



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 126 154.3**  
 (22) Anmeldetag: **22.10.2018**  
 (43) Offenlegungstag: **23.04.2020**

(51) Int Cl.: **F02B 37/02 (2006.01)**  
**F02B 37/12 (2006.01)**  
**F02D 13/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und  
 Verkehr, 10587 Berlin, DE**

(72) Erfinder:  
**Günther, Michael, 09122 Chemnitz, DE; Walther,  
 Ulrich, Dr., 09235 Burkhardtsdorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

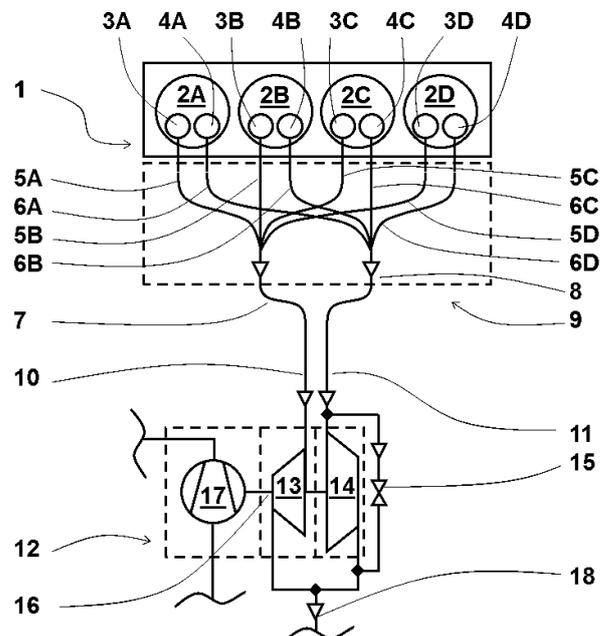
DE	10 2012 001 199	B4
DE	102 43 473	A1
DE	10 2015 211 438	A1
DE	10 2016 102 222	A1
DE	10 2017 220 191	A1
DE	20 2014 100 168	U1
FR	2 916 226	A3
GB	2 523 669	A
EP	2 982 847	B1
JP	2012- 177 330	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Brennkraftmaschine mit mehrflutigem Abgaskrümmter und Doppelturbinenrad**

(57) Zusammenfassung: Durch die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine werden die Vorteile unterschiedlicher Ausführungen der Abgasturboaufladung bezüglich Ansprechverhalten eines Abgasturboladers im Niederlastbereich, vollständige Ladeluftleistungsversorgung des gesamten Drehzahl-Last-Bereichs sowie reduzierten Bauraum kombiniert und deren Anforderungen in Form von Verringerung des Turbolochs, Glättung der Impulscharakteristik des Abgasmassenstromdurchflusses sowie Reduzierung der Komplexität des Systems gerecht. Die Verbindung eines mehrflutigen Abgaskrümmers mit variabel steuerbaren Auslassventilen der Zylinder zusammen mit einem Ventil, welches zwischen mehreren Abgaskrümmern des Abgaskrümmers und den Turbineneinlasskanälen des Abgasturboladers angeordnet ist, sowie zwei, in ihrem Auslegungsladendruck verschiedenen Turbinenrädern des Abgasturboladers, unter Hinzunahme der Waste-Gate-Technologie und der variablen Turbinengeometrie, ermöglicht das variable Einstellen eines erforderlichen Abgasmassenstroms bezüglich Massendurchsatz, Abgasenthalpie und Impulsdynamik bei gleichzeitig schnellem Ansprechverhalten im unteren Lastbereich sowie eine hohe Ausnutzung der Ladeluftdrucksteigerung bis in den hohen Lastbereich. Durch die Lagerung der einzelnen Turbinenräder und des Verdichterrades auf einer gemeinsamen Welle wird weiterhin die erreichbare Dynamik der Ladeluftleistungssteigerung erhöht, bei gleichzeitiger Reduzierung der Komplexität des Aufladesystems.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit einem mehrflutigen Abgaskrümmmer und einem Doppelturbinenrad im Abgasturbolader, wodurch eine verbesserte Turboaufladung erreicht wird gemäß dem Patentanspruch 1 und ein Verfahren zum Betreiben der Brennkraftmaschine nach den Merkmalen des Patentanspruchs 10.

