



(10) **DE 20 2015 102 241 U1** 2015.07.09

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2015 102 241.7**
(22) Anmeldetag: **04.05.2015**
(47) Eintragungstag: **01.06.2015**
(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **09.07.2015**

(51) Int Cl.: **F02B 37/013** (2006.01)
F02B 37/16 (2006.01)
F02B 37/18 (2006.01)
F02B 37/24 (2006.01)
F02B 19/04 (2006.01)
F01N 3/10 (2006.01)
F02D 23/00 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2015 207 547.8 **24.04.2015**
10 2015 207 545.1 **24.04.2015**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
**Drömer, Hans-Carsten, Dipl.-Phys. Dr.-Ing., 50735
Köln, DE**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

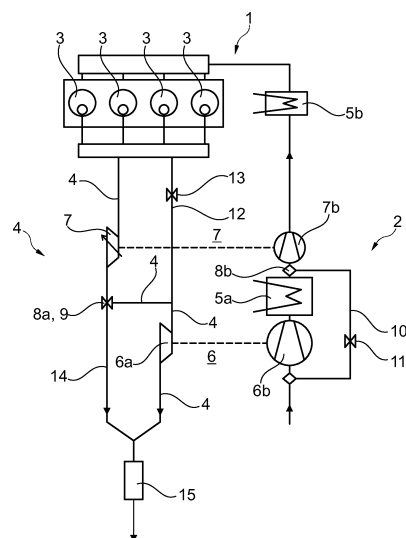
(54) Bezeichnung: **Zweistufig aufladbare Brennkraftmaschine mit Abgasnachbehandlung**

(57) Hauptanspruch: Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) mit einem Ansaugsystem (2) zum Zuführen von Ladeluft und einem Abgasabführsystem (4) zum Abführen von Abgas und mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Abgasturboladern (6, 7), die jeweils eine im Abgasabführsystem (4) angeordnete Turbine (6a, 7a) und einen im Ansaugsystem (2) angeordneten Verdichter (6b, 7b) umfassen und von denen ein erster Abgasturbolader (6) als Niederdruckstufe (6) dient und ein zweiter Abgasturbolader (7) als Hochdruckstufe (7) dient, wobei

- die zweite Turbine (7a) des zweiten Abgasturboladers (7) stromaufwärts der ersten Turbine (6a) des ersten Abgasturboladers (6) angeordnet ist und der zweite Verdichter (7b) des zweiten Abgasturboladers (7) stromabwärts des ersten Verdichters (6b) des ersten Abgasturboladers (6) angeordnet ist,
- eine erste Bypassleitung (14) vorgesehen ist, die zwischen der ersten Turbine (6a) und der zweiten Turbine (7a) unter Ausbildung eines ersten Knotenpunktes (8a) vom Abgasabführsystem (4) abzweigt,
- eine zweite Bypassleitung (12) vorgesehen ist, die stromaufwärts der zweiten Turbine (7a) vom Abgasabführsystem (4) abzweigt und die zwischen der ersten Turbine (6a) und der zweiten Turbine (7a) wieder in das Abgasabführsystem (4) einmündet und in der ein Absperrerelement (13) angeordnet ist,
- eine dritte Bypassleitung (10) vorgesehen ist, die zwischen dem ersten Verdichter (6b) und dem zweiten Verdichter (7b) unter Ausbildung eines zweiten Knotenpunktes (8b) in das Ansaugsystem (2) einmündet und in der ein weiteres Absperrerelement (11) angeordnet ist, und
- stromabwärts der Turbinen (6a, 7a) mindestens ein Abgasnachbehandlungssystem (15) im Abgasabführsystem (4) vorgesehen ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- am ersten Knotenpunkt (8a) ein Ventil (9) im Abgasabführsystem (4) angeordnet ist, und
- im Ansaugsystem (2) zwischen dem ersten Verdichter (6b) und dem zweiten Verdichter (7b) ein Ladeluftkühler (5a) angeordnet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit einem Ansaugsystem zum Zuführen von Ladeluft und einem Abgasabführsystem zum Abführen von Abgas und mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Abgasturboladern, die jeweils eine im Abgasabführsystem angeordnete Turbine und einen im Ansaugsystem angeordneten Verdichter umfassen und von denen ein erster Abgasturbolader als Niederdruckstufe dient und ein zweiter Abgasturbolader als Hochdruckstufe dient, wobei

- die zweite Turbine des zweiten Abgasturboladers stromaufwärts der ersten Turbine des ersten Abgasturboladers angeordnet ist und der zweite Verdichter des zweiten Abgasturboladers stromabwärts des ersten Verdichters des ersten Abgasturboladers angeordnet ist,
- eine erste Bypassleitung vorgesehen ist, die zwischen der ersten Turbine und der zweiten Turbine unter Ausbildung eines ersten Knotenpunktes vom Abgasabführsystem abzweigt,
- eine zweite Bypassleitung vorgesehen ist, die stromaufwärts der zweiten Turbine vom Abgasabführsystem abzweigt und die zwischen der ersten Turbine und der zweiten Turbine wieder in das Abgasabführsystem einmündet und in der ein Absperrerelement angeordnet ist,
- eine dritte Bypassleitung vorgesehen ist, die zwischen dem ersten Verdichter und dem zweiten Verdichter unter Ausbildung eines zweiten Knotenpunktes in das Ansaugsystem einmündet und in der ein weiteres Absperrerelement angeordnet ist, und
- stromabwärts der Turbinen mindestens ein Abgasnachbehandlungssystem im Abgasabführsystem vorgesehen ist.

[0002] Eine Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art wird als Krafffahrzeugantrieb eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff Brennkraftmaschine Ottomotoren, Dieselmotoren, aber auch Hybrid-Brennkraftmaschinen, die ein Hybrid-Brennverfahren nutzen, sowie Hybrid-Antriebe, die neben der Brennkraftmaschine eine mit der Brennkraftmaschine antriebsverbindbare Elektromaschine umfassen, welche Leistung von der Brennkraftmaschine aufnimmt oder als zuschaltbarer Hilfsantrieb zusätzlich Leistung abgibt.

[0003] Die Aufladung der Brennkraftmaschine dient in erster Linie der Leistungssteigerung. Die für den Verbrennungsprozess benötigte Luft wird verdichtet, wodurch jedem Zylinder pro Arbeitsspiel eine größere Luftmasse zugeführt werden kann. Dadurch können die Kraftstoffmasse und damit der Mitteldruck gesteigert werden.

[0004] Die Aufladung ist ein geeignetes Mittel, bei unverändertem Hubraum die Leistung einer Brenn-

kraftmaschine zu steigern, oder bei gleicher Leistung den Hubraum zu reduzieren. In jedem Fall führt die Aufladung zu einer Erhöhung der Bauraumleistung und einer günstigeren Leistungsmasse. Wird der Hubraum verringert, lässt sich das Lastkollektiv zu höheren Lasten hin verschieben, bei denen der spezifische Kraftstoffverbrauch niedriger ist. Durch Aufladung in Kombination mit einer geeigneten Getriebeauslegung kann auch ein sogenanntes Downspeeding realisiert werden, bei dem ebenfalls ein geringerer spezifischer Kraftstoffverbrauch erzielt werden kann.

