



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2008 017 407 A1 2009.10.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2008 017 407.6

(22) Anmeldetag: 05.04.2008

(43) Offenlegungstag: 08.10.2009

(51) Int Cl.⁸: F01K 27/02 (2006.01)

F02G 5/00 (2006.01)

F01N 5/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Gärtner, Jan, Dipl.-Ing., 71069 Sindelfingen, DE;

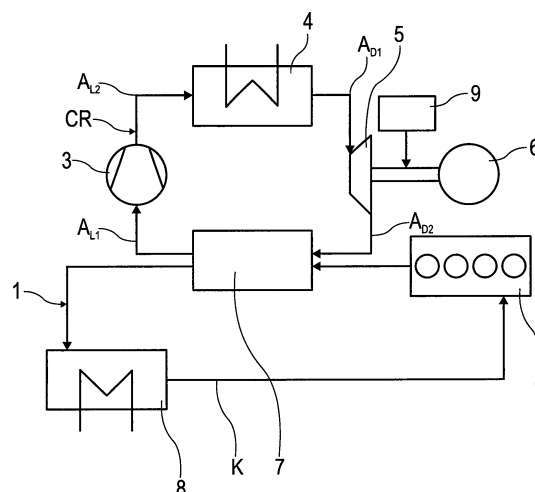
Koch, Thomas, Dr.-Ing., 71034 Böblingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verbrennungskraftmaschine mit einer Wärmerückgewinnungsvorrichtung und Verfahren zum Betrieb derselben**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Verbrennungskraftmaschine, die eine Wärmerückgewinnungsvorrichtung umfasst, in der eine Fördereinheit, ein Wärmetauscher, eine Expansionsvorrichtung und eine Kondensationsvorrichtung zu einem Kreislauf verschaltet sind, wobei in dem Kreislauf ein Arbeitsmedium zirkulierbar ist und wobei in dem Wärmetauscher ein Wärmeübergang von einem Wärmemedium zu dem Arbeitsmedium realisierbar ist. Erfindungsgemäß ist in der Kondensationsvorrichtung (6) ein Wärmeübergang von dem Arbeitsmedium zu einem Kühlmedium des Kühlkreislaufs realisierbar.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betrieb der Verbrennungskraftmaschine, bei dem das Arbeitsmedium bei einem Kaltstart der Verbrennungskraftmaschine mittels der Fördereinheit und/oder der Expansionsvorrichtung unter zumindest weitgehend konstantem Druck in dem Kreislauf zirkuliert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Wärmerückgewinnungsvorrichtung, in der eine Fördereinheit, ein Wärmetauscher, eine Expansionsvorrichtung und eine Kondensationsvorrichtung zu einem Kreislauf verschaltet sind, wobei in dem Kreislauf ein Arbeitsmedium zirkulierbar ist und wobei in dem Wärmetauscher ein Wärmeübergang von einem Wärmedium zu dem Arbeitsmedium realisierbar ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Betrieb der Verbrennungskraftmaschine.

[0002] Heutige Verbrennungskraftmaschinen weisen einen Wirkungsgrad von bis zu 45 Prozent auf. Die Verluste werden überwiegend als Wärme an ein Kühlmittel und als Abgaswärme abgegeben.

[0003] Aus der US 2006 0254 276 A1 ist eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Wärmerückgewinnungsvorrichtung bekannt, mit welcher Energie aus einer Abgaswärme einer Verbrennungskraftmaschine gewonnen werden kann. Die Wärmerückgewinnungsvorrichtung umfasst eine Fördereinheit in Form einer Pumpe, einen Wärmetauscher, eine Expansionsvorrichtung und eine Kondensationsvorrichtung, die zu einem Kreislauf verschaltet sind, in dem ein Arbeitsmedium führbar ist. Die Verbrennungskraftmaschine ermöglicht eine Umwandlung von thermischer Energie in eine mechanische Arbeit mittels eines so genannten Rankine-Prozesses. Im Betrieb der Brennkraftmaschine wird im Wärmetauscher eine Abgaswärme zum Arbeitsmedium übertragen, so dass das Arbeitsmedium verdampft. Das dampfförmige Arbeitsmedium wird anschließend der Expansionsvorrichtung zugeführt und dort auf einen niedrigeren Druck entspannt. In der nachfolgend durchströmten Kondensatoreinrichtung wird das Arbeitsmedium wieder kondensiert, und über die Fördereinheit wird es anschließend wieder in flüssiger Phase zum Wärmetauscher geleitet. Eine Rotationsgeschwindigkeit der Expansionsvorrichtung ist mit Hilfe einer Drucksteuereinheit derart regelbar, dass ein Druck des dampfförmigen Arbeitsmediums am Eingang der Kondensatoreinrichtung einer Sollvorgabe entspricht.