### Stand der Technik

**[0002]** Zur Leistungssteigerung und Verbrauchsoptimierung von Brennkraftmaschinen bei gleichbleibendem oder sogar niedrigerem Hubraum hat sich die Aufladung mittels Abgasturbolader als Stand der Technik etabliert. Ein Abgasturbolader besteht in seinen funktionalen Grundzügen aus einem Turbinen- und einem Verdichterrad, welche auf einer gemeinsamen Welle miteinander verbunden sind. Auf das Turbinenrad wird der Abgasmassenstrom aus dem Brennraum einer Brennkraftmaschine über die Auslassventile der einzelnen Zylinder geführt. Dieses treibt unter Wandlung der Abgasenthalpie das Verdichterrad eines Verdichters an, welcher Frischluft ansaugt, verdichtet und in die Ladeluftstrecke der Brennkraftmaschine weiterführt. Die Leistung und der Wirkungsgrad eines Abgasturboladers sind im Wesentlichen vom Massenstrom und der Enthalpie des Abgases abhängig, wodurch die Auslegung des Turbinenrades stets ein Kompromiss zwischen Ansprechverhalten in einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine mit niedrigen Drehzahlen und zwischen maximalem Leistungszuwachs bei hohen Drehzahlen ist. Kleine Turbinenräder sprechen aufgrund des geringeren Bauteilvolumens und niedrigerer Massenträgheit schneller bei geringerer Abgasenthalpie an, erreichen jedoch bei höherem Abgasmassenstrom eher ihre Drehzahlgrenze als ein größeres Turbinenrad. Im Betriebspunkt niedriger Last der Brennkraftmaschine sinkt die Drehzahl von großen Turbinenrädern hingegen aufgrund mangelnder Abgasenthalpie stark ab. Entsteht aus diesem Zustand heraus eine Drehmomentanforderung an die Brennkraftmaschine, muss das Laufzeug von großen Turbinenrädern erst wieder beschleunigt werden. Der geforderte Ladeluftdruck baut sich entsprechend mit einer Verzögerung auf, was im Allgemeinen als „Turboloch“ bekannt ist. Es existieren verschiedene Ansätze, um diesen Nachteil zu kompensieren sowie den Drehzahlenanforderungen einer Brennkraftmaschine in sämtlichen Betriebspunkten gerecht zu werden.

**[0003]** Die Ausnutzung eines großen Lastbereiches einer Brennkraftmaschine, ohne die Bauteilgrenzen des Turbinenrades eines Abgasturboladers zu überschreiten, wird durch Legen eines Bypasses erreicht. Der elektrisch oder mechanisch gesteuert

