



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 205 676.7**

(22) Anmeldetag: **30.03.2015**

(43) Offenlegungstag: **07.01.2016**

(51) Int Cl.: **F02B 37/04 (2006.01)**

F02C 6/12 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2014 212 968.0 03.07.2014

(71) Anmelder:
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

(74) Vertreter:
**Drömer, Hans-Carsten, Dipl.-Phys. Dr.-Ing., 51519
Odenthal, DE**

(72) Erfinder:
**Kindl, Helmut, Dr., 52066 Aachen, DE; Kuske,
Andreas, Geulle, NL; Kemmerling, Jörg, 52156
Monschau, DE; Smiljanovski, Vanco, Dr.,
50181 Bedburg, DE; Sommerhoff, Franz Arnd,
52066 Aachen, DE; Forsting, Michael, 41238
Mönchengladbach, DE**

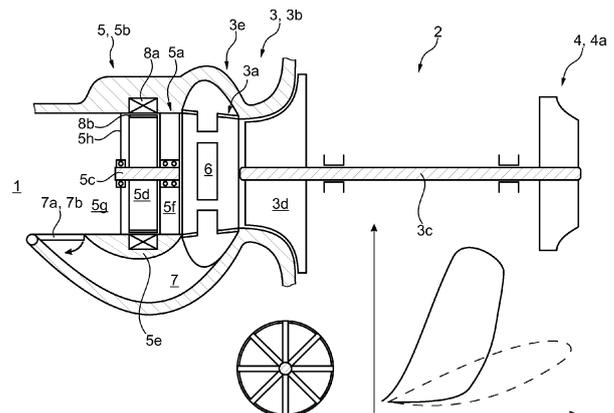
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Aufgeladene Brennkraftmaschine mit Abgasturbolader und Zusatzverdichter und Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Aufgeladene Brennkraftmaschine mit

- einem Ansaugsystem (1) zum Zuführen von Ladeluft,
- einem Abgasabfuhrsystem zum Abführen von Abgas, und
- mindestens einem Abgasturbolader (2), der eine im Abgasabfuhrsystem angeordnete Turbine (4) und einen im Ansaugsystem (1) angeordneten Verdichter (3) umfasst, wobei
- ein elektrisch antreibbarer zweiter Verdichter (5) stromaufwärts des Verdichters (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) im Ansaugsystem (1) angeordnet ist, wobei der zweite Verdichter (5) mindestens ein in einem Verdichtergehäuse (5e) auf einer drehbaren Welle (5c) gelagertes Lauf-
rad (5d) umfasst und ein Axialverdichter (5b) ist, dessen Austrittsbereich (5a) koaxial zur Welle (5c) des zweiten Verdichters (5) verläuft, so dass die Abströmung der Ladeluft aus dem zweiten Verdichter (5) via Austrittsbereich (5a) im Wesentlichen axial erfolgt,
- der Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) einen Eintrittsbereich (3a) aufweist, der koaxial zur Welle (3c) des Verdichters (3) und koaxial zum Austrittsbereich (5a) des zweiten Verdichters (5) verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) im Wesentlichen axial erfolgt,
- der elektrisch antreibbare zweite Verdichter (5) als zuschaltbarer Verdichter (5) ausgebildet ist,
- der zweite Verdichter (5) größer ausgelegt ist als der Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2), und
- zum Zwecke der Abgasabbläsung eine dritte Bypassleitung vorgesehen ist, die stromaufwärts der Turbine (4) vom Abgasabfuhrsystem abzweigt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit

- einem Ansaugsystem zum Zuführen von Ladeluft,
- einem Abgasabführsystem zum Abführen von Abgas, und
- mindestens einem Abgasturbolader, der eine im Abgasabführsystem angeordnete Turbine und einen im Ansaugsystem angeordneten Verdichter umfasst, wobei der Verdichter mit mindestens einem in einem Verdichtergehäuse auf einer drehbaren Welle gelagerten Laufrad ausgestattet ist.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine.

[0003] Eine Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art wird als Kraftfahrzeugantrieb eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff Brennkraftmaschine Dieselmotoren und Ottomotoren, 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.

[0004] In den letzten Jahren hat sich eine Entwicklung hin zu kleinen, hochaufgeladenen Motoren vollzogen, wobei die Aufladung in erster Linie ein Verfahren zur Leistungssteigerung ist, bei dem die für den motorischen Verbrennungsprozess benötigte Luft verdichtet wird. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Motoren für die Automobilbauindustrie nimmt weiter ständig zu.

[0005] Häufig 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 der 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. Vorteilhafterweise wird ein Ladeluftkühler stromabwärts des Verdichters im Ansaugsystem vorgesehen, mit dem die komprimierte Ladeluft vor Eintritt in den mindestens einen Zylinder gekühlt wird. Der Kühler senkt die Temperatur und steigert damit die Dichte der Ladeluft, so dass auch der Kühler zu einer besseren Füllung der Zylinder, d. h. zu einer größeren Luftmasse, beiträgt. Es erfolgt eine Verdichtung durch Kühlung.

[0006] Der Vorteil eines Abgasturboladers 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.

[0007] Die Aufladung dient – wie bereits erwähnt – 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.

[0008] Die Aufladung ist ein geeignetes Mittel, bei unverändertem Hubraum die Leistung einer Brennkraftmaschine 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 so das Lastkollektiv zu höheren Lasten hin verschieben, bei denen der spezifische Kraftstoffverbrauch niedriger ist.

[0009] Die Aufladung unterstützt folglich das ständige Bemühen in der Entwicklung von Brennkraftmaschinen, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren, d. h. den Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine zu verbessern.

[0010] Ein weiteres grundsätzliches Ziel ist es, die Schadstoffemissionen zu reduzieren. Bei der Lösung dieser Aufgabe kann die Aufladung ebenfalls zielführend sein. Bei gezielter Auslegung der Aufladung können nämlich Vorteile im Wirkungsgrad und bei den Abgasemissionen erzielt werden.

[0011] Schwierigkeiten bereitet die Auslegung der Abgasturboaufladung, wobei grundsätzlich eine spürbare Leistungssteigerung in allen Drehzahlbereichen angestrebt wird. Nach dem Stand der Technik wird aber ein starker Drehmomentabfall bei Unterschreiten einer bestimmten Drehzahl beobachtet.