[0004] Bei einem Kaltstart der Verbrennungskraftmaschine und/oder bei kalten Außentemperaturen besteht die Gefahr, dass das Arbeitsmedium teilweise gefroren ist. Dadurch ist eine optimale Prozessdurchführung erschwert, und es können Beschädigungen an den Komponenten der Wärmerückgewinnungsvorrichtung auftreten.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verbrennungskraftmaschine sowie ein Verfahren zum Betrieb der Verbrennungskraftmaschine anzugeben, die diesen Nachteil überwinden.

[0006] Die Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch die Verbrennungskraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 3 gelöst.

[0007] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das Arbeitsmedium bei einem Kaltstart der Verbrennungskraftmaschine mittels der Fördereinheit und/oder der Expansionsvorrichtung unter zumindest weitgehend konstantem Druck in dem Kreislauf zirkuliert. Das Verfahren ist insbesondere bei Temperaturen anzuwenden, bei denen eine Gefahr des Einfrierens des Arbeitsmediums besteht. Wird als Arbeitsmedium Wasser verwendet, so wird das Verfahren vorzugsweise bei einer Außen- und/oder Motortemperatur unterhalb von 4°C angewandt. Durch das Verfahren werden eventuell noch gefrorene Teile des Arbeitsmediums schneller verflüssigt, und die Wärmerückgewinnungsvorrichtung kann schneller in Betrieb genommen werden. Das Verfahren kann unmittelbar vor, während oder nach einem Kaltstart initiiert werden, wobei ein Kaltstart beispielsweise durch das Drehen eines Zündschlüssels oder durch eine erste Zündung definiert ist.

[0009] In einer Ausgestaltung des Verfahrens wird in der Kondensationsvorrichtung Wärme zwischen einem Kühlmittel der Verbrennungskraftmaschine und dem Arbeitsmedium übertragen. Das Arbeitsmedium lässt sich durch einen Wärmeübergang von dem Kühlmittel auf das Arbeitsmedium schneller erwärmen, so dass eventuell gefrorene Bestandteile schneller verflüssigt werden können.

[0010] Eine erfindungsgemäße Verbrennungskraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens beinhaltet eine Kondensationsvorrichtung, in der ein Wärmeübergang von dem Arbeitsmedium zu einem Kühlmittel des Kühlkreislaufs realisierbar ist. Dadurch ist neben dem Wärmeübergang von dem Wärmedium zum Arbeitsmedium eine weitere Möglichkeit zur schnelleren Erwärmung des Arbeitsmediums geschaffen, so dass die Wärmerückgewinnungsvorrichtung bei einem Kaltstart schneller in Betrieb genommen werden kann.

[0011] In einer Ausgestaltung der Erfindung ist die Expansionsvorrichtung mechanisch mit einer Motor-/Generatoreinheit gekoppelt. Bei einem Betrieb der Motor-/Generatoreinheit als Motor ist es somit möglich, das Arbeitsmedium mit Hilfe der Expansionsvorrichtung in dem Kreislauf zirkulieren zu lassen. Auf diese Weise ist neben der Fördereinheit eine weitere Möglichkeit zur Beeinflussung der Zirkulation des Arbeitsmediums im Kreislauf geschaffen.

