



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.02.2014 Patentblatt 2014/06

(51) Int Cl.:
F01K 23/06^(2006.01) F01K 23/10^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13001382.4**

(22) Anmeldetag: **18.03.2013**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **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)

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

(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 Kon-

densatorabsaugpumpe (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 Dampfmedium-Temperatur-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.

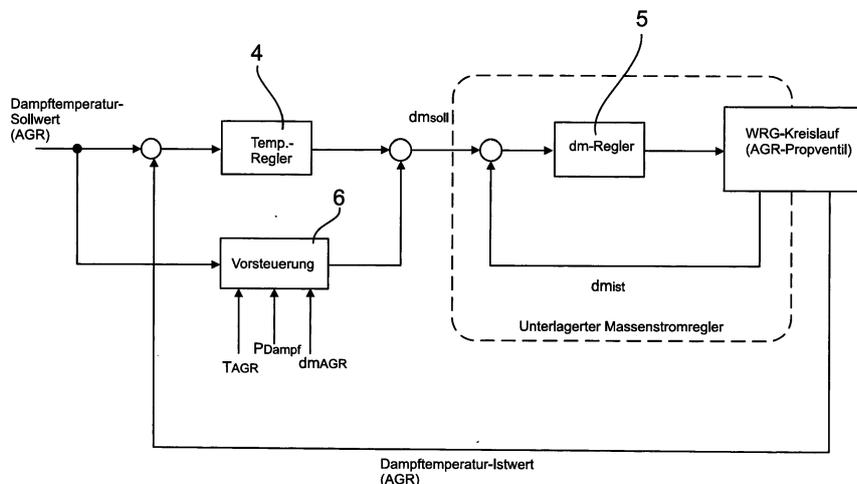


Fig. 2

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

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

[0005] 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.

[0006] Um die voll von den Wärmequellen am Verbrennungsmotor im Heizmedium-Massenstrom zur Verfügung stehende Heizenergie auszunutzen wird hier durch Regelung des Arbeitsmedien-Massenstroms die Temperatur und insbesondere im Verdampfungsprozess der Phasenzustand des Arbeitsmediums geregelt.

[0007] 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 Arbeitsmedien-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.

[0008] 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.

[0009] 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 Satttdampftemperatur 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.

[0010] Insbesondere im Expanderbetrieb wäre grundsätzlich eine reine Temperaturregelung auf einen optimalen Dampftemperatur-Sollwert des Arbeitsmediums möglich. Da aber, bei sich ändernden Bedingungen, zum Beispiel einer Drehzahländerung der Expansionsmaschine der Arbeitsmedium-Dampfmassenstrom durch den Expander und damit auch die Temperatur- und Druckverhältnisse variieren, ist eine Arbeitsmedium-Temperaturregelung mit einem unterlagerten Arbeitsmedium-Massenstromregler vorteilhaft, da damit schneller

auf Veränderungen als mit einer reinen, relativ trägen Temperaturregelung reagiert werden kann.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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 Satttdampftemperatur 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 Satttdampftemperatur zu halten. Für die Ermittlung der Flüssigkeits-/Dampfgränze 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.

[0015] Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf einen eingeregeltten Expanderbetrieb mit einer über der Satttdampftemperatur geregelten Solldampftemperatur. Um diesen angestrebten Zustand in einem Anfahrprozess möglichst schnell und effizient zu erreichen werden folgende Verfahrensschritte vorgeschlagen:

a) Aufwärmvorgang (Arbeitsmedium flüssig)

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 Satttdampftemperatur erhöht wird.

b) Verdampfungsprozess

Im Verdampfungsprozess ist das Arbeitsmedium (nach dem Wärmetauscher) teilweise gasförmig und teilweise flüssig bei jeweils gleicher Satttdampftemperatur, so dass hier keine temperaturbasierte Regelung eingesetzt werden kann. Die Satttdampftemperatur ist grundsätzlich eine Funktion des Drucks und kann leicht ermittelt werden. Der Verdampfungsprozess wird daher nur durch eine Arbeitsmedium-Massenstrom-Regelung geführt. Der Verdampfungsprozess 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 Ab-

gasmassenstroms, 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

Die Arbeitsmedien-Dampftemperatur wird über die Sattdampftemperatur temperatureregelt 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.