[0012] Verständlich wird dieser Drehmomentabfall, wenn berücksichtigt wird, dass das Ladedruckverhältnis vom Turbinendruckverhältnis abhängt. Wird die Motordrehzahl verringert, führt dies zu einem kleineren Abgasmassenstrom und damit zu einem kleineren Turbinendruckverhältnis. Folglich nimmt das Ladedruckverhältnis zu niedrigeren Drehzahlen hin ebenfalls ab. Dies ist gleichbedeutend mit einem Ladedruckabfall bzw. Drehmomentabfall.

[0013] In der Praxis führen die vorstehend beschriebenen Zusammenhänge häufig dazu, dass ein kleiner Abgasturbolader, d. h. ein Abgasturbolader mit einem kleinen Turbinenquerschnitt eingesetzt wird, wodurch das Turbinendruckverhältnis erhöht werden kann. Dies verschlechtert aber die Aufladung bei hohen Drehzahlen und verschiebt den Drehmomentabfall lediglich hin zu niedrigeren Drehzahlen. Zudem sind dieser Vorgehensweise, d. h. der Verkleinerung des Turbinenquerschnittes, Grenzen gesetzt, da die gewünschte Aufladung und Leistungssteigerung auch bei hohen Drehzahlen uneingeschränkt und in dem gewünschten Maße möglich sein soll.

[0014] Die Drehmomentcharakteristik einer aufgeladenen Brennkraftmaschine wird nach dem Stand der Technik durch unterschiedliche Maßnahmen zu verbessern versucht.

[0015] Beispielsweise durch eine kleine Auslegung des Turbinenquerschnittes und gleichzeitiger Abgasabbläsung, wobei die Abgasabbläsung mittels Ladedruck oder mittels Abgasdruck gesteuert werden kann. Eine derartige Turbine wird auch als Waste-Gate-Turbine bezeichnet. Überschreitet der Abgasmassenstrom eine kritische Größe wird ein Teil des Abgasstromes im Rahmen der sogenannten Abgasabbläsung mittels einer Bypassleitung an der Turbine vorbei geführt. Diese Vorgehensweise hat aber – wie bereits oben angesprochen – den Nachteil, dass das Aufladeverhalten bei höheren Drehzahlen unzureichend ist.

[0016] 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.

[0017] 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 Motorkennfeld in vorteilhafter Weise aufgeweitet werden und zwar sowohl hin zu kleineren Verdichterströmen als auch hin zu größeren Verdichterströmen.

[0018] 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 im unteren Drehzahlbereich die Drehmomentcharakteristik deutlich verbessert. Erreicht wird dies durch eine Auslegung der Hochdruckturbine auf kleine Abgasmassenströme und Vorsehen einer By-

passleitung, 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.

[0019] Die Verwendung mehrerer Abgasturbolader hat aber auch Nachteile, wie im Folgenden an der zweistufigen Aufladung erläutert wird.

[0020] 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.

[0021] Aus den vorstehend genannten Gründen werden die Turbinen in der Regel auslassseitig am Zylinderkopf angeordnet. Der Abgaskrümmter 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 vorgesehenen Flüssigkeitskühlung partizipiert werden, so dass der Krümmter nicht aus thermisch hoch belastbaren Werkstoffen gefertigt werden muss, die kostenintensiv sind.

[0022] Naturgemäß bereitet bei einer zweistufigen Aufladung die motornahe Anordnung der Turbine der Niederdruckstufe größere Probleme. Zu berücksichtigen ist dabei auch, dass die Turbine eines Abgasturboladers in der Regel in Radialbauweise ausgeführt wird, d. h. die Anströmung der Laufschaufeln erfolgt im Wesentlichen radial. Im Wesentlichen radial bedeutet im Rahmen der vorliegenden Erfindung, dass die Geschwindigkeitskomponente in radialer Richtung größer ist als die axiale Geschwindigkeitskomponente. Der Geschwindigkeitsvektor der Strömung schneidet die Welle des Abgasturboladers in einem rechten Winkel, falls die Anströmung exakt radial verläuft.

[0023] Folglich muss das Abgas nach Durchströmen der Hochdruckturbine zunächst via Abgasabführsys-

tem umgeleitet bzw. umgelenkt werden, um stromabwärts der Radialturbine der Niederdruckstufe zugeführt werden zu können. Dies vergrößert nicht nur die Wegstrecke, sondern auch das Volumen und die thermische Trägheit zwischen den beiden Turbinen erheblich.

[0024] Um die Abgasenergie möglichst effizient nutzen zu können, sollte das Abgas möglichst wenig umgelenkt werden. Jede Richtungsänderung der Abgasströmung, beispielsweise infolge einer Krümmung des Abgasabfuhrsystems, hat einen Druckverlust in der Abgasströmung und damit einen Enthalpieverlust zur Folge. Es sollte aber alles vermieden werden, was den Druck im Abgas reduziert und die an der Turbine noch zur Verfügung stehende Abgasenergie verringert.

[0025] Um die Laufschaufeln radial anströmen zu können, wird der Eintrittsbereich zur Zuführung des Abgases nach dem Stand der Technik als rundum verlaufendes Spiral- oder Schneckengehäuse ausgebildet, so dass die Zuströmung des Abgases zur Turbine im Wesentlichen radial erfolgt. Eine derartige Radialturbine wird beispielsweise in der EP 1 710 415 A1 beschrieben.

[0026] Die Zuführung des Abgases zur Niederdruckturbine mittels Spiral- oder Schneckengehäuse erfordert die mehrfache Umlenkung des Abgases bzw. der Abgasströmung mit großen Richtungsänderungen. Wie bereits ausgeführt, bedingt aber jede Richtungsänderung einen Druckverlust in der Abgasströmung, weshalb dem Abgas an der Niederdruckturbine weniger Energie entzogen werden kann.

[0027] Gelegentlich wird die Niederdruckturbine eines Abgasturboladers auch als Axialturbine ausgeführt, d. h. die Anströmung der Laufradschaufeln erfolgt im Wesentlichen axial. Im Wesentlichen axial bedeutet im Rahmen der vorliegenden Erfindung, dass die Geschwindigkeitskomponente in axialer Richtung größer ist als die radiale Geschwindigkeitskomponente. Der Geschwindigkeitsvektor der Anströmung im Bereich des Laufrades verläuft dabei vorzugsweise parallel zur Welle des Abgasturboladers, falls die Anströmung exakt axial verläuft.