[0012] In weiteren Ausgestaltungen der Erfindung

sind die Fördereinheit, die Expansionsvorrichtung und/oder eine oder mehrere Fluidleitungen des Kreislaufs jeweils mit einer Kühlmittelleitung der Verbrennungskraftmaschine derart miteinander verschaltet, dass Wärme zwischen der Fördereinheit, der Expansionsvorrichtung und/oder den Fluidleitungen einerseits und dem Kühlmedium der Verbrennungskraftmaschine in der Kühlmittelleitung andererseits übertragbar ist. Auf diese Weise lässt sich eine Wärme in dem Kühlmedium auf breiter Basis zur Aufheizung der Wärmerückgewinnungsvorrichtung nutzen, die dadurch wiederum schneller in Betrieb genommen werden kann, so dass insgesamt ein effizienterer Kaltstart der Verbrennungskraftmaschine ermöglicht ist.

[0013] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist eine Bypassleitung parallel zu der Kühlmittelleitung angeordnet. Beim Start der Verbrennungskraftmaschine wird das Kühlmedium durch die Kühlmittelleitung geleitet, so dass Wärme von dem bereits erwärmten Kühlmedium zu dem Arbeitsmedium in der Fluidleitung übertragen werden kann. Im Normalbetrieb der Verbrennungskraftmaschine, insbesondere wenn das Arbeitsmedium zumindest weitgehend in flüssiger Phase vorliegt, wird das Kühlmedium durch den Bypass geleitet. Dadurch wird eine Überlastung eines Fahrzeugkühlers vermieden, sowie ein Wirkungsgrad verbessert.

[0014] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand einer Zeichnung näher erläutert.

[0015] Dabei zeigt:

[0016] [Fig. 1](#) schematisch ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen Verbrennungskraftmaschine.

[0017] In [Fig. 1](#) ist eine erfindungsgemäße Verbrennungskraftmaschine **2** mit einer Wärmerückgewinnungsvorrichtung und mit einem Kühlkreislauf **1** dargestellt. Die Wärmerückgewinnungsvorrichtung umfasst eine Fördereinheit in Form einer Pumpe **3**, einen Wärmetauscher **4**, eine Expansionsvorrichtung in Form einer Turbine **5** und eine Kondensationsvorrichtung **7**, die in einem Kreislauf CR verschaltet sind, wobei in diesem Kreislauf CR ein Arbeitsmedium A_{L1} , A_{L2} , A_{D1} , A_{D2} zirkulierbar ist. Als Arbeitsmedium kann beispielsweise Wasser, Ammoniak, Ethanol, n-Butan oder eine andere organische Verbindung sowie Gemische aus den genannten Medien vorgesehen sein. Die Wärmerückgewinnungsvorrichtung ist zur Durchführung eines Clausius-Rankine-Kreisprozesses geeignet.

[0018] Vor Eintritt in die Pumpe **3** liegt das Arbeitsmedium in einer ersten flüssigen Phase A_{L1} vor. In der Pumpe **3** wird das flüssige Arbeitsmedium annähernd adiabat und isentrop verdichtet. Anschließend

wird das Arbeitsmedium dem Wärmetauscher **4** in einer zweiten flüssigen Phase A_{L2} zugeführt. In dem Wärmetauscher **4** ist ein Wärmeübergang von einem Abgas der Verbrennungskraftmaschine **1** zum Arbeitsmedium realisierbar (in [Fig. 1](#) nicht dargestellt), wobei das Arbeitsmedium in eine erste gasförmige Phase A_{D1} überführt wird.

[0019] Nach Durchströmen des Wärmetauschers **4** wird das gasförmige Arbeitsmedium der Turbine **5** zugeführt, in der es im wesentlichen adiabat expandiert wird. Die Turbine **5** ist über eine Welle mit einer Motor-/Generatoreinheit **6** verbunden. Die Motor-/Generatoreinheit ermöglicht es, der Turbine **5** eine mechanische Arbeit zu entnehmen und in elektrische Energie umzuwandeln (Generatorbetrieb) oder die Turbine **5** über die Welle anzutreiben und auf diese Weise das Arbeitsmedium in dem Kreislauf CR zirkulieren zu lassen (Motorbetrieb). In einem modifizierten, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Expansionsvorrichtung als Kolbenexpansionsmaschine ausgeführt.

