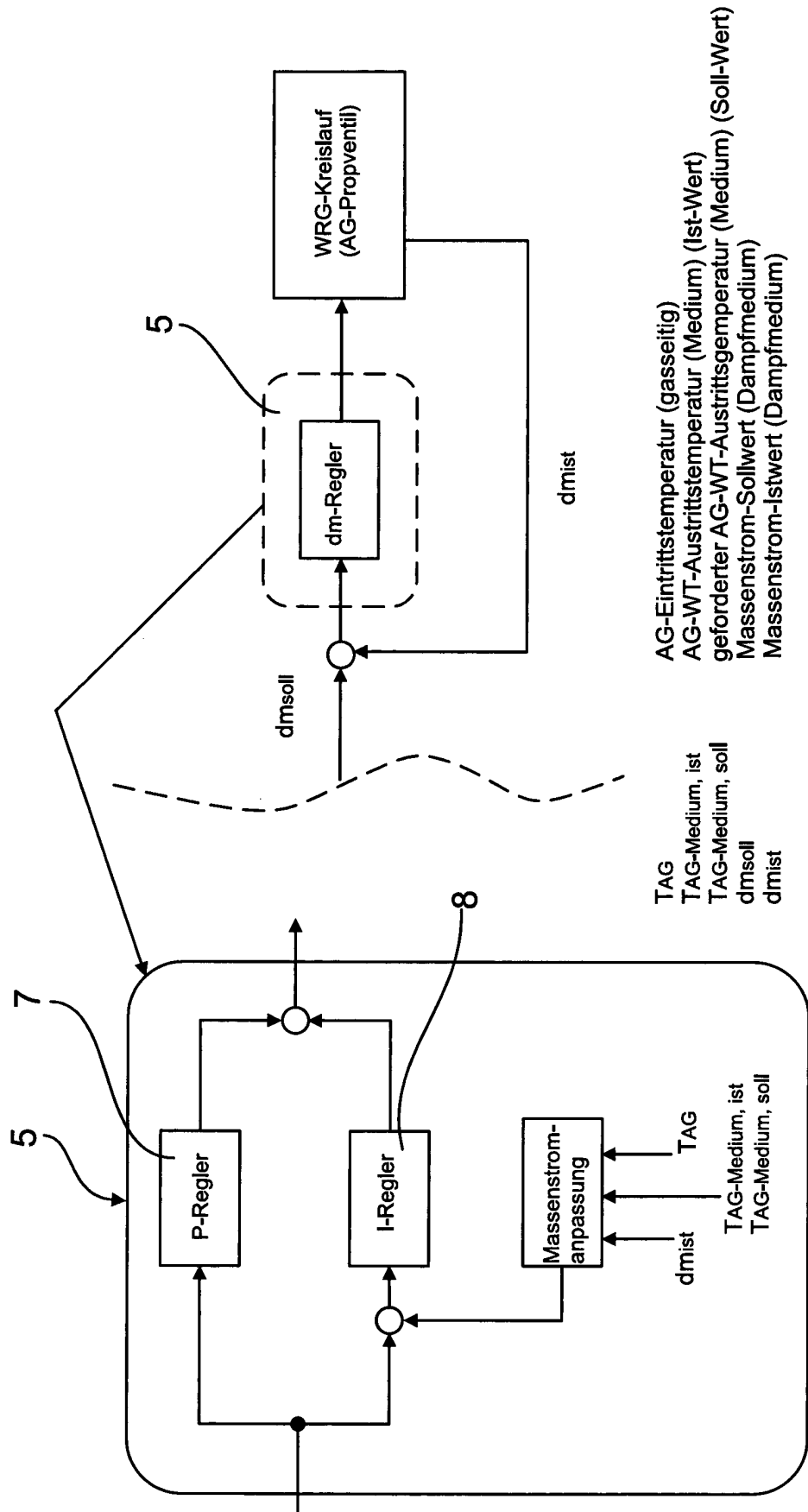


Fig. 3

**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**

- EP 1431523 A1 [0004]
- EP 1323990 A1 [0005]
- EP 1443183 A1 [0006]