[0028] Nach dem Stand der Technik wird aber auch bei Axialturbinen der Eintrittsbereich zur Zuführung des Abgases häufig als rundum verlaufendes Spiral- oder Schneckengehäuse ausgebildet, so dass zumindest im Eintrittsbereich die Strömung des Abgases schräg bzw. radial zur Welle verläuft bzw. geführt wird, wozu eine Umlenkung des Abgases zwischen den Turbinen erforderlich ist bzw. wird. Einbußen bei der am Turbinenlaufrad zur Verfügung stehenden Abgasenthalpie müssen dabei in Kauf genommen werden. Die EP 1 710 415 A1 beschreibt eine derartige Axialturbine.

[0029] Das für die Turbinen Gesagte gilt in analoger Weise auch für die Verdichter der Abgasturbolader, wobei die Verdichter aufgrund der auslassseitigen Anordnung der Turbinen ebenfalls auslassseitig angeordnet sind und die in den Verdichtern komprimierte Ladeluft stromabwärts der Verdichter zunächst auf die Einlassseite des Zylinderkopfes geleitet werden muss, um den Zylindern zugeführt werden zu können. Anders als bei den Turbinen werden Verdichter über ihre Abströmung definiert. Ein Radialverdichter ist somit ein Verdichter, dessen Abströmung aus den Laufradschaufeln im Wesentlichen radial erfolgt. Hingegen erfolgt die Abströmung aus den Laufradschaufeln eines Axialverdichters im Wesentlichen axial.

[0030] Um einlassseitig einen Druckverlust zu vermeiden bzw. den Druckverlust zu minimieren, sollte die Ladeluft möglichst wenig umgelenkt werden. Das Ansaugsystem sollte möglichst kurz sein und möglichst wenig Richtungsänderungen stromaufwärts der Verdichter, stromabwärts der Verdichter und zwischen den Verdichtern aufweisen.

[0031] Insofern ist eine mehrfache Umlenkung der Ladeluftströmung mit großen Richtungsänderungen zwecks Überleitung der Ladeluft auf die Einlassseite des Zylinderkopfes und Zuführung zu den Verdichtern als nachteilig anzusehen. Dies ist einer Druckerhaltung, insbesondere in der komprimierten Ladeluft, abträglich.

[0032] Die Verwendung mehrerer Abgasturbolader hat, insbesondere auch aufgrund des komplexen Abgasleitungssystems, zudem Nachteile hinsichtlich eines dichten Packagings der Antriebseinheit im Moterraum.

[0033] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine aufgeladene Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, mit der die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden, deren Aufladeverhalten verbessert ist und deren Aufladung einen geringeren Raumbedarf hat.

[0034] Eine weitere Teilaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Brennkraftmaschine aufzuzeigen.

[0035] Gelöst wird die erste Teilaufgabe durch eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit

- einem Ansaugsystem zum Zuführen von Ladeluft,
- einem Abgasabfuhrsystem zum Abführen von Abgas, und
- mindestens einem Abgasturbolader, der eine im Abgasabfuhrsystem angeordnete Turbine und ei-

nen im Ansaugsystem angeordneten Verdichter umfasst, wobei der Verdichter mit mindestens einem in einem Verdichtergehäuse auf einer drehbaren Welle gelagerten Laufrad ausgestattet ist,

reich gestattet ein dichtes Packaging, insbesondere eine Reduzierung der Wegstrecke, des Volumens und der Masse des Ansaugsystems zwischen den beiden Verdichtern.

die dadurch gekennzeichnet ist, dass

- ein elektrisch antreibbarer zweiter Verdichter stromaufwärts des Verdichters des mindestens einen Abgasturboladers im Ansaugsystem angeordnet ist, wobei der zweite Verdichter mindestens ein in einem Verdichtergehäuse auf einer drehbaren Welle gelagertes Laufrad umfasst und ein Axialverdichter ist, dessen Austrittsbereich koaxial zur Welle des zweiten Verdichters verläuft, so dass die Abströmung der Ladeluft aus dem zweiten Verdichter via Austrittsbereich im Wesentlichen axial erfolgt,
- der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers einen Eintrittsbereich aufweist, der koaxial zur Welle des Verdichters und koaxial zum Austrittsbereich des zweiten Verdichters verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers im Wesentlichen axial erfolgt,
- der elektrisch antreibbare zweite Verdichter als zuschaltbarer Verdichter ausgebildet ist,
- der zweite Verdichter größer ausgelegt ist als der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers, und
- zum Zwecke der Abgasabblase eine dritte Bypassleitung vorgesehen ist, die stromaufwärts der Turbine vom Abgasabfuhrsystem abzweigt.

[0036] Die erfindungsgemäße mittels Abgasturbolader aufgeladene Brennkraftmaschine ist mit einem zusätzlichen Verdichter in Axialbauweise ausgestattet, der stromaufwärts des Verdichters des mindestens einen Abgasturboladers im Ansaugsystem angeordnet ist.

[0037] Dieser zweite Verdichter verfügt zudem über einen Austrittsbereich, der koaxial zur Welle des Verdichters verläuft, so dass die Abströmung der Ladeluft aus diesem zusätzlichen Verdichter im Wesentlichen axial erfolgt. Die Ladeluft muss folglich nach Durchströmen des zweiten Verdichters nicht umgelenkt werden, um dem Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers zugeführt zu werden. Da eine Umlenkung bzw. Richtungsänderung der Ladeluftströmung unterbleibt, werden unnötige Druckverluste in der Ladeluftströmung infolge Strömungsumlenkung vermieden und die vorkomprimierte Ladeluft kann im Verdichter des Abgasturboladers weiter verdichtet werden. Der Wirkungsgrad und das Ladedruckverhältnis der zweistufigen Verdichtung können dadurch gesteigert werden.

[0038] Die Verwendung eines Axialverdichters anstelle eines weiteren Abgasturboladers zusammen mit dem erfindungsgemäß ausgebildeten Austrittsbe-

[0039] Die vorstehend beschriebenen Effekte und technischen Wirkungen werden weiter dadurch unterstützt und ermöglicht, dass der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers einen Eintrittsbereich aufweist, der koaxial zur Welle des Verdichters und koaxial zum Austrittsbereich des zweiten Verdichters verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers im Wesentlichen axial erfolgt.

