



(10) **DE 10 2016 218 764 A1** 2018.03.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 218 764.3**
(22) Anmeldetag: **28.09.2016**
(43) Offenlegungstag: **29.03.2018**

(51) Int Cl.: **F02G 5/02 (2006.01)**
F01K 23/10 (2006.01)
F02B 21/00 (2006.01)
B60K 6/12 (2006.01)

(71) Anmelder:
Mahle International GmbH, 70376 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Bucher, Michael, 10961 Berlin, DE; Clemens,
Herbert, 13505 Berlin, DE; Fiala, Christoph, 14482
Potsdam, DE**

(74) Vertreter:
**BRP Renaud und Partner mbB Rechtsanwälte
Patentanwälte Steuerberater, 70173 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

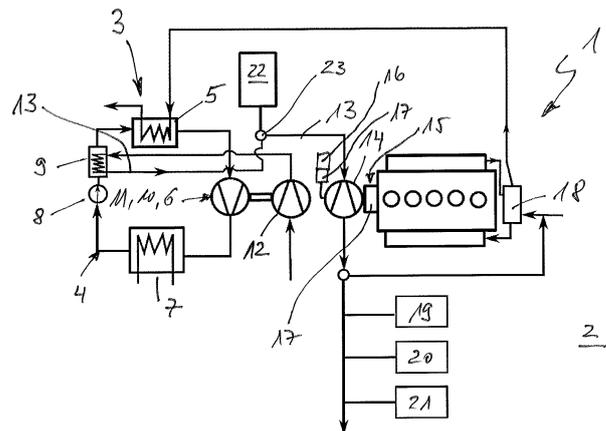
DE	10 2013 019 364	A1
EP	2 554 819	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mit einer Abwärmenutzungseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine (1) eines Kraftfahrzeugs (2) mit einer Abwärmenutzungseinrichtung (3),
– wobei die Abwärmenutzungseinrichtung (3) folgende, in einen Abwärmenutzungskreis (4) eingebundene, Komponenten aufweist,
– einen Verdampfer (5), der mit heißem Abgas aus der Brennkraftmaschine (1) beaufschlagt ist,
– einen Expander (6), einen Kondensator (7) und eine Fördereinrichtung (8) zum Fördern von Arbeitsmedium,
– einen Wärmeübertrager (9),
– wobei der Expander (6) mit einem Luftkompressor (12) antriebsverbunden ist,
– wobei der Luftkompressor (12) ausgangsseitig mit einem Eingang des Wärmeübertragers (9) verbunden ist,
– wobei der Wärmeübertrager (9) ausgangsseitig über eine Druckluftleitung (13) mit einem Druckluftmotor (14) verbunden ist, der kraftübertragend mit der Brennkraftmaschine (1), einem Antriebsstrang (15) des Kraftfahrzeugs (2) oder einem Nebenaggregat (16) verbunden ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mit einer Abwärmenutzungseinrichtung. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Brennkraftmaschine mit einer Abwärmenutzungseinrichtung.

[0002] Abwärmenutzungseinrichtungen werden in zunehmendem Maße auch in Kraftfahrzeugen mit Brennkraftmaschinen eingesetzt, um bspw. die von der Brennkraftmaschine ausgestoßenen, heißen Abgase thermisch nutzen zu können. Bewirkt werden kann dies bspw. über eine in einem Abwärmenutzungskreis eingebundene Axialkolbenmaschine, die von einem Arbeitsmedium, bspw. Dampf, angetrieben wird und direkt oder indirekt mit der Brennkraftmaschine antriebsverbunden ist. Der zum Betrieb der Axialkolbenmaschine erforderliche Dampf wird dabei bspw. in einem Wärmeübertrager von den heißen und von der Brennkraftmaschine stammenden Abgasen erzeugt.

[0003] Nachteilig bei den bekannten Brennkraftmaschinen mit einer Abwärmenutzungseinrichtung ist jedoch bspw. die üblicherweise direkte Kopplung der Axialkolbenmaschine mit der Brennkraftmaschine sowie die ausschließliche Nutzung der Abwärme zum Erzeugen mechanischer Energie, das heißt konkret zum Antrieb der Brennkraftmaschine.

[0004] Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich daher mit dem Problem, für eine Brennkraftmaschine eine verbesserte Ausführungsform anzugeben, die insbesondere die bekannten Nachteile nicht aufweist.