te Bypass öffnet bei Überschreitung eines definierten Ladedrucks, führt einen Teil des Abgasmassenstroms an dem Turbinenrad vorbei und mündet in einem gemeinsamen Abgasauslass des Abgasturboladers. Bei diesem sogenannten Waste-Gate-Turbolader werden die Turbinenräder auf eine geringe Abgasenthalpie ausgelegt, wodurch eine Ladedruckerhöhung bereits im Niedrigdrehzahlbereich einer Brennkraftmaschine ermöglicht wird, ohne das Turbinenrad im Bereich hoher Lasten zu beschädigen. Der Nachteil dieser Technologie ist, dass ab Erreichen des Nennladedrucks des Abgasturboladers eine weitere Leistungssteigerung bei ansteigender Last verwehrt wird, was das Wirkungsgradpotential sowie die Kraftstoffeffizienz der Brennkraftmaschine einschränkt. Die Aufweitung des Ladedruckbereiches einer Turbine eines Abgasturboladers bei gutem Ansprechverhalten im Niedriglastbereich und gleichzeitig hohem Auslegungsladedruck im Hochlastbereich einer Brennkraftmaschine ist im Stand der Technik als die Technologie der variablen Turbinengeometrie bekannt. Durch verstellbar angeordnete Turbinenschaufeln wird die effektiv vom Abgasmassenstrom beaufschlagte Fläche des Turbinenrades variiert. Somit weist ein größeres Turbinenrad im Niedriglastbereich einer Brennkraftmaschine ein gutes Ansprechverhalten auf. Über entsprechende Verstellung der Turbinengeometrie baut der Abgasturbolader bei erhöhtem Abgasmassenstrom einen größeren Ladedruck auf, ohne dabei die Bauteilgrenzen des Turbinenrades zu überschreiten. Zum Schutz der Turbine und der Brennkraftmaschine sind die Turbinenschaufeln in der Lage, die angeströmte Turbinengeometrie in der Art zu verstellen, dass keine Fläche des Turbinenrades mit Abgas überströmt wird und ein entstehender Ladedruck im Notfall auf einen vernachlässigbar kleinen Wert begrenzt wird. Abgasturbolader mit variabler Turbinengeometrie stellen jedoch eine komplexe und damit bautechnisch anfällige Technologie dar, welche in der Auslegung des Drehzahl-Lastbereiches dennoch vom verfügbaren Bauraum abhängig sind.

**[0004]** Unter Berücksichtigung des verfügbaren Bauraums hat sich weiterhin die Verwendung von mehreren Abgasturboladern zur Aufladung einer Brennkraftmaschine im Stand der Technik bewährt. Bei der Technologie der Registeraufladung erfolgt die Ladedruckerhöhung durch zwei oder mehr Abgasturbolader. Die Abgasturbolader sind entsprechend einem schnellen Ansprechverhalten für geringe bis moderate Abgasenthalpie ausgelegt und werden über Klappensteuerung aktiviert bzw. deaktiviert. Im Niedriglastbereich einer Brennkraftmaschine wird zunächst nur ein Abgasturbolader mit dem Abgasmassenstrom beaufschlagt. Steigt die Last und Drehmomentanforderung der Brennkraftmaschine an, wird ein weiterer Abgasturbolader aktiviert. Der Abgasmassenstrom teilt sich dann auf beide Turbinenräder auf, wodurch die einzelnen Turbinenräder

wieder einen moderaten Abgasmassenstromdurchsatz aufweisen, der Ladedruck dennoch gesteigert wird.

**[0005]** Zur Realisierung einer mehrstufigen Aufladung ist aus dem Stand der Technik weiterhin bekannt, bei Registeraufladung einer Brennkraftmaschine die Turbinenräder der einzelnen Abgasturbolader so anzupassen, dass ein Turbinenrad seinen Auslegungsladedruck bei niedriger Abgasenthalpie, in Form einer Hochdruckstufe erreicht und ein weiteres Turbinenrad seinen Auslegungsladedruck bei einer höheren Abgasenthalpie erreicht, in Form einer Niederdruckstufe. Durch die Steuerung der Umschaltung zwischen den Stufen über einen Bypass wird ein breites Drehzahl-Last-Verhältnis einer Brennkraftmaschine abgedeckt und gleichzeitig der Effekt des Turbolochs verringert. Der Nachteil dieser Technologie ist, dass durch das Umschalten des Abgasmassenstroms Fluidsäulenschwankungen und Leckagen auftreten und somit Ladedruckschwankungen sowie Turbolöcher nicht komplett kompensiert werden.