[0040] Erfindungsgemäß ist der zweite Verdichter ein elektrisch antreibbarer Verdichter, so dass keine mechanische Verbindung zur Leistungsübertragung zwischen Verdichter und Brennkraftmaschine besteht bzw. erforderlich ist, weshalb der zweite Verdichter einen geringen Raumbedarf hat und ein dichtes Packaging der Aufladung bzw. der Brennkraftmaschine ermöglicht. Zudem ist der zweite Verdichter als zuschaltbarer Verdichter ausgebildet, der nur im Bedarfsfall zwecks Vorverdichtung der Ladeluft zugeschaltet wird, falls eine zweistufige Verdichtung vorgenommen wird.

[0041] Der zweite Verdichter ist erfindungsgemäß größer ausgelegt als der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers, d. h. auf größere Volumenströme ausgelegt.

[0042] Bei zwei in Reihe geschalteten, im Ansaugsystem angeordneten Verdichtern ist es vorteilhaft, den zweiten Verdichter größer auszulegen als den stromabwärts gelegenen Verdichter des Abgasturboladers, da bei einer zweistufigen Verdichtung der Verdichter des Laders die Hochdruckstufe bildet und die Ladeluft komprimiert, die bereits in dem dann als Niederdruckstufe dienenden zweiten Verdichter vorverdichtet wurde.

[0043] Der zweite Verdichter ist größer ausgelegt als der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers und übernimmt als Niederdruckstufe die Vorverdichtung der Ladeluft im Rahmen einer zweistufigen Verdichtung bei großen Ladeluftmengen, d. h. bei höheren Motordrehzahlen n_{mot} . Der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers ist kleiner ausgelegt und bewerkstelligt die Verdichtung der Ladeluft bei kleinen bzw. mittelgroßen Ladeluftmengen. Bei kleinen bzw. mittelgroßen Ladeluftmengen könnte der zweite Verdichter dann mittels Bypassleitung umgangen werden und der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers die Verdichtung der Ladeluft im Rahmen einer einstufigen Verdichtung vornehmen.

[0044] Aus den vorstehend genannten Gründen ist erfindungsgemäß auch eine Bypassleitung zwecks Abgasabbläsung vorgesehen, die stromaufwärts der Turbine des mindestens einen Abgasturboladers vom Abgasabführsystem abzweigt und als dritte Bypassleitung bezeichnet wird.

[0045] Das Vorsehen einer Bypassleitung gestattet die Auslegung der Turbine bzw. der Hochdruckturbinen auf kleine bzw. mittelgroße Abgasmassenströme und damit auf den unteren bzw. mittleren Teillastbereich.

[0046] Der kleinere Turbinenquerschnitt sorgt für ein höheres Turbinendruckverhältnis bei kleinen und mittelgroßen Abgasmengen und damit verdichterseitig für ein höheres Ladedruckverhältnis und einen höheren Ladedruck bei kleinen bzw. mittelgroßen Ladeluftmengen.

[0047] Mit der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine wird die erste der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst, nämlich eine aufgeladene Brennkraftmaschine bereitgestellt, mit der die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile überwunden werden, deren Aufladeverhalten verbessert ist und deren Aufladung einen geringeren Raumbedarf aufweist.

[0048] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Brennkraftmaschine werden im Zusammenhang mit den Unteransprüchen erörtert.

[0049] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers ein Radialverdichter ist. Diese Ausführungsform gestattet ein dichtes Packaging des Abgasturboladers und damit der Aufladung insgesamt. Das Verdichtergehäuse kann als Spiral- oder Schneckengehäuse ausgeführt werden, wobei die Umlenkung der Ladeluftströmung im Verdichter des Abgasturboladers in vorteilhafter Weise dazu genutzt werden kann, die komprimierte Ladeluft auf kürzestem Weg von der Auslassseite, auf der die Turbine des Abgasturboladers angeordnet ist, auf die Einlassseite zu führen.

[0050] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers eine Radialturbine ist. Diese Ausführungsform gestattet ebenfalls ein dichtes Packaging des Abgasturboladers und damit der Aufladung insgesamt.

[0051] Aus Gründen des Packings sind auch Ausführungsformen der Brennkraftmaschine vorteilhaft, bei denen nur ein Abgasturbolader vorgesehen ist.

[0052] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen der zweite Verdichter

einen Eintrittsbereich aufweist, der koaxial zur Welle des zweiten Verdichters verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem zweiten Verdichter im Wesentlichen axial erfolgt. Diese Ausführungsform erleichtert die Anordnung des mindestens einen Laufrades im Verdichtergehäuse des zweiten Verdichters und die Ausbildung des elektrischen Antriebs.

[0053] Ein solcher Antrieb wird beispielweise in der deutschen Offenlegungsschrift DE 100 40 122 A1 beschrieben und erörtert. So kann ein Elektromotor, d. h. ein elektrischer Antrieb, ausgebildet werden, der einen drehfest mit dem Verdichterlaufrad verbundenen Rotor und einen gehäusefest angeordneten Stator, der den Rotor radial umgreift, umfasst. Dabei ist der aus einem magnetischen Material gefertigte Rotor vorzugsweise ringförmig ausgebildet und sitzt auf der radial außenliegenden Kante des Verdichterlaufrades auf. Bei einer Bestromung des Stators, vorzugsweise einer Spule, wird eine den Rotor drehende elektromagnetische Kraft erzeugt.

[0054] Das Verdichterlaufrad kann auch in zwei Bereiche aufgeteilt werden, nämlich ein Vorsatzläuferad, welches den Rotor bildet, und ein Hauptläuferad, das die Wellennabe und die Laufschaufeln des Verdichterlaufrades umfasst. Das Vorsatzläuferad ist stromaufwärts des Hauptläuferades angeordnet.

[0055] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Turbine des mindestens einen Abgasturboladers eine variable Turbinengeometrie aufweist.

[0056] Eine variable Turbinengeometrie erhöht die Flexibilität der Aufladung. Sie gestattet eine stufenlose Anpassung der Turbinengeometrie an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine, insbesondere an den momentanen Abgasmassenstrom. Im Gegensatz zu einer Turbine mit fester Geometrie muss die Turbine nicht strikt auf eine bestimmte Abgasmenge ausgelegt werden, weshalb die Turbine in einem weiten Drehzahl- bzw. Lastbereich für eine befriedigende Aufladung sorgt, nämlich den gewünschten Ladedruck auf der Einlassseite.

[0057] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen eine erste Bypassleitung vorgesehen ist, die ein Absperrerelement aufweist und die stromaufwärts des zweiten Verdichters vom Ansaugsystem abzweigt und zwischen den Verdichtern wieder in das Ansaugsystem mündet.