[0005] Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0006] Die vorliegende Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, eine Abwärme einer Brennkraftmaschine erstmals zum Antrieb eines Luftkompressors zu verwenden und mit dieser Druckluft zur Verfügung zu stellen, die anschließend in vielfältiger Weise, das heißt sowohl zu einem mechanischen Antrieb als auch bspw. zu einer Kühlung, verwendet werden kann. Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs besitzt dabei eine Abwärmenutzungseinrichtung, die folgende, in einen Abwärmenutzungskreis eingebundene, Komponenten umfasst: Einen Verdampfer, der mit heißem Abgas aus der Brennkraftmaschine beaufschlagt ist und in dem das heiße Abgas ein Arbeitsmedium verdampft, einen Expander bzw. eine Expansionsmaschine, einen Kondensator sowie eine Fördereinrichtung zum Fördern des Arbeitsmediums. Darüber hinaus vorgesehen ist ein Wärmeübertrager. Der Ex-

pander ist nun erfindungsgemäß mit einem Luftkompressor, das heißt mit einem Verdichter zum Verdichten von angesaugter Luft, antriebsverbunden, wobei der Luftkompressor ausgangsseitig über eine Druckluftleitung mit einem Eingang des Wärmeübertragers verbunden ist. Der Wärmeübertrager wiederum ist ausgangsseitig über eine Druckluftleitung mit einem Druckluftmotor verbunden, der kraftübertragend mit der Brennkraftmaschine, einem Antriebsstrang des Kraftfahrzeugs oder einem beliebigen Nebenaggregat verbunden ist. Mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine ist es somit möglich, die beim Verdichten der Luft im Luftkompressor entstehende Wärme zum Vorheizen des Arbeitsmediums im Wärmeübertrager zu verwenden, so dass die hier anfallende thermische Energie zusätzlich nochmals genutzt werden kann. Im Vergleich zu einer direkt mit der Brennkraftmaschine gekoppelten Axialkolbenmaschine ermöglicht die Erfindung somit nicht nur eine deutlich größere Flexibilität hinsichtlich der Nutzung der vom Luftkompressor zur Verfügung gestellten Druckluft, sondern auch deren zusätzliche thermische Ausnutzung. Dabei ist es sogar möglich, die Druckluft im Druckluftmotor zur Erzeugung von mechanischer Energie und damit zum Antrieb der Brennkraftmaschine, bspw. eines Dieselmotors, zu nutzen und zusätzlich die Entspannungskälte der aus dem Druckluftmotor ausgestoßenen, entspannten und kalten Luft zu Klimatisierungszwecken, zur Abgaskühlung, zur Ladeluftkühlung oder zur Motorkühlung zu verwenden. Gleichzeitig wird zuvor die im Luftkompressor erzeugte thermische Energie in dem in den Abwärmenutzungskreis eingebundenen Wärmeübertrager zur Vorwärmung des Arbeitsmediums stromauf des Verdampfers genutzt. Hierdurch kann ein deutlich erhöhter Wirkungsgrad erreicht werden. Von weiterem besonderem Vorteil ist zudem, dass aufgrund des Druckluftmotors, der Abwärmenutzungskreis an anderer Stelle im Kraftfahrzeug angeordnet werden kann und nicht wie bislang in unmittelbarer Nähe zur Brennkraftmaschine.

[0007] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Lösung ist der Druckluftmotor über eine Kraftübertragungseinrichtung, insbesondere ein Getriebe mit einem Freilauf, mit der Brennkraftmaschine, dem Antriebsstrang des Kraftfahrzeugs oder einem Nebenaggregat verbunden. Eine derartige Kraftübertragungseinrichtung kann bspw. auch direkt mit einer Radnabe oder einem Differential des Kraftfahrzeugs verbunden sein und darüber mechanische Energie in den Antriebsstrang bzw. das zugehörige Rad eintragen. Über eine Kraftkopplung mit einem Nebenaggregat kann die mechanische Energie im Druckluftmotor weiter genutzt werden, bspw. zum Erzeugen von elektrischer Energie, sofern das Nebenaggregat als Lichtmaschine ausgebildet ist. Ebenso denkbar ist, dass das Nebenaggregat als ein Klimakompressor, als eine Pumpe, insbesondere eine Kraftstoffpumpe, eine Hydraulikpumpe oder eine Öl-

pumpe ausgebildet ist, so dass in diesem Fall der Druckluftmotor zumindest eine der zuvor beschriebenen Komponenten antreiben kann.