[0005] Die Aufladung unterstützt folglich das ständige Bemühen in der Entwicklung von Brennkraftmaschinen, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren, d. h. den Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine zu verbessern.

[0006] In der Regel wird für die Aufladung ein Abgasturbolader eingesetzt, bei dem ein Verdichter und eine Turbine auf derselben Welle angeordnet sind. Der heiße Abgasstrom wird der Turbine zugeführt und entspannt sich unter Energieabgabe in dieser Turbine, wodurch die Welle in Drehung versetzt wird. Die vom Abgasstrom an die Turbine und schließlich an die Welle abgegebene Energie wird für den Antrieb des ebenfalls auf der Welle angeordneten Verdichters genutzt. Der Verdichter fördert und komprimiert die ihm zugeführte Ladeluft, wodurch eine Aufladung der Zylinder erreicht wird. Gegebenenfalls ist zusätzlich eine Ladeluftkühlung vorgesehen, mit der die komprimierte Ladeluft vor Eintritt in die Zylinder gekühlt wird.

[0007] Der Vorteil eines Abgasturboladers beispielsweise im Vergleich zu einem mechanischen Lader besteht darin, dass keine mechanische Verbindung zur Leistungsübertragung zwischen Lader und Brennkraftmaschine besteht bzw. erforderlich ist. Während ein mechanischer Lader die für seinen Antrieb benötigte Energie vollständig von der Brennkraftmaschine bezieht und somit die bereitgestellte Leistung mindert und auf diese Weise den Wirkungsgrad nachteilig beeinflusst, nutzt der Abgasturbolader die Abgasenergie der heißen Abgase.

[0008] Schwierigkeiten bereitet die Auslegung der Abgasturboaufladung, wobei grundsätzlich eine spürbare Leistungssteigerung in allen Drehzahlbereichen angestrebt wird. Bei mit einem Abgasturbolader aufgeladenen Brennkraftmaschinen wird bei Unterschreiten einer bestimmten Drehzahl ein spürbarer Drehmomentabfall beobachtet. Dieser Effekt ist unerwünscht und zählt zu den Nachteilen der Abgasturboaufladung.

[0009] Verständlich wird dieser Drehmomentabfall, wenn berücksichtigt wird, dass das Ladedruckverhältnis vom Turbinendruckverhältnis abhängt. Wird

beispielsweise die Motordrehzahl verringert, führt dies zu einem kleineren Abgasmassenstrom und damit zu einem kleineren Turbinendruckverhältnis. Dies hat zur Folge, dass zu niedrigeren Drehzahlen hin das Ladedruckverhältnis ebenfalls abnimmt, was gleichbedeutend ist mit einem Drehmomentabfall.

[0010] Die Drehmomentcharakteristik einer mittels Abgasturboaufladung aufgeladenen Brennkraftmaschine wird nach dem Stand der Technik durch unterschiedliche Maßnahmen zu verbessern versucht.

[0011] Beispielsweise durch eine kleine Auslegung des Turbinenquerschnitts und gleichzeitiger Abgasabblausung. Eine derartige Turbine wird auch als Waste-Gate-Turbine bezeichnet. Überschreitet der Abgasmassenstrom eine kritische Größe wird ein Teil des Abgasstroms im Rahmen einer sogenannten Abgasabblausung mittels einer Bypassleitung an der Turbine vorbei geführt. Diese Vorgehensweise hat aber den Nachteil, dass das Aufladeverhalten bei höheren Drehzahlen unzureichend ist.

[0012] Die Drehmomentcharakteristik einer aufgeladenen Brennkraftmaschine kann des Weiteren durch mehrere parallel angeordnete Turbolader, d. h. durch mehrere parallel angeordnete Turbinen von kleinerem Turbinenquerschnitt, verbessert werden, wobei mit steigender Abgasmenge Turbinen sukzessive zugeschaltet werden; ähnlich einer Registeraufladung.

[0013] Die Drehmomentcharakteristik kann auch mittels mehrerer in Reihe geschalteter Abgasturbolader vorteilhaft beeinflusst werden. Durch das in Reihe Schalten von zwei Abgasturboladern, von denen ein Abgasturbolader als Hochdruckstufe und ein Abgasturbolader als Niederdruckstufe dient, kann das Verdichterkennfeld in vorteilhafter Weise aufgeweitet werden und zwar sowohl hin zu kleineren Verdichterströmen als auch hin zu größeren Verdichterströmen.

[0014] Insbesondere ist bei dem als Hochdruckstufe dienenden Abgasturbolader ein Verschieben der Pumpgrenze hin zu kleineren Verdichterströmen möglich, wodurch auch bei kleinen Verdichterströmen hohe Ladedruckverhältnisse erzielt werden können, was die Drehmomentcharakteristik im unteren Drehzahlbereich deutlich verbessert. Erreicht wird dies durch eine Auslegung der Hochdruckturbine auf kleine Abgasmassenströme und Vorsehen einer Bypassleitung, mit der bei zunehmendem Abgasmassenstrom zunehmend Abgas an der Hochdruckturbine vorbeigeführt wird. Die Bypassleitung zweigt hierzu stromaufwärts der Hochdruckturbine vom Abgasabführsystem ab und mündet stromaufwärts der Niederdruckturbine wieder in das Abgasabführsystem. In der Bypassleitung ist ein Absperrerelement angeordnet, um den an der Hochdruckturbine vorbeigeführten Abgasstrom zu steuern. Eine zweistufig aufladbare Brennkraftmaschine der vorstehenden Art wird

beispielsweise in der europäischen Patentanmeldung EP 1 640 596 A1 beschrieben.

[0015] Auch die Brennkraftmaschine, die Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist, verfügt über mindestens zwei in Reihe angeordnete Turbolader.

[0016] Zwei in Reihe geschaltete Abgasturbolader bieten über das bereits Gesagte hinaus noch weitere Vorteile. Die Leistungssteigerung durch Aufladung kann weiter erhöht werden. Des Weiteren ist das Ansprechverhalten einer derart aufgeladenen Brennkraftmaschine, insbesondere im Teillastbereich, deutlich verbessert gegenüber einer vergleichbaren Brennkraftmaschine mit einstufiger Aufladung. Der Grund hierfür ist darin zu finden, dass die kleinere Hochdruckstufe weniger träge ist als ein im Rahmen einer einstufigen Aufladung verwendeter größerer Abgasturbolader, weil sich das Laufzeug bzw. Laufrad eines kleiner dimensionierten Abgasturboladers schneller beschleunigen und verzögern lässt.

[0017] Dies hat auch hinsichtlich der Partikelemissionen Vorteile. Bei einer Beschleunigung folgt die den Zylindern zu zuführende Luftmasse der erhöhten Kraftstoffmenge infolge der Trägheit der Laufräder grundsätzlich nur verzögert. Bei einem kleineren Hochdruckturbolader hingegen wird die Ladeluft nahezu verzögerungsfrei dem Motor zugeführt, weshalb Betriebszustände mit erhöhter Partikelemission nahezu vermieden werden.