[0058] Bei kleinen Ladeluftmengen bzw. niedrigen Drehzahlen übernimmt primär der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers die Verdichtung der Ladeluft, weshalb der zweite Verdichter vorzugsweise mittels erster Bypassleitung umgangen wird. Bei höheren Drehzahlen, d. h. bei größeren Ladeluft-

mengen, sorgt der zweite Verdichter für die Vorverdichtung der Ladeluft im Rahmen einer zweistufigen Aufladung, weshalb die erste Bypassleitung dann vorzugsweise zu schließen ist.

[0059] In der Regel wird der zweite Verdichter aber keinen allzu großen Strömungswiderstand bei kleinen Ladeluftmengen darstellen, weshalb eine erste Bypassleitung nicht unter allen Umständen erforderlich sein wird.

[0060] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers eine variable Verdichtergeometrie aufweist.

[0061] Eine variable Verdichtergeometrie ist insbesondere vorteilhaft, wenn die Turbine des Abgasturboladers über eine variable Turbinengeometrie verfügt und eine variable Verdichtergeometrie dann auf die Turbinengeometrie kontinuierlich abgestimmt werden kann.

[0062] Insbesondere, wenn nur ein geringer Abgasmassenstrom durch die Turbine geleitet wird, erweist sich eine variable Verdichtergeometrie als vorteilhaft, da durch Verstellen der Schaufeln die Pumpgrenze des Verdichters im Verdichterkennfeld hin zu kleinen Verdichterströmen verschoben werden kann und so ein Arbeiten des Verdichters jenseits der Pumpgrenze vermieden wird.

[0063] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen eine zweite Bypassleitung vorgesehen ist, die ein Absperrerelement aufweist und die stromaufwärts des Verdichters des mindestens einen Abgasturboladers vom Ansaugsystem abzweigt und stromabwärts des Verdichters des mindestens einen Abgasturboladers wieder in das Ansaugsystem mündet.

[0064] Die zweite Bypassleitung ermöglicht es, den Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers zu umgehen.

[0065] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die dritte Bypassleitung stromabwärts der Turbine wieder in das Abgasabführsystem mündet, wobei zur Steuerung der Abgasabblase ein Absperrerelement in der dritten Bypassleitung vorgesehen ist. Hinsichtlich der Umgehung der Turbine mittels Bypassleitung wurde bereits ausgeführt. Auf die entsprechenden Ausführungen wird Bezug genommen.

[0066] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen stromabwärts des mindestens einen Laufrades des zweiten Verdichters eine Leiteinrichtung im Austrittsbereich des zweiten Verdichters angeordnet ist. Der Geschwindigkeits-

vektor der Anströmung im Bereich des mindestens einen Laufrades des Verdichters des Abgasturboladers weist vorzugsweise auch eine radiale Komponente zur Welle auf, wodurch der Wirkungsgrad erhöht wird.

[0067] Vorteilhaft sind daher auch Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen stromaufwärts des mindestens einen Laufrades des Verdichters des Abgasturboladers eine Leiteinrichtung im Eintrittsbereich vorgesehen ist.

[0068] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Leiteinrichtung im Austrittsbereich des zweiten Verdichters gelagert ist.

[0069] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang auch Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen die Leiteinrichtung die Welle des zweiten Verdichters zwecks Lagerung aufnimmt.

[0070] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen stromaufwärts des mindestens einen Laufrades des zweiten Verdichters eine Halterung zwecks Lagerung der Welle des zweiten Verdichters angeordnet ist.

[0071] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen stromabwärts der Verdichter ein Ladeluftkühler im Ansaugsystem angeordnet ist. Der Ladeluftkühler senkt die Lufttemperatur und steigert damit die Dichte der Ladeluft, wodurch auch der Kühler zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Luft, d. h. zu einer größeren Luftmasse beiträgt.

[0072] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen sich ein zwischen dem Austrittsbereich des zweiten Verdichters und dem Eintrittsbereich des Verdichters des mindestens einen Abgasturboladers vorgesehener Abschnitt des Ansaugsystems verjüngt.

[0073] Vorteilhaft ist dies im Hinblick auf eine zweistufige Verdichtung der Ladeluft, bei der die Dichte der Ladeluft bereits stromaufwärts des Verdichters des Abgasturboladers vergrößert wird.

[0074] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der Brennkraftmaschine, bei denen das Absperrerelement in der ersten, zweiten, und/oder dritten Bypassleitung ein Ventil oder eine Drosselklappe ist.

[0075] Vorteilhaft sind dabei Ausführungsformen, bei denen das Absperrerelement elektrisch, hydraulisch, pneumatisch, mechanisch oder magnetisch steuerbar ist, vorzugsweise mittels Motorsteuerung.

[0076] Vorteilhaft sind Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen eine Abgasrückführung vorgesehen ist.

[0077] Vorteilhaft sind in diesem Zusammenhang Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen eine Abgasrückführung vorgesehen ist, welche eine Leitung umfasst, die stromaufwärts der Turbine aus dem Abgasabfuhrsystem abzweigt und in das Ansaugsystem mündet, vorzugsweise stromabwärts der Verdichter.

[0078] Um zukünftige Grenzwerte für Stickoxidemissionen einzuhalten, wird zunehmend häufig eine Abgasrückführung eingesetzt, d. h. die Rückführung von Abgasen von der Auslassseite auf die Einlassseite, bei der mit zunehmender Abgasrückführtrate die Stickoxidemissionen deutlich gesenkt werden können. Die Abgasrückführtrate x_{AGR} bestimmt sich dabei mit $x_{AGR} = m_{AGR} / (m_{AGR} + m_{Frischluff})$, wobei m_{AGR} die Masse an zurückgeführtem Abgas und $m_{Frischluff}$ 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. Um eine deutliche Senkung der Stickoxidemissionen zu erreichen, sind hohe Abgasrückführtraten erforderlich.

[0079] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, 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.

[0080] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, 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 Frischluft mit den rückgeführten Abgasen einstellt, wird hierdurch folglich weiter gesenkt, wodurch auch der zusätzliche Kühler zu einer besseren Füllung des Brennraums mit Ladeluft beiträgt.

[0081] Vorteilhaft sind Ausführungsformen, bei denen in der Leitung zur Abgasrückführung ein Absperrerelement vorgesehen ist. Dieses Absperrerelement dient der Steuerung der Abgasrückführtrate.