[0008] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Lösung ist der Druckluftmotor luftausgangsseitig mit zumindest einer der nachfolgenden Komponenten verbunden, bspw. einem Verdichtereingang eines Abgasturboladers, einer Klimaanlage, einem Ladeluftkühler oder einem Abgasrückführkühler. Hierdurch ist es möglich, die im Druckluftmotor entspannte und dadurch gekühlte Druckluft anschließend zu Kühlzwecken zu nutzen und dadurch deren in der Kälte inne wohnende thermische Energie nochmals zu verwerten.

[0009] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Lösung ist der Wärmeübertrager im Abwärmenutzungskreis stromab der Fördereinrichtung und stromauf des Verdampfers angeordnet. Eine Anordnung des Wärmeübertragers stromauf des Verdampfers ermöglicht ein Vorheizen des Arbeitsmediums durch die vom Luftkompressor verdichtete und dadurch erhitzte Druckluft. Hierdurch ist insbesondere die Ausnutzung der thermischen Energie der Druckluft möglich.

[0010] Zweckmäßig ist stromauf des Druckluftmotors ein Druckspeicher vorgesehen, der über eine Ventileinrichtung mit der Druckluftleitung verbunden ist. Ein derartiger Druckluftspeicher stellt somit eine Art Akkumulator dar, in welchem Druckluft gespeichert werden kann, sofern bspw. in dem Abwärmenutzungskreis mehr Druckluft erzeugt, als anschließend über den Druckluftmotor verbraucht wird. Hierdurch kann insbesondere eine Glättung von Versorgungsspitzen erreicht werden. Über eine entsprechende Ventileinrichtung kann darüber hinaus ein definiertes Zuführen von Druckluft zum Druckluftmotor gesteuert werden. Auch ist hierdurch ein sogenannter "Boost-Betrieb" möglich, in welchem kurzfristig eine hohe Leistung zur Verfügung gestellt wird.

[0011] Die vorliegende Erfindung beruht weiter auf dem allgemeinen Gedanken, ein Verfahren zum Betrieb zur vorbeschriebenen Brennkraftmaschine anzugeben, bei dem die Abwärme der Brennkraftmaschine zu einem Verdampfer einer Abwärmenutzungseinrichtung in einen Abwärmenutzungskreis geleitet wird. Unter der Abwärme der Brennkraftmaschine werden insbesondere deren heiße Abgase verstanden. Der Verdampfer erhitzt mittels der heißen Abgase der Brennkraftmaschine ein Arbeitsmedium des Abwärmenutzungskreises, mittels welchem dann anschließend ein in dem Abwärmenutzungskreis angeordneter Expander angetrieben wird. Ein derartiger Expander bzw. eine solche Expansionsmaschine, kann bspw. eine Axialkolbenmaschine, sein. Der Expander ist dabei kraftübertragend mit einem Luftkompressor verbunden, der die Druckluft

erzeugt und in einen in den Abwärmenutzungskreis eingebundenen Wärmeübertrager leitet, in dem die Kompressionswärme der Druckluft zur Vorheizung des Arbeitsmediums im Abwärmenutzungskreis genutzt wird. Die aus dem Wärmeübertrager ausströmende Druckluft wird dann weiter über die Druckluftleitung zum Druckluftmotor geleitet und treibt diesen an, wobei dieser die Brennkraftmaschine, den Antriebsstrang des Kraftfahrzeugs oder ein beliebiges Nebenaggregat antreibt. Hierdurch ist es möglich, die Abwärme der Brennkraftmaschine in besonders effektiver Weise zu nutzen.

[0012] Zweckmäßig beaufschlagt der Druckluftmotor zumindest eine der nachfolgenden Komponenten mit gekühlter Abluft, ein Abgasturbolader, eine Klimaanlage, einen Ladeluftkühler oder einen Abgasrückführkühler. Die aus dem Druckluftmotor ausströmende und einen deutlich geringeren Druck aufweisende Luft kann somit weiter genutzt werden, um nachfolgende Komponenten mit Druckluft mit geringerem Druck und geringerer Temperatur zu versorgen.

[0013] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein auskondensierter Wasseranteil der Druckluft aus dem Druckluftmotor zur Verbesserung einer Leistung, das heißt insbesondere zur Kühlung, der Klimaanlage, des Ladeluftkühlers und/oder des Abgasrückführkühlers und/oder zur Substitution eines Abgasrückführ-Anteils verwendet. Da sich die Druckluft im Druckluftmotor entspannt und dabei abkühlt, kann die nun kühlere Druckluft zusätzlich zur thermischen Nutzung weiter verwendet werden, wodurch der Wirkungsgrad nochmals erheblich gesteigert werden kann.