[0016] 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 eine Ladeluft in einem Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf verwendet, sind die vorstehenden Verfahren zur Regelung entsprechend und dem jeweiligen Heizmedium angepasst zu verwenden.

[0017] 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

[0018] Anhand einer Zeichnung wird ein Verfahren zur Regelung mit Abgas als Heizmedium weiter erläutert.

5 **[0019]** Es zeigen:

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

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

Fig. 3 eine Anpassung des Massenstromreglers zur Massenstrommaximierung.

15

[0020] 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.

20

[0021] 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 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 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 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.

25

[0022] Der Wärme-Rückgewinnungs-Kreislauf 1 wird durch Variation des Arbeitsmediumdurchgangs durch die Proportionalregelventile V1, V2 geregelt und/oder gesteuert.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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).

[0027] 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 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, der einen Vorratstank (VR) mit ei-

nem 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 Sattdampftemperatur) 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 pulsweiten-moduliertes Signal (PWM-Signal) angesteuert wird.

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.
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}) 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, 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.
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 **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 ($T_{\text{pG-Medium,ist}}$) nach dem Wärmetauscher (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.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wandtemperaturen am wenigstens einen Wärmetauscher/Nerdampfer (AGR-WT, AG-WT) gemessen werden, um gegebenenfalls schnell eine Flüssigkeits-/Dampfgrenze zu ermitteln und einem Absinken der Arbeitsmedium-Austrittstemperatur unter die Sattedampftemperatur schnell entgegenwirken zu können.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Erreichen eines eingeregeltten 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 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.
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.