[0082] Vorteilhaft sind auch Ausführungsformen der aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei denen eine Abgasrückführung vorgesehen ist, welche eine Leitung umfasst, die stromabwärts der Turbine aus dem Abgasabfuhrsystem abzweigt und in das Ansaugsystem

mündet, vorzugsweise stromaufwärts der Verdichter.

[0083] Im Gegensatz zu der bereits erwähnten Hochdruck-AGR, die stromaufwärts der Turbine Abgas aus dem Abgasabfuhrsystem entnimmt und stromabwärts der Verdichter in das Ansaugsystem einbringt, wird bei einer Niederdruck-AGR Abgas auf die Einlassseite zurückgeführt, welches die Turbine bereits durchströmt hat. Hierzu umfasst die Niederdruck-AGR eine Rückföhrleitung, die stromabwärts der Turbine aus dem Abgasabfuhrsystem abzweigt und stromaufwärts der Verdichter in das Ansaugsystem mündet.

[0084] Das mittels Niederdruck-AGR auf die Einlassseite zurückgeführte und vorzugsweise geköhlte Abgas wird stromaufwärts der Verdichter mit Frischluft gemischt. Die auf diese Weise erzeugte Mischung aus Frischluft und rückgeführtem Abgas bildet die Ladeluft, die den Verdichtern zugeführt und verdichtet wird.

[0085] Dabei ist es unschädlich, dass im Rahmen der Niederdruck-AGR Abgas durch die Verdichter hindurchgeführt wird, da in der Regel Abgas verwendet wird, welches stromabwärts der Turbine einer Abgasnachbehandlung, insbesondere im Partikelfilter, unterzogen wurde. Ablagerungen im Verdichter, welche die Geometrie des Verdichters, insbesondere die Strömungsquerschnitte, verändern und auf diese Weise den Wirkungsgrad des Verdichters verschlechtern, sind daher nicht zu befürchten.

[0086] Die zweite der Erfindung zugrunde liegende Teilaufgabe, nämlich ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine einer vorstehend beschriebenen Art aufzuzeigen, wird gelöst durch ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der zweite Verdichter zugeschaltet wird, sobald die Drehzahl n_{mot} der Brennkraftmaschine eine vorgebbare Drehzahl $n_{threshold,1}$ überschreitet und/oder ein höheres Drehmoment angefordert wird, so dass die Ladeluft im Rahmen einer zweistufigen Kompression verdichtet wird.

[0087] Das bereits für die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine Gesagte gilt auch für das erfindungsgemäße Verfahren, weshalb an dieser Stelle im Allgemeinen Bezug genommen wird auf die vorstehend hinsichtlich der aufgeladenen Brennkraftmaschine gemachten Ausführungen. Die verschiedenen Brennkraftmaschinen erfordern teils unterschiedliche Verfahrensvarianten.

[0088] Vorliegend dient der zweite Verdichter der Vorverdichtung der Ladeluft bei größeren Ladeluftmengen bzw. höheren Drehzahlen, d. h. zur Verbesserung der Drehmomentcharakteristik im oberen Drehzahlbereich. Bei kleineren Ladeluftmengen bzw.

niedrigeren Drehzahlen könnte der zweite Verdichter dann mittels erster Bypassleitung umgangen werden und der Verdichter des mindestens einen Abgasturboladers sorgt für die Verdichtung der Ladeluft im Rahmen einer einstufigen Aufladung.

[0089] Bei Brennkraftmaschinen, bei denen eine erste Bypassleitung vorgesehen ist, die ein Absperelement aufweist und die stromaufwärts des zweiten Verdichters vom Ansaugsystem abzweigt und zwischen den Verdichtern wieder in das Ansaugsystem mündet, sind daher auch Verfahrensvarianten vorteilhaft, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die erste Bypassleitung geöffnet wird, sobald die Drehzahl n_{mot} der Brennkraftmaschine eine vorgebbare Drehzahl $n_{\text{threshold},2}$ unterschreitet.

[0090] Vorteilhaft sind auch Verfahrensvarianten, bei denen die dritte Bypassleitung geöffnet wird, sobald die Abgasmenge einer vorgebbare Abgasmenge übersteigt.

[0091] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels gemäß **Fig. 1** näher beschrieben. Hierbei zeigt:

[0092] **Fig. 1** schematisch die Aufladung einer ersten Ausführungsform der Brennkraftmaschine, teilweise geschnitten.

[0093] **Fig. 1** zeigt schematisch die Aufladung einer ersten Ausführungsform der aufgeladenen Brennkraftmaschine, teilweise geschnitten.

[0094] Zum Zuführen der Ladeluft zu den Zylindern verfügt die Brennkraftmaschine über ein Ansaugsystem **1**. Zwecks Aufladung der Zylinder ist ein Abgasturbolader **2** vorgesehen, der eine im Abgasabfuhrsystem angeordnete Turbine **4** und einen im Ansaugsystem **1** angeordneten Verdichter **3** umfasst. Die Turbine **4** ist eine Radialturbine **4a** und der Verdichter **3** ist ein Radialverdichter **3b**, in dessen Gehäuse **3e** ein Laufrad **3d** auf einer drehbaren Welle **3c** gelagert ist.

[0095] Zur Unterstützung der Aufladung im Bedarfsfall und zur Verbesserung der Drehmomentcharakteristik ist stromaufwärts des Verdichters **3** des Abgasturboladers **2** ein elektrisch antreibbarer zweiter Verdichter **5** im Ansaugsystem **1** angeordnet, in dessen Verdichtergehäuse **5e** ein Laufrad **5d** auf einer drehbaren Welle **5c** gelagert ist. Dieser zweite Verdichter **5** ist ein Axialverdichter **5b**, dessen Eintrittsbereich **5g** bzw. Austrittsbereich **5a** koaxial zur Welle **5c** des zweiten Verdichters **5** verläuft und ausgebildet ist, so dass sowohl die Anströmung der Ladeluft zu dem zweiten Verdichter **5** als auch die Abströmung der Ladeluft aus dem zweiten Verdichter **5** im Wesentlichen axial erfolgt.

[0096] Stromabwärts des Laufrades **5d** des zweiten Verdichters **5** ist eine Leiteinrichtung **5f** im Austrittsbereich **5a** des zweiten Verdichters **5** angeordnet. Die Leiteinrichtung **5f** nimmt auch die Welle **5c** des zweiten Verdichters **5** zwecks Lagerung auf, wobei eine stromaufwärts des Laufrades **5d** angeordnete Halterung **5h** die Lagerung der Welle **5c** des zweiten Verdichters **5** ergänzt.