[0020] Anschließend wird das Arbeitsmedium in einer zweiten gasförmigen Phase A_{D2} der Kondensationsvorrichtung **7** zugeführt. In einem modifizierten Ausführungsbeispiel wird das Arbeitsmedium in der Turbine **5** teilweise kondensiert. In der Kondensationsvorrichtung **7** ist ein Wärmeübergang von dem Arbeitsmedium zu einem Kühlmedium K des Kühlkreislaufs **1** realisierbar.

[0021] Nach Durchströmen der Kondensationsvorrichtung **7** ist das Arbeitsmedium wieder in der ersten flüssigen Phase A_{L1} der Pumpe **3** zuführbar, so dass der Kreislauf CR geschlossen ist.

[0022] Bei der erfindungsgemäßen Verbrennungskraftmaschine ist die Kondensationsvorrichtung **7** in dem Kühlkreislauf **1** angeordnet und von einem Kühlmedium K durchströmt. Der Kühlkreislauf **1** dient vorrangig zur Kühlung der Verbrennungskraftmaschine **2** und umfasst weiterhin einen Fahrzeugkühler **8**, über den Wärme in die Umgebung abgegeben werden kann.

[0023] Bei kalten Außentemperaturen besteht die Gefahr, dass Bestandteile des Arbeitsmediums gefrieren. In diesem Fall lässt sich die Wärmerückgewinnungsvorrichtung nicht mehr optimal betreiben, und es können Beschädigungen an den Komponenten auftreten.

[0024] Die beschriebene Anordnung bietet die Möglichkeit, bei einem Kaltstart der Verbrennungskraftmaschine **2** und bei niedrigen Außentemperaturen das Arbeitsmedium mittels der Pumpe **3** und/oder der Motor/Generatoreinheit **6** und der Turbine **5** in dem Kreislauf CR bei zumindest annähernd konstantem Druck zirkulieren zu lassen.

[0025] Bei einem alleinigen Betrieb der Pumpe **3** wird bevorzugt mit Hilfe einer Steuereinheit **9** eine mechanische Verbindung zwischen der Turbine **5** und der Motor-/Generatoreinheit **6** getrennt, so dass die Turbine **5** ohne eine anliegende Last im Strom des Arbeitsmediums mitläuft. Alternativ oder zusätzlich zu dem Betrieb der Pumpe **3** ist die Motor/Generatoreinheit **6** mit der Turbine **5** mechanisch gekoppelt, so dass die Motor-/Generatoreinheit **6** zum Antrieb der Turbine **5** verwendet werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, das Arbeitsmedium auch mit Hilfe der Turbine in dem Kreislauf CR zu fördern.

[0026] Durch die weitgehend druckfreie Zirkulation des Arbeitsmediums in dem Kreislauf CR lässt sich das Arbeitsmedium schneller erwärmen, ohne dass eine große Gefahr von Beschädigungen an den Komponenten der Wärmerückgewinnungsvorrichtung besteht. Dadurch tauen gefrorene Bestandteile des Arbeitsmediums schnell auf. Sobald das Arbeitsmedium in weitgehend oder vollständig flüssiger Form vorliegt, wird die Turbine **5** mit der Motor-/Generatoreinheit mechanisch gekoppelt, die Motor-/Generatoreinheit **6** wird in einen Generatorbetrieb geschaltet und die Pumpe **3** wird entsprechend eines Wärmerückgewinnungsbetriebs geregelt. Im Normalbetrieb wird das Arbeitsmedium in der Kondensationsvorrichtung **7** durch einen Übergang von Wärme vom Arbeitsmedium auf das Kühlmedium K der Verbrennungskraftmaschine kondensiert.