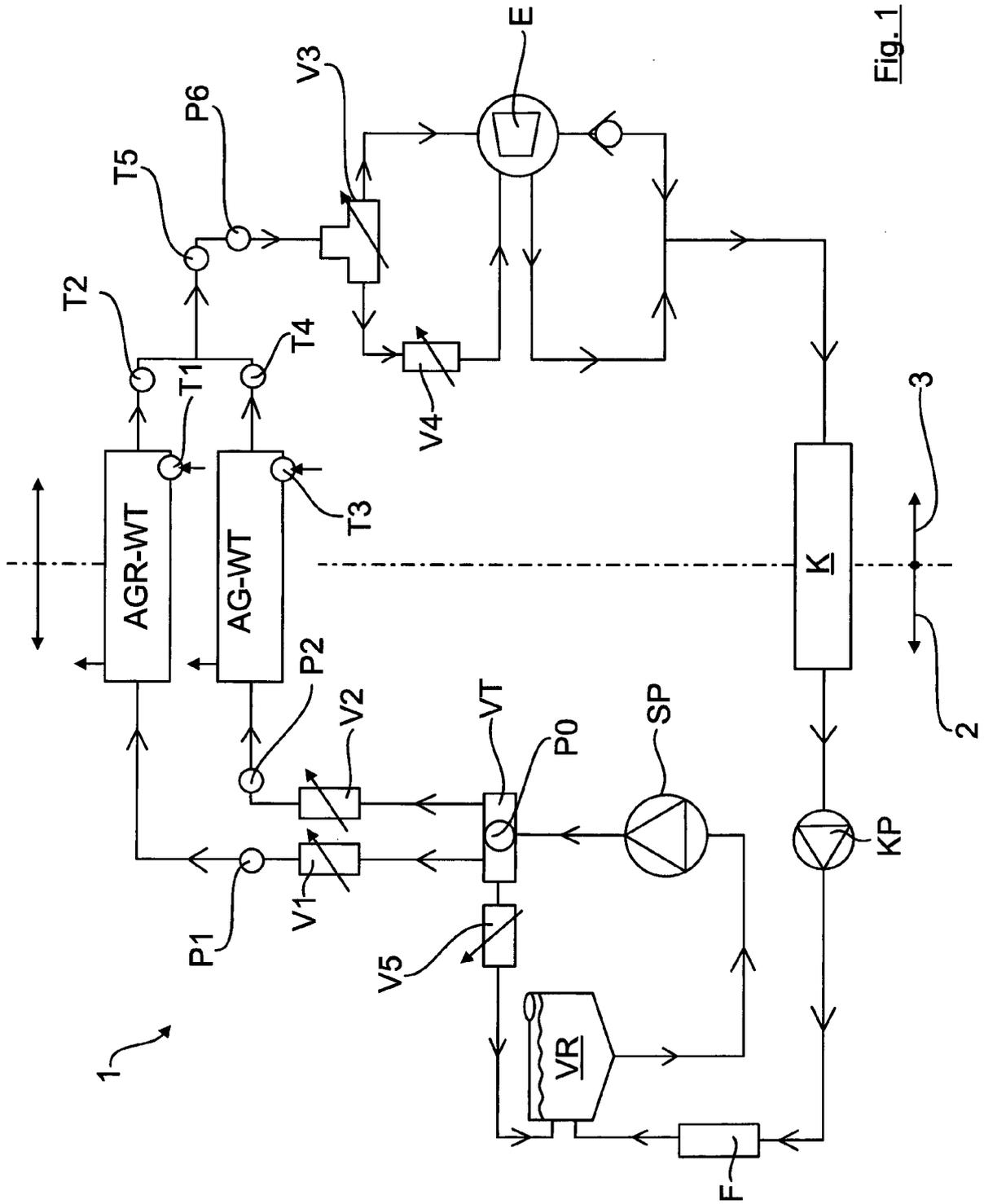


Fig. 1

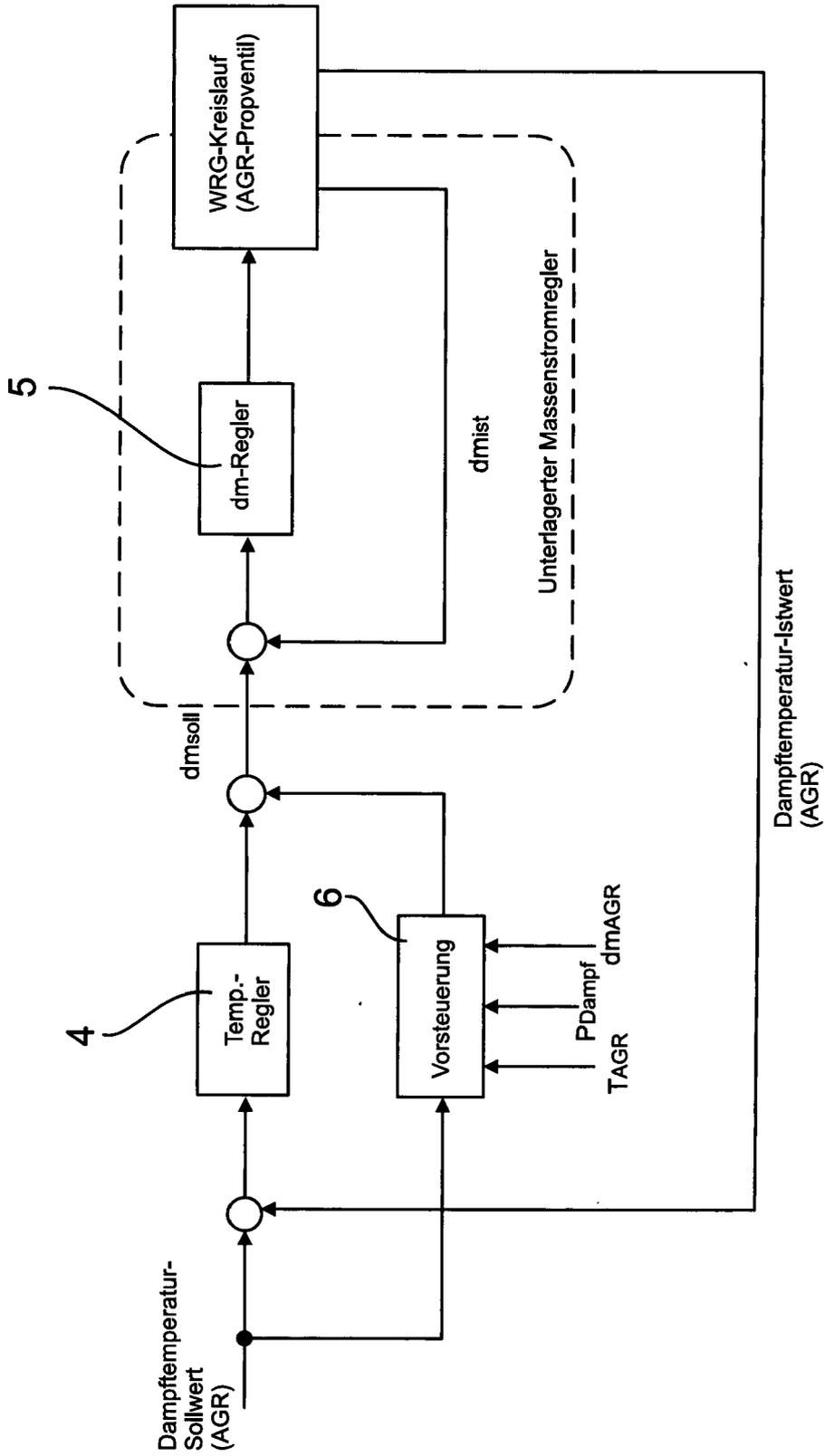


Fig. 2

- | | |
|--------------------|------------------------------------|
| TAGR | AGR-Eintrittstemperatur |
| P _{dampf} | Druck vor Expansionsmaschine |
| dmAGR | AGR-Massenstrom (aus EDC mit ETK) |
| dm-soll | Massenstrom-Sollwert (Dampfmedium) |
| dmist | Massenstrom-Istwert (Dampfmedium) |