[0018] Die Verwendung mehrerer Abgasturbolader hat aber auch Nachteile.

[0019] Bei der Auslegung der Abgasturboaufladung ist man bemüht, die Turbine bzw. die Turbinen möglichst nahe am Auslass der Brennkraftmaschine, d. h. nahe der Auslassöffnungen der Zylinder, anzuordnen, um auf diese Weise die Abgasenthalpie der heißen Abgase, die maßgeblich vom Abgasdruck und der Abgastemperatur bestimmt wird, optimal nutzen zu können und ein schnelles Ansprechverhalten des Turboladers zu gewährleisten. Nicht nur der Weg der heißen Abgase zur Turbine verkürzt sich durch eine motornahe Anordnung, auch das Volumen des Abgasabführsystems stromaufwärts der Turbine nimmt ab. Die thermische Trägheit des Abgasabführsystems nimmt ebenfalls ab und zwar durch Reduzierung der Masse und der Länge des Teilstückes des Abgasabführsystems bis hin zur Turbine. Aus den vorstehend genannten Gründen werden die Turbinen in der Regel auslassseitig am Zylinderkopf angeordnet. Der Abgaskrümmen wird nach dem Stand der Technik häufig im Zylinderkopf integriert. Die Integration des Abgaskrümmers gestattet darüber hinaus ein dichtes Packaging der Antriebseinheit. Zudem kann von einer gegebenenfalls im Zylinderkopf vorgesehene Flüssigkeitskühlung partizipiert werden, so dass

der Krümmer nicht aus thermisch hoch belastbaren Werkstoffen gefertigt werden muss, die kostenintensiv sind. Bei einer zweistufigen Aufladung bereitet die motornahe Anordnung der Turbine der Niederdruckstufe Probleme.

[0020] Als problematisch erweist sich die Abgasturboaufladung auch in Kombination mit einer Abgasnachbehandlung. Eine zweistufig aufladbare Brennkraftmaschine mit Abgasnachbehandlung wird beispielsweise in der europäischen Patentanmeldung EP 1 396 619 A1 beschrieben. Die EP 1 396 619 A1 hat die gleichzeitige Verwendung einer Abgasturboaufladung und einer Abgasnachbehandlung zum Gegenstand, wobei die möglichst nahe Anordnung des Abgasnachbehandlungssystems am Auslass der Brennkraftmaschine angestrebt wird. Es werden mehrere Konzepte aufgezeigt.

[0021] Bei einer Ausführungsform gemäß der EP 1 396 619 A1 wird der Abgasstrom mittels geeigneter Umschaltvorrichtungen und Bypassleitungen in der Art gelenkt, dass dieser an beiden Turbinen vorbei geführt wird. Dies bietet hinsichtlich eines im Abgasabführsystem stromabwärts der Turbinen angeordneten Katalysators, insbesondere nach einem Kaltstart bzw. in der Warmlaufphase der Brennkraftmaschine, Vorteile, da das heiße Abgas direkt dem Katalysator zugeführt wird und nicht erst unter Wärmeabgabe durch die als Temperatursenke anzusehenden Turbinen geleitet wird. Auf diese Weise erreicht der Katalysator nach einem Kaltstart bzw. in der Warmlaufphase schneller seine Anspringtemperatur. Eine weitere Ausführungsform sieht die Anordnung eines zweiten Katalysators in der die beiden Turbinen umgehenden Bypassleitung vor.

[0022] Nachteilig an dem in der EP 1 396 619 A1 beschriebenen Konzept ist, dass in der Warmlaufphase der Brennkraftmaschine das gesamte Abgas zwecks Aufheizung der Katalysatoren zugeführt und kein Abgas durch die Turbinen geleitet wird. Während der Warmlaufphase kann somit keine Aufladung der Brennkraftmaschine erfolgen bzw. durchgeführt werden, da kein Ladedruck unter Ausnutzung der Abgasenergie generiert werden kann.

[0023] Der aufgezeigte Konflikt zwischen Abgasturboaufladung und Abgasnachbehandlung kann nach dem Stand der Technik nicht aufgelöst werden.

[0024] Vor diesem Hintergrund ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine aufgeladene Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, mit der die nach dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden und mit der insbesondere nach einem Kaltstart gleichzeitig hohe Ladedrücke generiert werden können und eine schnelle Aufheizung der Abgasnachbehandlungssysteme realisiert werden kann.

[0025] Gelöst wird diese Aufgabe durch eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit einem Ansaugsystem zum Zuführen von Ladeluft und einem Abgasabführsystem zum Abführen von Abgas und mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Abgasturboladern, die jeweils eine im Abgasabführsystem angeordnete Turbine und einen im Ansaugsystem angeordneten Verdichter umfassen und von denen ein erster Abgasturbolader als Niederdruckstufe dient und ein zweiter Abgasturbolader als Hochdruckstufe dient, wobei

- die zweite Turbine des zweiten Abgasturboladers stromaufwärts der ersten Turbine des ersten Abgasturboladers angeordnet ist und der zweite Verdichter des zweiten Abgasturboladers stromabwärts des ersten Verdichters des ersten Abgasturboladers angeordnet ist,
- eine erste Bypassleitung vorgesehen ist, die zwischen der ersten Turbine und der zweiten Turbine unter Ausbildung eines ersten Knotenpunktes vom Abgasabführsystem abzweigt,
- eine zweite Bypassleitung vorgesehen ist, die stromaufwärts der zweiten Turbine vom Abgasabführsystem abzweigt und die zwischen der ersten Turbine und der zweiten Turbine wieder in das Abgasabführsystem einmündet und in der ein Absperrlement angeordnet ist,
- eine dritte Bypassleitung vorgesehen ist, die zwischen dem ersten Verdichter und dem zweiten Verdichter unter Ausbildung eines zweiten Knotenpunktes in das Ansaugsystem einmündet und in der ein weiteres Absperrlement angeordnet ist, und
- stromabwärts der Turbinen mindestens ein Abgasnachbehandlungssystem im Abgasabführsystem vorgesehen ist,

und die dadurch gekennzeichnet ist, dass

- am ersten Knotenpunkt ein Ventil im Abgasabführsystem angeordnet ist, und
- im Ansaugsystem zwischen dem ersten Verdichter und dem zweiten Verdichter ein Ladeluftkühler angeordnet ist.

[0026] Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine ist mit zwei in Reihe schaltbaren, im Abgasabführsystem in Reihe angeordneten Turbinen und zwei in Reihe schaltbaren, im Ansaugsystem in Reihe angeordneten Verdichtern ausgestattet.

[0027] Vorteilhaft sind daher Ausführungsformen, bei denen der erste Verdichter größer ausgelegt ist als der zweite Verdichter, weil bei dieser Ausgestaltung der Brennkraftmaschine bzw. der Aufladung der erste Verdichter im Rahmen einer zweistufigen Verdichtung die Niederdruckstufe bildet, wohingegen der zweite Verdichter die bereits vorverdichtete Luft komprimiert und somit die Hochdruckstufe darstellt.