[0097] Der Verdichter **3** des Abgasturboladers **2** weist einen Eintrittsbereich **3a** auf, der koaxial zur Welle **3c** des Verdichters **3** und koaxial zum Austrittsbereich **5a** des zweiten Verdichters **5** verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem Verdichter **3** des Abgasturboladers **2** im Wesentlichen axial erfolgt und der Abschnitt **6** des Ansaugsystems **1** zwischen den Verdichtern **3**, **5** vergleichsweise kurz und kleinvolumig ist und keine Richtungsänderungen aufweist.

[0098] Der zweite Verdichter **5** wird elektrisch angetrieben und im Bedarfsfall zugeschaltet, wobei der elektrische Antrieb, d. h. der Elektromotor, unter Verwendung eines drehfest mit dem Verdichterlaufrad **5d** verbundenen Rotors **8b** und eines gehäusefest angeordneten Stators **8a**, der den Rotor **8b** radial umgreift, ausgebildet wird.

[0099] Der aus einem magnetischen Material gefertigte Rotor **8b** ist ringförmig ausgebildet und sitzt auf den radial außenliegenden Kanten der Verdichterslaufradschaufeln. Bei einer Bestromung des Stators **8a**, einer Spule, wird eine den Rotor **8b** drehende elektromagnetische Kraft erzeugt.

[0100] Der Verdichter **3** des Abgasturboladers **2** ist kleiner ausgelegt als der zweite Verdichter **5**, der nur im Bedarfsfall zugeschaltet wird. Vorliegend übernimmt der zweite Verdichter **5** die Vorverdichtung der Ladeluft bei höheren Drehzahlen, d. h. im oberen Drehzahlbereich. Bei niedrigeren Drehzahlen sorgt der Verdichter **3** des Abgasturboladers **2** für die Verdichtung der Ladeluft im Rahmen einer einstufigen Aufladung, wobei der zweite Verdichter **5** mittels Bypassleitung **7**, die stromaufwärts des zweiten Verdichters **5** vom Ansaugsystem **1** abzweigt und zwischen den Verdichtern **3**, **5** wieder in das Ansaugsystem **1** mündet, umgangen werden kann. Eingangs dieser ersten Bypassleitung **7** ist eine als Absperelement **7a** dienende Klappe **7b** vorgesehen.

Bezugszeichenliste

1	Ansaugsystem
2	Abgasturbolader
3	Verdichter des Abgasturboladers
3a	Eintrittsbereich des Verdichters des Abgasturboladers
3b	Radialverdichter

3c	Welle des Verdichters des Abgasturboladers
3d	Laufrad des Verdichters des Abgasturboladers
3e	Verdichtergehäuse des Abgasturboladers
4	Turbine des Abgasturboladers
4a	Radialturbine
5	zweiter Verdichter
5a	Austrittsbereich des zweiten Verdichters
5b	Axialverdichter
5c	Welle des zweiten Verdichters
5d	Laufrad des zweiten Verdichters
5e	Verdichtergehäuse des zweiten Verdichters
5f	Leiteinrichtung
5g	Eintrittsbereich des zweiten Verdichters
5h	Halterung
6	Abschnitt des Ansaugsystems, Zwischenstück
7	erste Bypassleitung
7a	Abperrelement
7b	Klappe
8a	Stator
8b	Rotor
AGR	Abgasrückführung
m_{AGR}	Masse an zurückgeführtem Abgas
$m_{Frischluff}$	Masse an zugeführter Frischluft bzw. Ladeluft
n_{mot}	Drehzahl der Brennkraftmaschine
$n_{threshold,1}$	vorgebbare Drehzahl für das Zuschalten des zweiten Verdichters
x_{AGR}	Abgasrückführrate

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 1710415 A1 [0025, 0028]
- DE 10040122 A1 [0053]

Patentansprüche

1. Aufgeladene Brennkraftmaschine mit
 - einem Ansaugsystem (1) zum Zuführen von Ladeluft,
 - einem Abgasabführsystem zum Abführen von Abgas, und
 - mindestens einem Abgasturbolader (2), der eine im Abgasabführsystem angeordnete Turbine (4) und einen im Ansaugsystem (1) angeordneten Verdichter (3) umfasst, wobei der Verdichter (3) mit mindestens einem in einem Verdichtergehäuse (3e) auf einer drehbaren Welle (3c) gelagerten Laufrad (3d) ausgestattet ist,**dadurch gekennzeichnet**, dass
 - ein elektrisch antreibbarer zweiter Verdichter (5) stromaufwärts des Verdichters (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) im Ansaugsystem (1) angeordnet ist, wobei der zweite Verdichter (5) mindestens ein in einem Verdichtergehäuse (5e) auf einer drehbaren Welle (5c) gelagertes Laufrad (5d) umfasst und ein Axialverdichter (5b) ist, dessen Austrittsbereich (5a) koaxial zur Welle (5c) des zweiten Verdichters (5) verläuft, so dass die Abströmung der Ladeluft aus dem zweiten Verdichter (5) via Austrittsbereich (5a) im Wesentlichen axial erfolgt,
 - der Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) einen Eintrittsbereich (3a) aufweist, der koaxial zur Welle (3c) des Verdichters (3) und koaxial zum Austrittsbereich (5a) des zweiten Verdichters (5) verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) im Wesentlichen axial erfolgt,
 - der elektrisch antreibbare zweite Verdichter (5) als zuschaltbarer Verdichter (5) ausgebildet ist,
 - der zweite Verdichter (5) größer ausgelegt ist als der Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2), und
 - zum Zwecke der Abgasabbläsung eine dritte Bypassleitung vorgesehen ist, die stromaufwärts der Turbine (4) vom Abgasabführsystem abzweigt.
2. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) ein Radialverdichter (3b) ist.
3. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Turbine (4) des mindestens einen Abgasturboladers (2) ein Radialturbine (4a) ist.
4. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Verdichter (5) einen Eintrittsbereich (5g) aufweist, der koaxial zur Welle (5c) des zweiten Verdichters (5) verläuft und ausgebildet ist, so dass die Anströmung der Ladeluft zu dem zweiten Verdichter (5) im Wesentlichen axial erfolgt.

5. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Turbine (4) des mindestens einen Abgasturboladers (2) eine variable Turbinengeometrie aufweist.

6. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine erste Bypassleitung (7) vorgesehen ist, die ein Absperrerelement (7a) aufweist und die stromaufwärts des zweiten Verdichters (5) vom Ansaugsystem (1) abzweigt und zwischen den Verdichtern (3, 5) wieder in das Ansaugsystem (1) mündet.

7. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdichter (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) eine variable Verdichtergeometrie aufweist.

8. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zweite Bypassleitung vorgesehen ist, die ein Absperrerelement aufweist und die stromaufwärts des Verdichters (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) vom Ansaugsystem (1) abzweigt und stromabwärts des Verdichters (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) wieder in das Ansaugsystem (1) mündet.

9. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Bypassleitung stromabwärts der Turbine (4) des mindestens einen Abgasturboladers (2) wieder in das Abgasabführsystem mündet, wobei zur Steuerung der Abgasabbläsung ein Absperrerelement in der dritten Bypassleitung vorgesehen ist.

10. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromabwärts des mindestens einen Laufrades (5d) des zweiten Verdichters (5) eine Leiteinrichtung (5f) im Austrittsbereich (5a) des zweiten Verdichters (5) angeordnet ist.

11. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leiteinrichtung (5f) im Austrittsbereich (5a) des zweiten Verdichters (5) gelagert ist.

12. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leiteinrichtung (5f) die Welle (5c) des zweiten Verdichters (5) zwecks Lagerung aufnimmt.

13. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromaufwärts des mindestens einen Laufrades (5d) des zweiten Verdichters (5) eine Halte-

zung (5h) zwecks Lagerung der Welle (5c) des zweiten Verdichters (5) angeordnet ist.

14. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass stromabwärts der Verdichter (3, 5) ein Ladeluftkühler im Ansaugsystem (1) angeordnet ist.

15. Aufgeladene Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich ein zwischen dem Austrittsbereich (5a) des zweiten Verdichters (5) und dem Eintrittsbereich (3a) des Verdichters (3) des mindestens einen Abgasturboladers (2) vorgesehener Abschnitt (6) des Ansaugsystems (1) verjüngt.

16. Verfahren zum Betreiben einer aufgeladenen Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Verdichter (5) zugeschaltet wird, sobald die Drehzahl n_{mot} der Brennkraftmaschine eine vorgebbare Drehzahl $n_{\text{threshold},1}$ überschreitet, um die Ladeluft im Rahmen einer zweistufigen Kompression zu verdichten.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Bypassleitung geöffnet wird, sobald die Abgasmenge einer vorgebbare Abgasmenge übersteigt.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

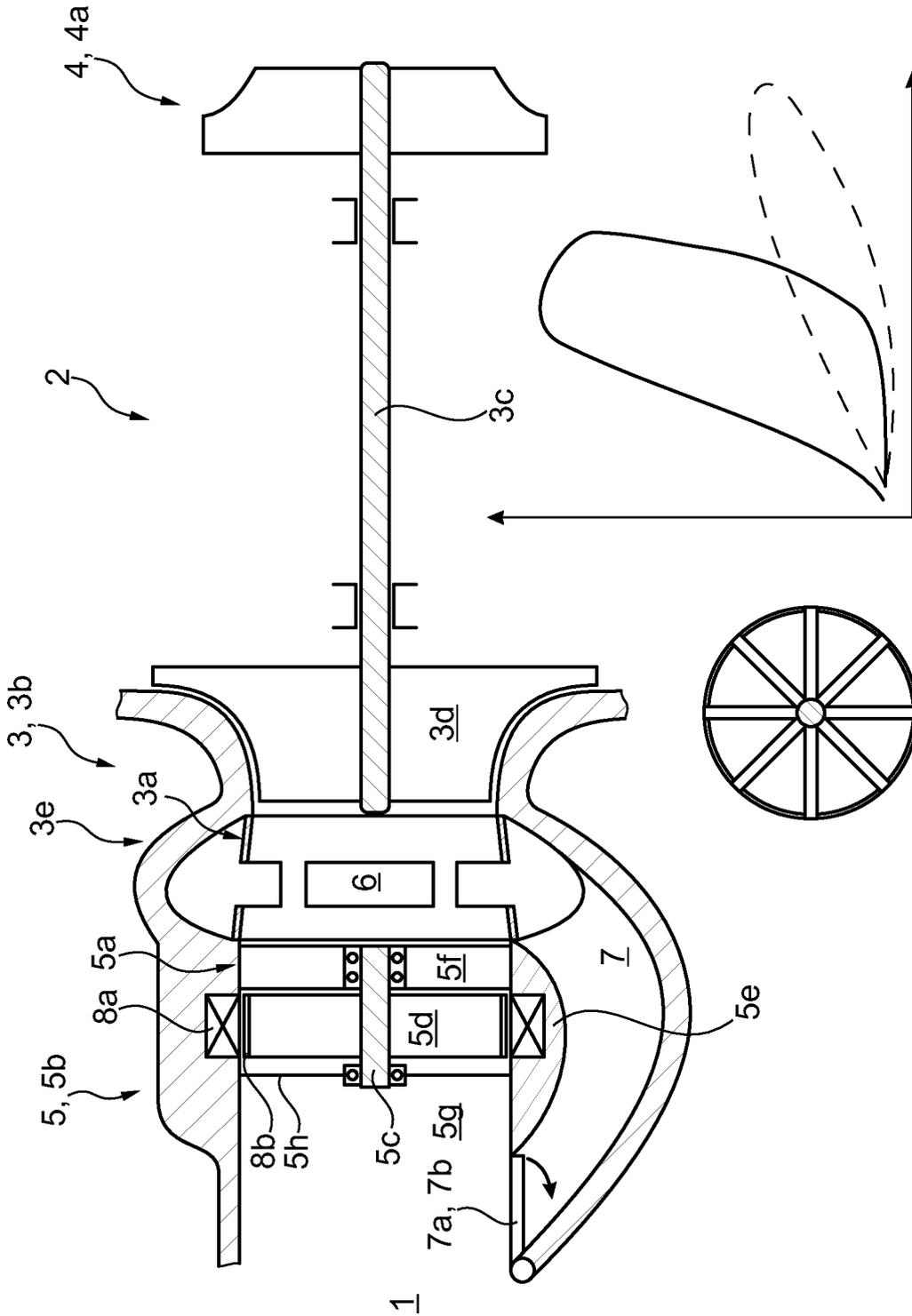


Fig. 1