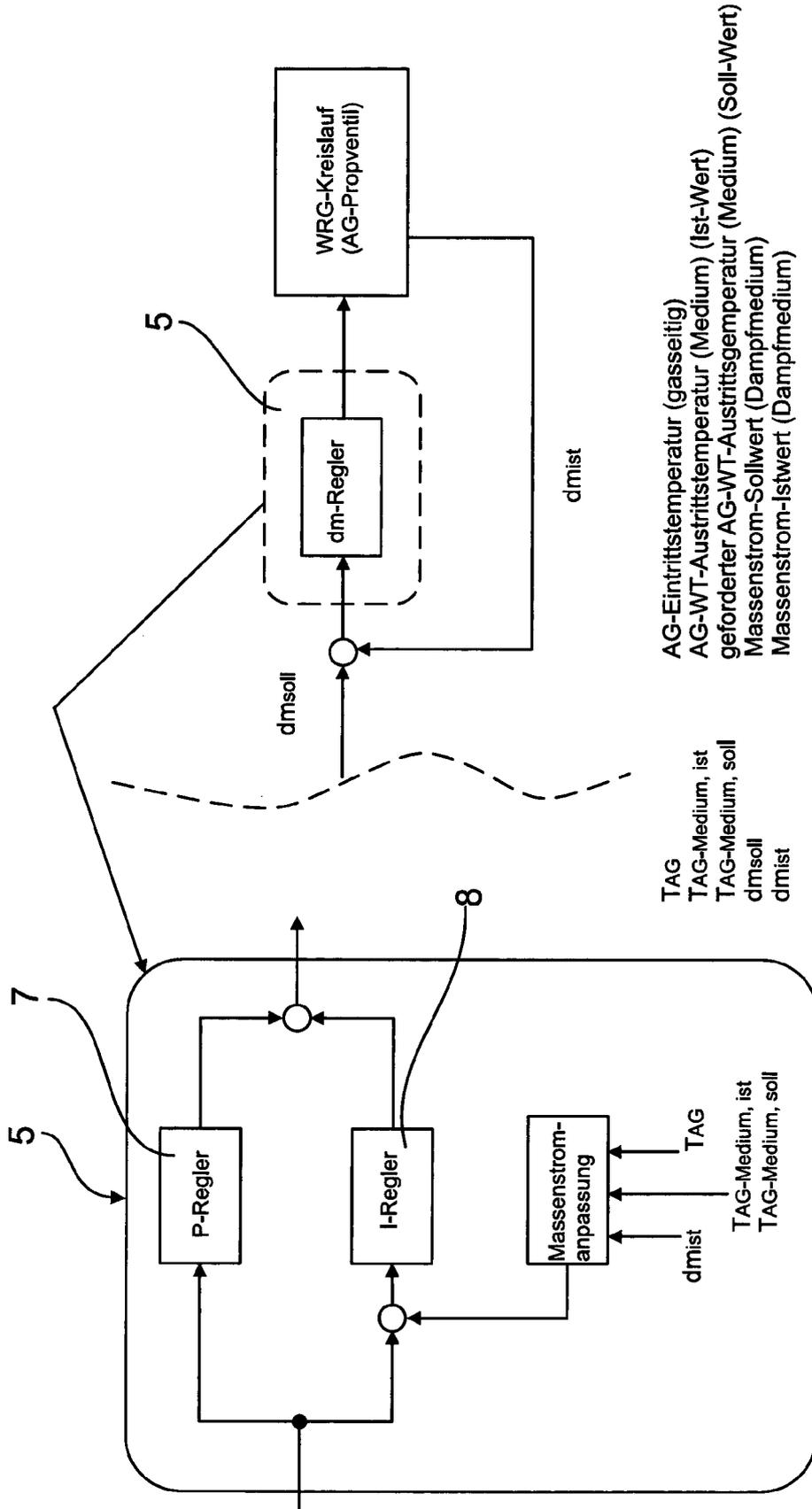


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 13 00 1382

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X A	EP 1 431 523 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 23. Juni 2004 (2004-06-23) * Absatz [0016] - Absatz [0029]; Abbildung 1 *	1,2,5-7 3	INV. F01K23/06 F01K23/10
X	EP 1 323 990 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 2. Juli 2003 (2003-07-02) * Absatz [0014] - Absatz [0016]; Abbildungen 1,2 *	1,2	
X	EP 1 443 183 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 4. August 2004 (2004-08-04) * Absatz [0046] - Absatz [0052]; Abbildungen 14,22 *	1,2,5	
X	EP 2 280 152 A1 (ISUZU MOTORS LTD [JP]) 2. Februar 2011 (2011-02-02) * Absätze [0015], [0016], [0029]; Abbildung 1 *	1	
E	DE 10 2011 084352 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 18. April 2013 (2013-04-18) * Absatz [0018] - Absatz [0023]; Abbildung 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01K
A,P	WO 2013/007530 A1 (AVL LIST GMBH [AT]; NEUNTEUFL KLEMENS [AT]; THEISSL HELMUT [AT]; STEVE) 17. Januar 2013 (2013-01-17) * das ganze Dokument *	1-3,5-7, 10,11	
A	WO 2012/009526 A1 (MACK TRUCKS [US]; GIBBLE JOHN [US]; ANDERSSON ARNE [SE]) 19. Januar 2012 (2012-01-19) * Absatz [0025] - Absatz [0028]; Abbildung 1 *	1,10	
----- -/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. November 2013	Prüfer Coquau, Stéphane
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03 82 (P/4C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 13 00 1382

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 2 357 349 A1 (MAN NUTZFAHRZEUGE OESTERREICH [AT]) 17. August 2011 (2011-08-17) * das ganze Dokument * -----	1	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. November 2013	Prüfer Coquau, Stéphane
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 08.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 00 1382

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-11-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1431523	A1	23-06-2004	EP 1431523 A1	23-06-2004
			US 2005050909 A1	10-03-2005
			WO 03029619 A1	10-04-2003

EP 1323990	A1	02-07-2003	EP 1323990 A1	02-07-2003
			JP 2002115801 A	19-04-2002
			US 2004040301 A1	04-03-2004
			WO 0229335 A1	11-04-2002

EP 1443183	A1	04-08-2004	EP 1443183 A1	04-08-2004
			WO 03031775 A1	17-04-2003

EP 2280152	A1	02-02-2011	CN 101978140 A	16-02-2011
			EP 2280152 A1	02-02-2011
			JP 5018592 B2	05-09-2012
			JP 2009236014 A	15-10-2009
			US 2011005477 A1	13-01-2011
			WO 2009119185 A1	01-10-2009

DE 102011084352	A1	18-04-2013	CN 103089353 A	08-05-2013
			DE 102011084352 A1	18-04-2013
			US 2013096801 A1	18-04-2013

WO 2013007530	A1	17-01-2013	AT 511189 A4	15-10-2012
			WO 2013007530 A1	17-01-2013

WO 2012009526	A1	19-01-2012	CN 103109046 A	15-05-2013
			EP 2593645 A1	22-05-2013
			JP 2013531177 A	01-08-2013
			US 2013186087 A1	25-07-2013
			WO 2012009526 A1	19-01-2012

EP 2357349	A1	17-08-2011	AT 509395 A1	15-08-2011
			CN 102146857 A	10-08-2011
			EP 2357349 A1	17-08-2011
			RU 2011101425 A	20-07-2012

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82