[0028] Aus demselben Grund sind Ausführungsformen vorteilhaft, bei denen die erste Turbine größer ausgelegt ist als die zweite Turbine. Denn die zweite Turbine dient im Rahmen einer zweistufigen Aufladung als Hochdruckturbine, während sich in der ersten Turbine ein Abgasstrom entspannt, der bereits infolge des Durchlaufens der Hochdruckstufe einen geringeren Druck und eine geringere Dichte aufweist.

[0029] Erfindungsgemäß verfügen sowohl die Turbine der Hochdruckstufe als auch die Turbine der Niederdruckstufe über eine Bypassleitung, über welche Abgas an der jeweiligen Turbine vorbei geleitet werden kann.

[0030] Während der Warmlaufphase wird der Abgasstrom, vorzugsweise der gesamte Abgasstrom, durch die zweite Turbine, d. h. durch die Turbine der Hochdruckstufe, geführt und stromabwärts der zweiten Turbine via erster Bypassleitung, die stromaufwärts der ersten Turbine unter Ausbildung eines ersten Knotenpunktes vom Abgasabführsystem abzweigt, an der ersten Turbine vorbei und vorzugsweise wieder in das Abgasabführsystem geleitet.

[0031] Wird der Abgasstrom in der Warmlaufphase durch die kleinere zweite Turbine geführt, kann ein ausreichend hoher Ladedruck erzeugt werden. Gleichzeitig wird durch Umgehung der ersten Turbine die größere als Temperatursenke anzusehende Turbine eliminiert und das heiße Abgas dem mindestens einen Abgasnachbehandlungssystem zugeführt, weshalb dieses System nach einem Kaltstart bzw. in der Warmlaufphase schneller seine Anspringtemperatur erreicht.

[0032] An dem ersten Knotenpunkt, an welchem die erste Bypassleitung von dem Abgasabführsystem abzweigt, ist ein Ventil angeordnet, welches in der Warmlaufphase gemäß einer ersten Arbeitsposition das Abgasabführsystem zur ersten Turbine verspermt und die erste Bypassleitung freigibt, so dass der Abgasstrom an der größeren ersten Turbine vorbei geführt wird. Dies ist ein entscheidender Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen Ausführungsformen, bei denen das Ventil in der Bypassleitung selbst angeordnet ist und bei geöffnetem Ventil weiter Abgas in die Turbine der Niederdruckstufe strömen kann. Zwar bildet die Turbine der Niederdruckstufe auch dann einen gewissen Strömungswiderstand. Nichtsdestotrotz strömt ein Teil des Abgasstroms durch die größere erste Turbine. Dieser Teilstrom ist aber bei den hier betrachteten Betriebsmodi prozentual ein nicht unerheblicher Teil des Gesamtabgasstroms, der dann dem Abgasnachbehandlungssystem nach einem Kaltstart nicht direkt zur Aufheizung zur Verfügung steht.

[0033] Mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine wird die der Erfindung zugrunde liegende Auf-

gabe gelöst, nämlich eine aufgeladene Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitgestellt, mit der nach einem Kaltstart hohe Ladedrücke generiert werden können und gleichzeitig eine schnelle Aufheizung der Abgasnachbehandlungssysteme realisiert werden kann.

[0034] Das mindestens eine Abgasnachbehandlungssystem kann ein Oxidationskatalysator, ein Dreiwegekatalysator, ein Speicherkatalysator, ein selektiver Katalysator und/oder ein Partikelfilter sein.

[0035] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen das am ersten Knotenpunkt angeordnete Ventil gemäß einer zweiten Arbeitsposition das Abgasabführsystem zur ersten Turbine freigibt und die erste Bypassleitung verspermt.

[0036] Vorzugsweise wird die Brennkraftmaschine dann entweder gemäß einem ersten Betriebsmodus unter Verwendung des zweiten Abgasturboladers einstufig oder gemäß einem zweiten Betriebsmodus unter Verwendung des ersten Abgasturboladers und des zweiten Abgasturboladers zweistufig aufgeladen.

[0037] Im ersten Betriebsmodus befindet sich das am ersten Knotenpunkt angeordnete Ventil dann in der ersten Arbeitsposition, wohingegen sich das Ventil im zweiten Betriebsmodus in der zweiten Arbeitsposition befindet.

[0038] Erfindungsgemäß ist zwischen den Verdichtern ein Ladeluftkühler im Ansaugsystem angeordnet. Der Ladeluftkühler senkt im Rahmen einer zweistufigen Verdichtung die Temperatur der in der Niederdruckstufe komprimierten Ladeluft und steigert damit die Dichte der Ladeluft, wodurch die Verdichtung in der Hochdruckstufe verbessert wird und die Austrittstemperatur der Hochdruckstufe bei gleichem Gesamtdruckverhältnis der Aufladegruppe abgesenkt werden kann. Dies bietet auch einen Schutz vor thermischer Überbeanspruchung. Mittels Ladeluftkühler lässt sich aber auch das Gesamtdruckverhältnis der Verdichtergruppe steigern und damit die Leistung weiter erhöhen, d. h. die Leistungssteigerung weiter vorantreiben.

[0039] Der erfindungsgemäß zwischen den Verdichtern angeordnete Ladeluftkühler eröffnet zudem die Möglichkeit, eine Bypassleitung, die nach dem Stand der Technik zwingend am Hochdruckverdichter vorzusehen ist, wegzulassen, d. h. zu eliminieren. Eine derartige Bypassleitung ist erfindungsgemäß nicht erforderlich. Entweder komprimiert der Hochdruckverdichter kleinere Ladeluftmengen im Rahmen einer einstufigen Verdichtung oder aber größere Ladeluftmengen im Rahmen einer zweistufigen Verdichtung, wobei größere Ladeluftmengen in der Niederdruckstufe vorkomprimiert und im Ladeluftkühler zwischen-

gekühlt werden, bevor die auf diese Weise vorbehandelte Ladeluft in die zweite Verdichterstufe, d. h. den zweiten Verdichter eintritt. Ein Umgehen des zweiten Verdichters wird in keinem dieser beiden Betriebsmodi erforderlich. Ein dichtes Packaging der Aufladung bzw. der gesamten Antriebseinheit wird möglich.

[0040] Ein Betriebsmodus, in dem Ladeluft im Rahmen einer einstufigen Verdichtung in der Niederdruckstufe komprimiert und anschließend an dem Hochdruckverdichter via Bypassleitung vorbeigeführt wird, ist nicht erforderlich und erfindungsgemäß vorzugsweise auch nicht vorgesehen. Insofern entfällt auch ein Überführen der Brennkraftmaschine bzw. der Aufladung in diesen Betriebsmodus. Ein unerwünschter Drehmomentabfall, der üblicherweise bei einem derartigen Überführen auftreten würde, entfällt mit dem Überführvorgang.