[0014] Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

[0015] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0016] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Komponenten beziehen.

[0017] Es zeigen, jeweils schematisch,

[0018] Fig. 1 eine erste mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs,

[0019] Fig. 2 eine Darstellung wie in Fig. 1, jedoch bei einer alternativen Ausführungsform.

[0020] Entsprechend den Fig. 1 und Fig. 2, weist eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine 1 eines Kraftfahrzeugs 2 eine Abwärmenutzungseinrichtung 3 mit folgenden in einen Abwärmenutzungskreis 4 eingebundenen Komponenten auf: Einen Verdampfer 5, der mit heißem Abgas aus der Brennkraftmaschine 1 beaufschlagt ist, einen Expander 6, einen Kondensator 7 sowie eine Fördereinrichtung 8 zum Fördern eines Arbeitsmediums innerhalb des Abwärmenutzungskreises 4. Ebenso vorgesehen ist ein Wärmeübertrager 9. Der Expander 6, der bspw. als Axialkolbenmaschine 10 oder als Turbine 11 ausgebildet sein kann, ist dabei mit einem Verdichter, das heißt einem Luftkompressor 12 antriebsverbunden. Der Luftkompressor 12 wiederum ist luftausgangsseitig über eine Druckluftleitung 13 mit einem Eingang des Wärmeübertragers 9 verbunden, wobei der Wärmeübertrager 9 luftausgangsseitig über die Druckluftleitung 13 mit einem Druckluftmotor 14 verbunden ist, der wiederum kraftübertragend mit der Brennkraftmaschine 1, einem Antriebsstrang 15 des Kraftfahrzeugs 2 oder einem Nebenaggregat 16 gekoppelt ist.

[0021] Beispielsweise ist dabei der Druckluftmotor 14 über eine Kraftübertragungseinrichtung 17, bspw. einem Getriebe mit einem Freilauf, mit der Brennkraftmaschine 2, dem Antriebsstrang 15 des Kraftfahrzeugs 2 oder einem Nebenaggregat 16 verbunden. Ein derartiges Nebenaggregat 16 kann bspw. als Klimakompressor, als Lichtmaschine, als Pumpe, insbesondere als Kraftstoffpumpe, als Hydraulikpumpe oder als Ölpumpe, ausgebildet sein.

[0022] Luftausgangsseitig kann der Druckluftmotor 14 darüber hinaus mit zumindest einer der nachfolgenden Komponenten verbunden sein, bspw. einem Verdichtereingang eines Abgasturboladers 18, einer Klimaanlage 19, einem Ladeluftkühler 20 oder einem Abgasrückführkühler 21. Es ist somit sowohl eine mechanische Kopplung des Druckluftmotors 14 mit einem Nebenaggregat 16 möglich, als auch eine luftseitige Kopplung mit zumindest einer der zuvor beschriebenen Komponenten. Hierbei kann insbesondere eine Kühlung der zuvor beschriebenen Komponenten bzw. eine Kühlunterstützung der zuvor beschriebenen Komponenten durch die im Druckluftmotor 14 entspannte und damit gekühlte und hinsichtlich ihres Drucks geminderte Druckluft bzw. Luft erfolgen. Betrachtet man die Fig. 1 und Fig. 2 weiter, so kann man erkennen, dass der Wärmeübertrager 9 im Abwärmenutzungskreis 4 stromab der Fördereinrichtung 8 und stromauf des Verdampfers 5 angeordnet ist, so dass die im Luftkompressor 12 komprimier-

te und damit auch erhitzte Druckluft zur thermischen Nutzung und zur Vorerhitzung des Arbeitsmediums im Abwärmenutzungskreis 4 genutzt werden kann.

[0023] Darüber hinaus vorgesehen sein kann ein stromauf des Druckluftmotors 14 angeordneter Druckspeicher 22, der aufladbar ist, sofern der Luftkompressor 12 mehr Druckluft erzeugt, als im Druckluftmotor 14 nutzbar ist. Ein derartiger Druckspeicher 22 ist dabei über eine Ventileinrichtung 23 mit der Druckluftleitung 13 verbunden, so dass eine Druckluftabgabe definiert erfolgen kann. Hierzu kann die Ventileinrichtung 13 bspw. mit einem Motorsteuerggerät der Brennkraftmaschine 1 gekoppelt sein. Die in dem Druckspeicher 22 gespeicherte Druckluft kann auch für einen so genannten „Boost“-Betrieb des Druckluftmotors 14 genutzt werden, so dass dieser mit höherer Leistung als der Expander 6 betrieben werden kann.