**[0006]** Neben der Methodik, den Abgasmassenstrom auf mehrere Abgasturbolader aufzuteilen, ist aus dem Stand der Technik zusätzlich bekannt, die Überführung der Abgasleitungen aus den Auslassventilen der Zylinder einer Brennkraftmaschine in ein gemeinsames Abgasrohr, auch bezeichnet als Abgaskrümmern, in mindestens zwei solcher Abgasleitungsverzweigungen aufzuteilen. Die Aufteilung der Abgasleitungen aus den Auslassventilen, im Folgenden auch als „mehrflutiger Abgaskrümmern“ bezeichnet, erfolgt vorzugsweise in Abhängigkeit der Zündreihenfolge der Zylinder einer Brennkraftmaschine. Die getrennt voneinander entstehenden Abgasmassenströme werden jeweils an unterschiedlichen Positionen auf ein gemeinsames Turbinenrad eines einzelnen Abgasturboladers geführt. Somit sind die Druckschwankungen der Fluidsäulen durch die Zylinder gleicher Zündreihenfolge voneinander entkoppelt und der dem Turbinenrad zugeführte Abgasmassenstrom ist in seiner Dynamik gegenüber eines einzelnen Abgaskrümmers geglättet. Durch diese Technologie werden Druckschwankungen der Ladedrucksteigerung kompensiert und der benötigte Bauraum gegenüber mehrstufiger Aufladung einer Brennkraftmaschine verringert. Die Anwendung eines einzelnen Turbinenrades birgt jedoch wiederum die Nachteile bezüglich Turboloch und Drehzahl-Last-Bereichsdeckung, was unter zusätzlichem Einsatz der variablen Turbinengeometrietechnologie abgemildert werden kann.

**[0007]** Generell wird im aktuellen Stand der Technik eine Vielzahl von Kombinationen aus den etablierten Technologien zur Ladedrucksteuerung von Brennkraftmaschinen vorgestellt, welche insbesondere den Nachteilen bezüglich der Ladedruckschwankungen sowie der unvollständigen Bedienung des gesamten

Drehzahl-Last-Bereiches von Brennkraftmaschinen entgegenwirken und sich zusätzlich vorteilhaft auf die innermotorischen Maßnahmen zur Emissionsreduzierung von Brennkraftmaschinen auswirken.

**[0008]** Aus der Patentschrift DE102012001199B4 ist ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine bekannt, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass ein mehrflutiger Abgaskrümmern in Verbindung mit einer mehrstufigen Turboaufladung zur Ladedrucksteuerung angewendet wird, wobei jedem Auslassventil der Zylinder eines Zylinderblocks ein separater Abgaskrümmern zugeordnet ist. Die Abgaskrümmern unterscheiden sich vorteilhaft in der variablen Kühlwirkung auf das Abgas, dadurch, dass die Fluten verschiedene Leitungsgeometrien, Materialeigenschaften und Oberflächenbeschaffenheiten sowie unterschiedlich ausgeprägte Kühlkanäle aufweisen. Die Fluten sind im weiteren Strömungsverlauf mit jeweils einem Abgasturbolader verbunden, in der Form, dass eine Flut mit gegenüber den anderen Fluten kurzen Leitungen, höherem Durchmesser und geringeren Kühleigenschaften an einen Abgasturbolader mit einem kleinen Turbinenrad, welcher den Auslegungsladedruck im Niedriglastbereich einer Brennkraftmaschine erreicht, verbunden ist und eine weitere Flut mit gegenüber den anderen Fluten längeren Leitungen, mit niedrigerem Durchmesser und höheren Kühleigenschaften an einen weiteren Abgasturbolader mit einem größeren Turbinenrad, welcher den Auslegungsladedruck bei höherer Abgasenthalpie erreicht, verbunden ist. Die Umschaltung zwischen den Ladedruckstufen erfolgt durch variable Ansteuerung der einzelnen Auslassventile. Gegenüber der Pulsationscharakteristik bei nach Zündreihenfolge der Zylinder getrenntem Abgaskrümmern, wird hier ein weicherer Übergang zwischen den Fluten realisiert.