[0041] Insofern verfügt die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine auch über eine verbesserte Drehmomentcharakteristik und ein grundsätzlich verbessertes Betriebsverhalten. Im Einzelfall kann die Brennkraftmaschine bei höheren Lasten über die gesamte Drehzahlbreite zweistufig gemäß dem zweiten Betriebsmodus aufgeladen und betrieben werden.

[0042] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine werden im Zusammenhang mit den Unteransprüchen erörtert.

[0043] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen das Ventil am ersten Knotenpunkt ein 3-2-Wege-Ventil ist, d. h. ein Ventil mit drei Anschlüssen und zwei Schaltpositionen.

[0044] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen das Ventil am ersten Knotenpunkt eine verschwenkbare Klappe ist.

[0045] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Klappe ausgehend von einer versperrten ersten Bypassleitung beim Freigeben der ersten Bypassleitung gegen die Abgasströmung verschwenkbar ist. Dann wird die Klappe, falls diese defekt ist, vom Abgasstrom in die Stellung geschwenkt, in der die erste Bypassleitung versperrt ist, und beide Turbinen werden vom Abgas durchströmt.

[0046] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen das Ventil elektrisch, hydraulisch, pneumatisch, mechanisch oder magnetisch steuerbar ist, vorzugsweise mittels Motorsteuerung.

[0047] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die erste

Bypassleitung stromabwärts der ersten Turbine wieder in das Abgasabführsystem mündet.

[0048] Dass die erste Bypassleitung wieder in das Abgasabführsystem mündet, hat den Vorteil, dass dann das gesamte Abgas dem mindestens einen im Abgasabführsystem vorgesehenen Abgasnachbehandlungssystem zugeführt werden kann.

[0049] Vorteilhaft sind daher auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die erste Bypassleitung stromaufwärts des mindestens einen im Abgasabführsystem vorgesehenen Abgasnachbehandlungssystems wieder in das Abgasabführsystem mündet.

[0050] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen in der ersten Bypassleitung mindestens ein weiteres Abgasnachbehandlungssystem vorgesehen ist. Dieses weitere Abgasnachbehandlungssystem ist in der Regel näher am Auslass der Brennkraftmaschine platziert als das mindestens eine im Abgasabführsystem vorgesehene Abgasnachbehandlungssystem. Daher erreicht dieses weitere Abgasnachbehandlungssystem nach einem Kaltstart schneller die erforderliche Anspringtemperatur.

[0051] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die zweite Bypassleitung stromaufwärts des ersten Knotenpunktes wieder in das Abgasabführsystem einmündet.

[0052] Ist das am ersten Knotenpunkt angeordnete Ventil dann in seiner ersten Arbeitsposition, in der die erste Bypassleitung freigegeben und das Abgasabführsystem zur ersten Turbine versperrt ist, wird die Brennkraftmaschine gemäß einem ersten Betriebsmodus unter Verwendung des zweiten Abgasturboladers einstufig aufgeladen, wobei das gesamte Abgas die erste Bypassleitung passiert und kein Abgas zur ersten Turbine geleitet wird.

[0053] Vorteilhaft können aber auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine sein, bei denen die zweite Bypassleitung stromabwärts des ersten Knotenpunktes wieder in das Abgasabführsystem einmündet.

[0054] Im Gegensatz zu der vorherigen Ausführungsform kann der ersten Turbine auch dann Abgas zugeführt werden, wenn das am ersten Knotenpunkt angeordnete Ventil gemäß seiner ersten Arbeitsposition das Abgasabführsystem zur ersten Turbine versperrt, nämlich indem die zweite Bypassleitung durch Öffnen des Absperrlements freigegeben wird. Auf diese Weise kann die erste Turbine auf einer vorgebbaren Mindestdrehzahl gehalten werden,

wodurch das Ansprechverhalten der Aufladung verbessert wird.

[0055] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die dritte Bypassleitung stromaufwärts des ersten Verdichters vom Ansaugsystem abzweigt.

[0056] Diese Bypassleitung kann zwar grundsätzlich auch der Ladeluftabbläsung dienen, wodurch die im ersten Verdichter komprimierte Ladeluft zurückgeführt wird. Zur Steuerung der abgeblasenen bzw. rückgeführten Ladeluft ist ein weiteres Absperrlement in der dritten Bypassleitung vorgesehen.

[0057] Die dritte Bypassleitung kann aber auch zum Ansaugen von Frischluft dienen und zwar in den Fällen, in denen kaum bzw. kein Abgas die erste große Turbine durchströmt und daher die zweite, kleinere Turbine die Verdichterarbeit leistet. Dann stellt der erste Verdichter lediglich einen Strömungswiderstand für die vom zweiten Verdichter angesaugte Frischluft dar. Eine Bypassleitung gestattet dann die Umgehung des ersten Verdichters und damit eine Entdrosselung des Ansaugsystems.

[0058] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die dritte Bypassleitung zwischen dem Ladeluftkühler und dem zweiten Verdichter unter Ausbildung des zweiten Knotenpunktes in das Ansaugsystem einmündet.

[0059] Dann wird die Ladeluft im Rahmen der einstufigen Verdichtung vor Eintritt in den Hochdruckverdichter nicht gekühlt, sondern nur im Rahmen der zweistufigen Verdichtung zwischen den Verdichtern.

[0060] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen der erste Verdichter größer ausgelegt ist als der zweite Verdichter.

[0061] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die erste Turbine größer ausgelegt ist als die zweite Turbine.

[0062] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die zweite Turbine des zweiten Abgasturboladers eine variable Turbinengeometrie aufweist.

[0063] Eine variable Turbinengeometrie erhöht die Flexibilität der Aufladung. Sie gestattet eine stufenlose Anpassung der Turbinengeometrie an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine bzw. an den momentanen Abgasmassenstrom. Im Gegensatz zu einer Turbine mit fester Geometrie kann in einem weiten Drehzahl- bzw. Lastbereich eine mehr oder weniger zufriedenstellende Aufladung realisiert werden.

[0064] Insbesondere gestattet die Kombination aus Turbine mit variabler Turbinengeometrie und einer diese Turbine umgehenden zweiten Bypassleitung die Auslegung der Hochdruckturbine auch auf kleine Abgasmassenströme und damit auf den unteren Teillastbereich. Folglich können auch bei niedrigen Drehzahlen bzw. auch bei sehr geringen Abgasmassenströmen hohe Turbinendruckverhältnisse erzielt werden.

[0065] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen stromabwärts der Verdichter ein weiterer Ladeluftkühler im Ansaugsystem angeordnet ist. Der weitere Ladeluftkühler senkt die Lufttemperatur und steigert damit die Dichte der abschließend komprimierten Luft, wodurch der weitere Kühler zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Luft, d. h. zu einer größeren Luftmasse beiträgt.

[0066] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen keine Bypassleitung vorgesehen ist, welche den zweiten Verdichter umgeht.