[0024] Ein Betrieb der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine 1 erfolgt dabei wie folgt: Zunächst werden die heißen Abgasen der Brennkraftmaschine 1 zum Verdampfer 5 im Abwärmenutzungskreis 4 geleitet und verdampfen dort das im Abwärmenutzungskreis 4 zirkulierende Arbeitsmedium auf. Das verdampfte Arbeitsmedium wird dann zum Expander 6, bspw. der Axialkolbenmaschine 10 oder der Turbine 11 geleitet und treibt diese an. Der Expander 6 ist dabei antriebsverbunden mit dem Luftkompressor 12, welcher dadurch bei einem Antrieb des Expanders 6 Druckluft erzeugt. Die vom Luftkompressor 12 erzeugte Druckluft wird in einen in den Abwärmenutzungskreis 4 eingebundenen Wärmeübertrager 9 geleitet, in dem die Kompressionswärme der Druckluft zur Vorheizung des Arbeitsmediums im Abwärmenutzungskreis 4 genutzt wird. Hierdurch kann die Druckluft nicht nur mechanisch zum Antrieb bspw. des Druckluftmotors 14 verwendet werden, sondern zudem kann diese auch thermisch bereits im Abwärmenutzungskreis 4 zum Vorheizen des Arbeitsmediums genutzt werden. Anschließend wird die Druckluft über die Druckluftleitung 13 zum Druckluftmotor 14 geleitet und treibt diesen an, wodurch der Druckluftmotor 14 wiederum nachgeschaltete Aggregate, wie bspw. die Brennkraftmaschine 1, den Antriebsstrang 15 des Kraftfahrzeugs 2 oder ein Nebenaggregat 16 mechanisch antreiben kann. Zwischen dem Druckluftmotor 14 einerseits und der Brennkraftmaschine 1 bzw. dem Antriebsstrang 15 bzw. den Nebenaggregaten 16 andererseits kann dabei jeweils eine Kraftübertragungseinrichtung 17, bspw. ein Getriebe mit oder ohne Freilauf, angeordnet sein.

[0025] Nach der mechanischen Nutzung der Druckluft im Druckluftmotor 14 strömt diese aus diesem in entspanntem und kühlerem Zustand aus und kann im Weiteren nachfolgende Komponenten mit Luft beaufschlagen, bspw. einen Verdichter des Abgasturboladers 18, eine Klimaanlage 19, einen Ladeluftküh-

ler **20** oder ein Abgasrückführkühler **21**. Der auskondensierte Wasseranteil der Druckluft aus dem Druckluftmotor **14** kann darüber hinaus zur Unterstützung der Klimaanlage **19**, des Ladeluftkühlers **20** und/oder des Abgasrückführkühlers **21** verwendet werden und dadurch deren Leistung steigern. Zusätzlich oder alternativ ist auch denkbar, dass ein auskondensierter Wasseranteil der Druckluft aus dem Druckluftmotor **14** zur Substitution eines Abgasrückführ-Anteils genutzt wird.

[0026] Selbstverständlich kann die mittels des Luftkompressors **12** erzeugte Druckluft im Kraftfahrzeug **2**, bspw. einem LKW, auch noch an anderer Stelle drucklufttechnisch genutzt werden. Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine liegt insbesondere auch darin, dass der Abwärmenutzungskreis **4** unabhängig von der Position der Kraftübertragungseinrichtung **17** bzw. der Brennkraftmaschine **1** im Kraftfahrzeug **2** positioniert werden kann, da keine mechanische Verbindung zwischen dem Expander **6** und dem Antriebsstrang **15** des Kraftfahrzeugs **2** besteht. Mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine **1** und dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb derselben kann somit die aus der Brennkraftmaschine **1** bislang ungenutzt austretende thermische Energie in Form von heißen Abgasen sowohl mechanisch als auch thermisch weiter genutzt werden, wodurch ein Wirkungsgrad der damit ausgestatteten Brennkraftmaschine **1** sowie ein Wirkungsgrad des Kraftfahrzeugs **2** deutlich gesteigert werden können.

Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine (**1**) eines Kraftfahrzeugs (**2**) mit einer Abwärmenutzungseinrichtung (**3**),
 – wobei die Abwärmenutzungseinrichtung (**3**) folgendermaßen, in einen Abwärmenutzungskreis (**4**) eingebundene, Komponenten aufweist,
 – einen Verdampfer (**5**), der mit heißem Abgas aus der Brennkraftmaschine (**1**) beaufschlagt ist,
 – einen Expander (**6**), einen Kondensator (**7**) und eine Fördereinrichtung (**8**) zum Fördern von Arbeitsmedium,
 – einen Wärmeübertrager (**9**),
 – wobei der Expander (**6**) mit einem Luftkompressor (**12**) antriebsverbunden ist,
 – wobei der Luftkompressor (**12**) ausgangsseitig mit einem Eingang des Wärmeübertragers (**9**) verbunden ist,
 – wobei der Wärmeübertrager (**9**) ausgangsseitig über eine Druckluftleitung (**13**) mit einem Druckluftmotor (**14**) verbunden ist, der kraftübertragend mit der Brennkraftmaschine (**1**), einem Antriebsstrang (**15**) des Kraftfahrzeugs (**2**) oder einem Nebenaggregat (**16**) verbunden ist.

2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckluftmotor (**14**) über

eine Kraftübertragungseinrichtung (**17**), insbesondere ein Getriebe mit Freilauf, mit der Brennkraftmaschine (**1**), dem Antriebsstrang (**15**) des Kraftfahrzeugs (**2**) oder einem Nebenaggregat (**16**) verbunden ist.

3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nebenaggregat (**16**) als ein Klimakompressor, eine Lichtmaschine oder eine Pumpe, insbesondere eine Kraftstoffpumpe, eine Hydraulikpumpe oder eine Ölpumpe, ausgebildet ist.

4. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckluftmotor (**14**) luftausgangsseitig mit zumindest einer der nachfolgenden Komponenten verbunden ist, einem Verdichtereingang eines Abgasturboladers (**18**), einer Klimaanlage (**19**), einem Ladeluftkühler (**20**) oder einem Abgasrückführkühler (**21**).

5. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmeübertrager (**9**) im Abwärmenutzungskreis (**4**) stromauf des Verdampfers (**5**) angeordnet ist.

6. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Expander (**6**) als Axialkolbenmaschine (**10**) oder Turbine (**11**) ausgebildet ist.

7. Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromauf des Druckluftmotors (**14**) ein Druckspeicher (**22**) vorgesehen ist, der über eine Ventileinrichtung (**23**) mit der Druckluftleitung (**13**) verbunden ist.

8. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (**1**) eines Kraftfahrzeugs (**2**) mit einer Abwärmenutzungseinrichtung (**3**), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem
 – Abwärme der Brennkraftmaschine (**1**) zu einem Verdampfer (**5**) der Abwärmenutzungseinrichtung (**3**) geleitet wird,
 – der Verdampfer (**5**) ein Arbeitsmedium im Abwärmenutzungskreis (**4**) erhitzt und damit einen mit einem Luftkompressor (**12**) antriebsverbundenen Expander (**6**) antreibt,
 – der Luftkompressor (**12**) Druckluft erzeugt und über eine Druckluftleitung (**13**) zu einem in den Abwärmenutzungskreis (**4**) eingebundenen Wärmeübertrager (**9**) leitet, in dem die Kompressionswärme der Druckluft zur Vorheizung des Arbeitsmediums genutzt wird,
 – die Druckluft über die Druckluftleitung (**13**) weiter zum Druckluftmotor (**14**) geleitet wird und diesen antreibt, wobei der Druckluftmotor (**14**) die Brennkraftmaschine (**1**), den Antriebsstrang (**15**) des Kraftfahrzeugs (**2**) oder ein Nebenaggregat (**16**) antreibt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckluftmotor (**14**) zumindest eine der nachfolgenden Komponenten mit Luft beauf-

schlägt, einen Abgasturbolader (18), eine Klimaanlage (19), einen Ladeluftkühler (20) oder einen Abgasrückführkühler (21).

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

- ein auskondensierter Wasseranteil der Druckluft aus dem Druckluftmotor (14) zur Verbesserung einer Leistung der Klimaanlage (19), des Ladeluftkühlers (20) und/oder des Abgasrückführkühlers (21) verwendet wird, und/oder
- ein auskondensierter Wasseranteil der Druckluft aus dem Druckluftmotor (14) zur Substitution eines AGR-Anteils verwendet wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