[0027] In einem modifizierten, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine zusätzliche Erfassungseinrichtung vorgesehen, mit deren Hilfe ein Aggregatzustand des Arbeitsmediums vor oder bei einem Kaltstart festgestellt werden kann. Als Erfassungseinrichtung sind beispielsweise Drucksensoren, Temperatursensoren oder Sensoren zur Erfassung von Werkstoffkennwerten des Arbeitsmediums vorstellbar. Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb der Verbrennungskraftmaschine wird gestartet, wenn die Messwerte der Erfassungseinrichtung vorgegebene Grenzwerte über- oder unterschreiten (beispielsweise wenn eine Temperatur unterhalb einer Grenztemperatur gemessen wird) oder wenn auf andere Weise gefrorene Bestandteile des Arbeitsmediums detektiert werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 20060254276 A1 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine (2), die eine Wärmerückgewinnungsvorrichtung umfasst, in der eine Fördereinheit (3), ein Wärmetauscher (4), eine Expansionsvorrichtung (5) und eine Kondensationsvorrichtung (7) zu einem Kreislauf (CR) verschaltet sind, wobei in dem Kreislauf (CR) ein Arbeitsmedium (A_{L1} , A_{L2} , A_{D1} , A_{D2}) zirkulierbar ist und wobei in dem Wärmetauscher (4) ein Wärmeübergang von einem Wärmemedium zu dem Arbeitsmedium realisierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einem Kaltstart der Verbrennungskraftmaschine (2) das Arbeitsmedium mittels der Fördereinheit (3) und/oder der Expansionsvorrichtung (5) unter zumindest weitgehend konstantem Druck in dem Kreislauf (CR) zirkuliert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kondensationsvorrichtung (7) Wärme zwischen einem Kühlmedium (K) der Verbrennungskraftmaschine (2) und dem Arbeitsmedium übertragen wird.

3. Verbrennungskraftmaschine (1) mit einer Wärmerückgewinnungsvorrichtung (2) und mit einem Kühlkreislauf, wobei die Wärmerückgewinnungsvorrichtung (2) umfasst:

- eine Fördereinheit (3) zur Verdichtung eines zumindest weitgehend flüssigen Arbeitsmediums (A);
- einen Wärmetauscher (4) zur Verdampfung des Arbeitsmediums (A) durch einen Wärmeübergang von einem Wärmemedium (M) auf das Arbeitsmedium (A);
- eine Expansionsvorrichtung (5) zur Expansion des Arbeitsmediums (A), wobei der Expansionsvorrichtung eine mechanische Energie entnehmbar ist;
- eine Kondensationsvorrichtung (6) zur Abkühlung und/oder Kondensation des Arbeitsmediums (A), in der das Arbeitsmedium (A) von einem zumindest weitgehend gasförmigen Aggregatzustand in einen zumindest weitgehend flüssigen Aggregatzustand überführbar ist,

wobei die Fördereinheit (3), der Wärmetauscher (4), die Expansionsvorrichtung (5) und die Kondensationsvorrichtung (6) in einem Kreislauf (CRK) verschaltet sind, in dem das Arbeitsmedium (A) zirkulierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Kondensationsvorrichtung (6) ein Wärmeübergang von dem Arbeitsmedium zu einem Kühlmedium des Kühlkreislaufs realisierbar ist.

4. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Expansionsvorrichtung (5) mechanisch mit einer Motor/Generator-einheit (6) gekoppelt ist.

5. Verbrennungskraftmaschine nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass

die Fördereinheit (3) und eine Kühlmittelleitung der Verbrennungskraftmaschine derart miteinander verschaltet sind, dass Wärme zwischen einem Kühlmedium (K) der Verbrennungskraftmaschine und der Fördereinheit (3) übertragbar ist.

6. Verbrennungskraftmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Expansionsvorrichtung (6) und eine Kühlmittelleitung der Verbrennungskraftmaschine derart miteinander verschaltet sind, dass Wärme zwischen einem Kühlmedium (K) der Verbrennungskraftmaschine und der Expansionsvorrichtung (6) übertragbar ist.

7. Verbrennungskraftmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass Fluidleitungen des Kreislaufs (CR) und eine Kühlmittelleitung der Verbrennungskraftmaschine derart miteinander verschaltet sind, dass Wärme zwischen einem Kühlmedium (K) der Verbrennungskraftmaschine und dem Arbeitsmedium in den Fluidleitungen (6) übertragbar ist.

8. Verbrennungskraftmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Bypassleitung parallel zu der Kühlmittelleitung angeordnet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

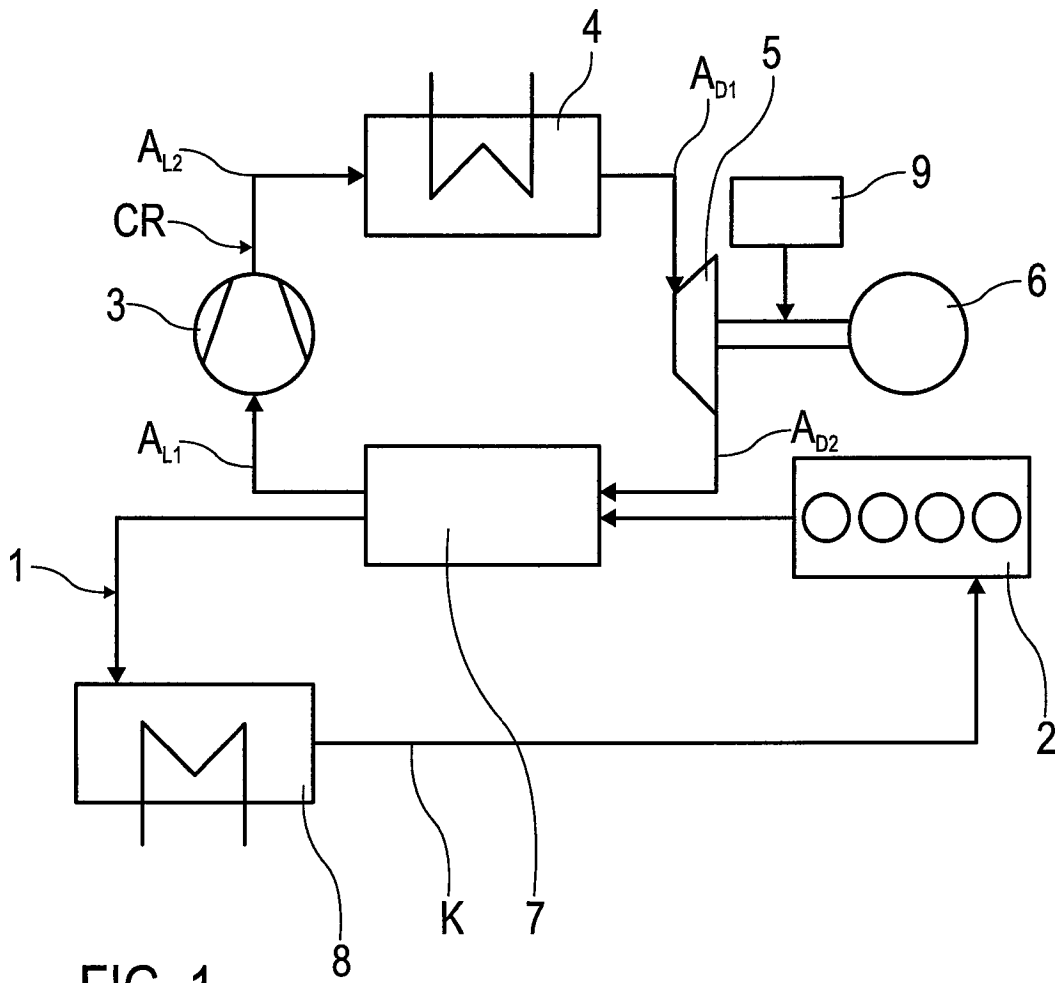


FIG. 1