[0067] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die erste Turbine eine feste, nicht veränderbare Turbinengeometrie aufweist. Diese Ausführungsform hat insbesondere Kostenvorteile. Einerseits entfällt bei dieser Turbinenbauweise die komplexe und kostenintensive Verstellmechanik. Andererseits ist prinzipbedingt keine Steuerung der Turbine notwendig.

[0068] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen der erste Verdichter eine feste, nicht veränderbare Verdichtergeometrie aufweist. Verdichter mit fester Geometrie weisen aus denselben Gründen wie Turbinen mit fester Geometrie, nämlich aufgrund der einfacheren Bauweise, Kostenvorteile auf.

[0069] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen eine Abgasrückführung vorgesehen ist.

[0070] Um zukünftige Grenzwerte für Stickoxidemissionen einzuhalten, wird zunehmend häufig eine Abgasrückführung eingesetzt, d. h. die Rückführung von Abgasen aus der Abgasleitung in die Ansaugleitung, bei der mit zunehmender Abgasrückführrate die Stickoxidemissionen deutlich gesenkt werden können. Die Abgasrückführrate x_{AGR} bestimmt sich dabei zu $x_{AGR} = m_{AGR} / (m_{AGR} + m_{Frischluft})$, wobei m_{AGR} die Masse an zurückgeführtem Abgas und $m_{Frischluft}$ die zugeführte – gegebenenfalls durch einen Verdichter geführte und komprimierte – Frischluft bzw. Verbrennungsluft bezeichnet. Die Abgasrückführung eignet sich auch zur Reduzierung der Emissionen an unverbrannten Kohlenwasserstoffen im Teillastbereich.

[0071] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen die Leitung zur Abgasrückführung stromabwärts eines Ladeluftkühlers in das Ansaugsystem mündet. Auf diese Weise wird der Abgasstrom nicht durch den Ladeluftkühler geführt und kann folglich diesen Kühler nicht durch Ablagerungen von im Abgasstrom enthaltenen Schadstoffen, insbesondere Rußpartikeln und Öl, verschmutzen.

[0072] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen in der Leitung zur Abgasrückführung ein zusätzlicher Kühler vorgesehen ist. Dieser zusätzliche Kühler senkt die Temperatur im heißen Abgasstrom und steigert damit die Dichte der Abgase. Die Temperatur der Zylinderfrischladung, die sich bei der Mischung der Ladeluft mit den rückgeführten Abgasen einstellt, wird hierdurch folglich weiter gesenkt, wodurch auch der zusätzliche Kühler zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Frischgemisch beiträgt.

[0073] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen in der Leitung zur Abgasrückführung ein Absperrerelement vorgesehen ist. Dieses Absperrerelement dient der Steuerung der Abgasrückführtrate.

[0074] Um eine deutliche Senkung der Stickoxidemissionen zu erreichen, sind hohe Abgasrückführaten erforderlich, die in der Größenordnung von $x_{A-GR} \approx 60\%$ bis 70% liegen können.

[0075] Dadurch ergibt sich aber ein Konflikt beim Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Abgasturboaufladung und gleichzeitiger Verwendung einer Abgasrückführung, wenn das rückgeführte Abgas stromaufwärts der Turbine aus der Abgasleitung entnommen wird und zum Antrieb der Turbine nicht mehr zur Verfügung steht. Anhand einer einstufig aufgeladenen Brennkraftmaschine mit einem Abgasturbolader lässt sich dieser Konflikt leicht verdeutlichen.

[0076] Bei einer Steigerung der Abgasrückführtrate nimmt gleichzeitig der verbleibende der Turbine zugeführte Abgasstrom ab. Der kleinere Abgasmassestrom durch die Turbine führt zu einem kleineren Turbinendruckverhältnis. Mit abnehmendem Turbinendruckverhältnis nimmt das Ladedruckverhältnis ebenfalls ab, was gleichbedeutend ist mit einem kleineren Verdichtermassenstrom. Neben dem abnehmenden Ladedruck können sich zusätzliche Probleme beim Betrieb des Verdichters hinsichtlich der Pumpgrenze des Verdichters einstellen.

[0077] Aus diesem Grund kann es vorteilhaft sein, eine Niederdruck-AGR vorzusehen, gegebenenfalls zusätzlich zu einer Hochdruck-AGR.

[0078] Im Betrieb wird die Brennkraftmaschine vorzugsweise entweder gemäß einem ersten Betriebsmodus unter Verwendung des zweiten Abgasturboladers einstufig aufgeladen oder gemäß einem zweiten Betriebsmodus unter Verwendung des ersten Abgasturboladers und des zweiten Abgasturboladers zweistufig.

[0079] Vorteilhaft ist es, in der Warmlaufphase die erste Bypassleitung freizugeben und ein Abgasstrom zur ersten Turbine via der zweiten Turbine zu unterbinden. Dabei wird die Brennkraftmaschine gemäß dem ersten Betriebsmodus unter Verwendung des zweiten Abgasturboladers einstufig aufgeladen.

[0080] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels gemäß den **Fig. 1** und **Fig. 2** näher beschrieben. Hierbei zeigt:

[0081] **Fig. 1** schematisch eine erste Ausführungsform der aufgeladenen Brennkraftmaschine, und

[0082] **Fig. 2** schematisch das Motorkennfeld der ersten Ausführungsform.

[0083] **Fig. 1** zeigt eine erste Ausführungsform der aufgeladenen Brennkraftmaschine **1** am Beispiel eines Vier-Zylinder-Reihenmotors. Die vier Zylinder **3** der Brennkraftmaschine **1** sind entlang der Längsachse des Zylinderkopfes in Reihe angeordnet. Die Abgasleitungen der Zylinder **3** führen zu einem gemeinsamen Abgasabfuhrsystem **4** zusammen, wodurch sämtliche Abgasleitungen miteinander in Verbindung stehen und in sämtlichen Abgasleitungen derselbe Abgasdruck herrscht. Des Weiteren verfügt die Brennkraftmaschine **1** über ein Ansaugsystem **2** zur Versorgung der Zylinder **3** mit Ladeluft.

[0084] Die Brennkraftmaschine **1** ist mit zwei in Reihe schaltbaren, im Abgasabfuhrsystem **4** angeordneten Turbinen **6a, 7a** und zwei in Reihe schaltbaren, im Ansaugsystem **2** angeordneten Verdichtern **6b, 7b** ausgestattet, wobei jeweils eine Turbine **6a, 7a** und ein Verdichter **6b, 7b** zu einem Abgasturbolader **6, 7** zusammengefasst sind. Somit kann die der Brennkraftmaschine **1** zugeführte Ladeluft zweistufig verdichtet werden, wobei ein erster Abgasturbolader **6** als Niederdruckstufe **6** dient und ein zweiter Abgasturbolader **7** als Hochdruckstufe **7**. Die zweite Turbine **7a** des zweiten Abgasturboladers **7** ist stromaufwärts der ersten Turbine **6a** des ersten Abgasturboladers **6** angeordnet und der zweite Verdichter **7b** des zweiten Abgasturboladers **7** stromabwärts des ersten Verdichters **6b** des ersten Abgasturboladers **6**.

[0085] Der erste Verdichter **6b** ist größer ausgelegt als der zweite Verdichter **7b**, da der erste Verdichter **6b** im Rahmen einer zweistufigen Verdichtung die Niederdruckstufe **6** bildet, wohingegen der zweite

Verdichter **7b** die bereits vorverdichtete Luft komprimiert und somit die Hochdruckstufe **7** darstellt.

[0086] Aus demselben Grund ist die erste Turbine **6a** größer ausgelegt ist als die zweite Turbine **7a**. Denn die zweite Turbine **7a** dient als Hochdruckturbine **7a**, während sich in der ersten Turbine **6a** ein Abgasstrom entspannt, der bereits infolge des Durchlaufens der Hochdruckstufe **7** einen geringeren Druck und eine geringere Dichte aufweist.

[0087] Im Ansaugsystem **2** zwischen dem ersten Verdichter **6b** und dem zweiten Verdichter **7b** ist ein Ladeluftkühler **5a** angeordnet. Stromabwärts der Verdichter **6b**, **7b** ist ein weiterer Ladeluftkühler **5b** vorgesehen. Die Lufttemperatur wird gesenkt und damit die Dichte der Ladeluft gesteigert, wodurch eine bessere Füllung der Zylinder **3** mit Luft erreicht wird.

[0088] Stromabwärts der Turbinen **6a**, **7a** ist in der Gesamtabgasleitung **4** ein Abgasnachbehandlungssystem **15** vorgesehen.

[0089] Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform verfügt die erste Turbine **6a** über eine feste, nicht veränderbare Turbinengeometrie und eine erste Bypassleitung **14**, die zwischen der ersten Turbine **6a** und der zweiten Turbine **7a** unter Ausbildung eines ersten Knotenpunktes **8a** vom Abgasabführsystem **4** abzweigt. Die erste Bypassleitung **14** mündet stromabwärts der ersten Turbine **6a** und stromaufwärts des im Abgasabführsystem **4** vorgesehenen Abgasnachbehandlungssystems **15** wieder in das Abgasabführsystem **4**. Am ersten Knotenpunkt **8a** ist ein Ventil **9**, vorliegend ein 3-2-Wege-Ventil **9**, angeordnet.

[0090] Die zweite Turbine **7a** des zweiten Abgasturboladers **7** verfügt über eine variable Turbinengeometrie und eine zweite Bypassleitung **12**, die stromaufwärts der zweiten Turbine **7a** vom Abgasabführsystem **4** abzweigt und die zwischen der ersten Turbine **6a** und der zweiten Turbine **7a** stromabwärts des ersten Knotenpunktes **8a** wieder in das Abgasabführsystem **4** einmündet. In der zweiten Bypassleitung **12** ist ein Absperrerelement **13** angeordnet.

[0091] Der erste Verdichter **6b** ist mit einer dritten Bypassleitung **10** ausgestattet, die stromaufwärts des ersten Verdichters **6b** aus dem Ansaugsystem **2** abzweigt und zwischen dem ersten Verdichter **6b** und dem zweiten Verdichter **7b** unter Ausbildung eines zweiten Knotenpunktes **8b** in das Ansaugsystem **2** einmündet. Die dritte Bypassleitung **10** verfügt über ein weiteres Absperrerelement **11** und mündet zwischen dem Ladeluftkühler **5a** und dem zweiten Verdichter **7b** in das Ansaugsystem **2** ein.

[0092] Fig. 2 zeigt schematisch das Motorkennfeld der ersten Ausführungsform gemäß Fig. 1. Die Brennkraftmaschine **1** wird entweder gemäß einem

ersten Betriebsmodus A unter Verwendung des zweiten Abgasturboladers **7** einstufig aufgeladen oder gemäß einem zweiten Betriebsmodus B unter Verwendung des ersten und des zweiten Abgasturboladers **6**, **7** zweistufig aufgeladen.

Bezugszeichenliste

1	aufgeladene Brennkraftmaschine
2	Ansaugsystem
3	Zylinder
4	Abgasabführsystem, Gesamtabgasleitung
5a	Ladeluftkühler
5b	weiterer Ladeluftkühler
6	erster Abgasturbolader, Niederdruckstufe
6a	erste Turbine
6b	erster Verdichter
7	zweiter Abgasturbolader, Hochdruckstufe
7a	zweite Turbine
7b	zweiter Verdichter
8a	erster Knotenpunkt
8b	zweiter Knotenpunkt
9	Ventil, 2-3-Wege-Ventil
10	dritte Bypassleitung
11	weiteres Absperrerelement
12	zweite Bypassleitung
13	Absperrerelement
14	erste Bypassleitung
15	Abgasnachbehandlungssystem
A	erster Betriebsmodus, einstufige Aufladung
B	zweiter Betriebsmodus, zweistufige Aufladung
n_{mot}	Motordrehzahl

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

- EP 1640596 A1 [0014]
- EP 1396619 A1 [0020, 0020, 0021, 0022]

Schutzansprüche

1. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) mit einem Ansaugsystem (2) zum Zuführen von Ladeluft und einem Abgasabführsystem (4) zum Abführen von Abgas und mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Abgasturboladern (6, 7), die jeweils eine im Abgasabführsystem (4) angeordnete Turbine (6a, 7a) und einen im Ansaugsystem (2) angeordneten Verdichter (6b, 7b) umfassen und von denen ein erster Abgasturbolader (6) als Niederdruckstufe (6) dient und ein zweiter Abgasturbolader (7) als Hochdruckstufe (7) dient, wobei

- die zweite Turbine (7a) des zweiten Abgasturboladers (7) stromaufwärts der ersten Turbine (6a) des ersten Abgasturboladers (6) angeordnet ist und der zweite Verdichter (7b) des zweiten Abgasturboladers (7) stromabwärts des ersten Verdichters (6b) des ersten Abgasturboladers (6) angeordnet ist,
- eine erste Bypassleitung (14) vorgesehen ist, die zwischen der ersten Turbine (6a) und der zweiten Turbine (7a) unter Ausbildung eines ersten Knotenpunktes (8a) vom Abgasabführsystem (4) abzweigt,
- eine zweite Bypassleitung (12) vorgesehen ist, die stromaufwärts der zweiten Turbine (7a) vom Abgasabführsystem (4) abzweigt und die zwischen der ersten Turbine (6a) und der zweiten Turbine (7a) wieder in das Abgasabführsystem (4) einmündet und in der ein Absperrerelement (13) angeordnet ist,
- eine dritte Bypassleitung (10) vorgesehen ist, die zwischen dem ersten Verdichter (6b) und dem zweiten Verdichter (7b) unter Ausbildung eines zweiten Knotenpunktes (8b) in das Ansaugsystem (2) einmündet und in der ein weiteres Absperrerelement (11) angeordnet ist, und
- stromabwärts der Turbinen (6a, 7a) mindestens ein Abgasnachbehandlungssystem (15) im Abgasabführsystem (4) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- am ersten Knotenpunkt (8a) ein Ventil (9) im Abgasabführsystem (4) angeordnet ist, und
- im Ansaugsystem (2) zwischen dem ersten Verdichter (6b) und dem zweiten Verdichter (7b) ein Ladeluftkühler (5a) angeordnet ist.

2. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventil (9) am ersten Knotenpunkt (8a) ein 3-2-Wege-Ventil (9) ist.

3. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ventil (9) am ersten Knotenpunkt (8a) eine verschwenkbare Klappe ist.

4. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Bypassleitung (14) stromabwärts der ersten Turbine (6a) wieder in das Abgasabführsystem (4) mündet.

5. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Bypassleitung (14) stromaufwärts des mindestens einen im Abgasabführsystem (4) vorgesehenen Abgasnachbehandlungssystems (15) wieder in das Abgasabführsystem (4) mündet.

6. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der ersten Bypassleitung (14) mindestens ein weiteres Abgasnachbehandlungssystem vorgesehen ist.

7. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Bypassleitung (12) stromaufwärts des ersten Knotenpunktes (8a) wieder in das Abgasabführsystem (4) einmündet.

8. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Bypassleitung (12) stromabwärts des ersten Knotenpunktes (8a) wieder in das Abgasabführsystem (4) einmündet.

9. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Bypassleitung (10) stromaufwärts des ersten Verdichters (6b) vom Ansaugsystem (2) abzweigt.

10. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Bypassleitung (10) zwischen dem Ladeluftkühler (5a) und dem zweiten Verdichter (7b) unter Ausbildung des zweiten Knotenpunktes (8b) in das Ansaugsystem (2) einmündet.

11. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Verdichter (6b) größer ausgelegt ist als der zweite Verdichter (7b).

12. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Turbine (6a) größer ausgelegt ist als die zweite Turbine (7a).

13. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Turbine (7a) des zweiten Abgasturboladers (7) eine variable Turbinengeometrie aufweist.

14. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromabwärts der Verdichter (6b, 7b) ein weiterer Ladeluftkühler (5b) im Ansaugsystem (2) angeordnet ist.

15. Aufgeladene Brennkraftmaschine (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass keine Bypassleitung vorgesehen ist, welche den zweiten Verdichter (7b) umgeht.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

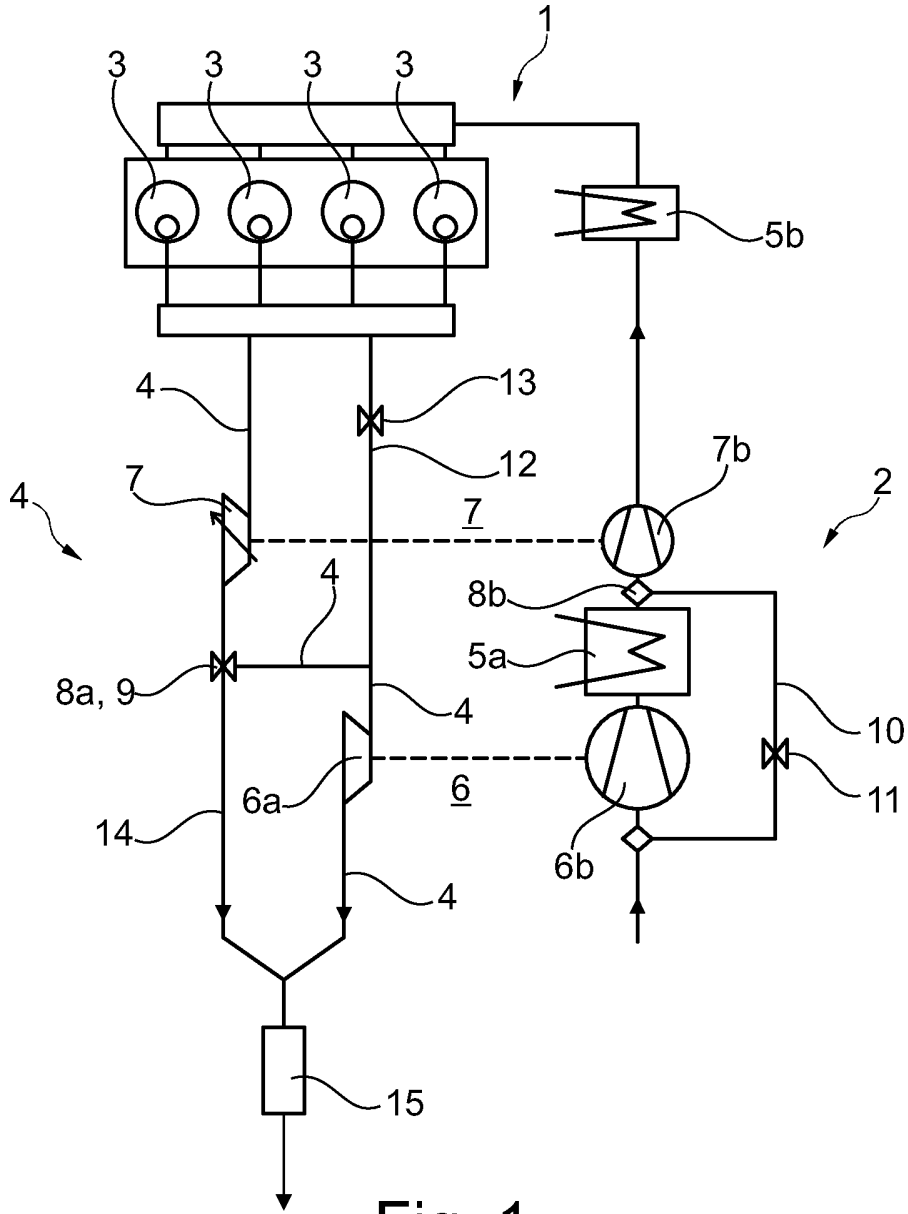


Fig. 1

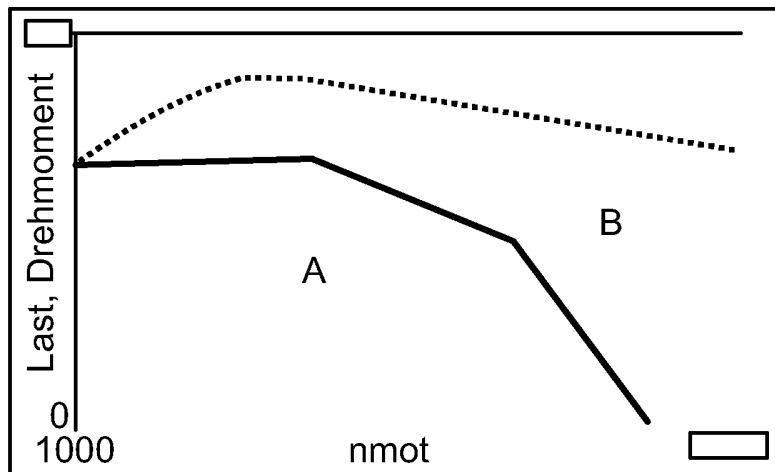


Fig. 2