**[0009]** Trotz der Vorteile der Anwendung von mehrflutigen Abgaskrümmern in Verbindung mit mehrstufiger Turboaufladung von Brennkraftmaschinen bezüglich der erreichten Bandbreite des Drehzahl-Last-Bereiches sowie der Verminderung des Effektes von Turbolöchern muss bei Umschalten der Fluten auf die jeweilige Ladedruckstufe das Laufzeug der neubeaufschlagten Turbine zunächst beschleunigt werden. Zur Verbesserung der Performance solcher Systeme wird in der Offenlegungsschrift DE102015211438A1 ein Verfahren vorgeschlagen, wo bei einem Verfahren wie im vorherigen Absatz beschrieben, nach DE102012001199B4, eine elektrische Maschine der Hochdruckstufe in Serie geschaltet ist. Die elektrische Maschine treibt bei Zuschaltung der zweiten Ladedruckstufe die Welle des zweiten Abgasturboladers an, um das Turbinenrad aktiv zu beschleunigen und somit Ladedruckschwankungen zu vermeiden. Dieses Verfahren ist insbesondere dadurch vorteilhaft, dass die elektrische Maschine bei hohem Abga-

senthalpieangebot als Generator betrieben werden kann.

**[0010]** Die Kombination einer elektrischen Maschine und einem oder mehrerer Verdichter, welche mit einem Turbinenrad ein Verdichterrad antreiben, ist besonders bei hybriden Fahrzeugantriebskonzepten vorteilhaft. In der Offenlegungsschrift JP2012177330A wird dazu ein Hybridturbolader vorgeschlagen, welcher zwei Abgasturbolader, mit jeweils einem Turbinenrad und einem Verdichterrad, sowie eine elektrische Maschine aufweist, welche auf einer gemeinsamen Welle platziert sind. Die elektrische Maschine wird hierbei insbesondere zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet. Das gleiche Prinzip wird in der Offenlegungsschrift GB2523669A auf ein Brennstoffzellensystem angewendet.

**[0011]** Aus der Patentschrift EP2982847B1 ist weiterhin ein Verfahren bekannt, welches sich insbesondere auf die Bauraumanforderungen sowie die Kompressorperformance bei Abgasturboladern vorteilhaft auswirkt. Hierbei sind auf der Verdichterseite eines Abgasturboladers einer Brennkraftmaschine zwei Laufräder, Rücken an Rücken, auf der gemeinsamen Welle angeordnet. Innerhalb eines gemeinsamen Verdichtergehäuses saugt das Verdichterrad Frisch- bzw. Ladeluft aus zwei separaten Einlasskanälen auf die beiden, strömungstechnisch voneinander getrennten, Laufräder und führt die verdichteten Luftströme in einen gemeinsamen Auslasskanal. Zur Glättung der Strömungsverwirbelung der Luftzuführung in das innere Laufrad ist ein optimiertes Leitungssystem unter Verwendung von Leitschaufeln vorgesehen. Vorteilhaft für den benötigten Bauraum sind die Laufräder des Verdichters kleiner gegenüber einem konventionellen Verdichterrad ausgelegt. Weiterhin ist der angesaugte Frisch- bzw. Ladeluftstrom variabel einstellbar.

**[0012]** Bei einem Fahrzeugantrieb unter ausschließlicher Verwendung einer Brennkraftmaschine ist insbesondere die Bauraumanforderung im Motorraum hoch. Die Anwendung einer zusätzlichen elektrischen Maschine, wie in den genannten Dokumenten DE102015211438A1 und JP002012177330A ist diesbezüglich nachteilig. Um die Vorteile im Hinblick auf Performance sowie die erreichbare Bandbreite der Drehzahl-Last-Bereiche der Ladedrucksteuerung einer Brennkraftmaschine, welche aus den beschriebenen Verfahren des Stands der Technik hervorgehen, beizubehalten, sowie mit weiterer Bauraumersparnis durch die Verwendung von Doppel-Laufrädern, wie in EP2982847B1 beschrieben, zu kombinieren, wird die folgende Erfindung vorgeschlagen.

## Aufgabe der Erfindung

**[0013]** Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Bereitstellung einer Brennkraftmaschine, welche eine bezüglich Ansprechverhalten sowie abdeckbaren Drehzahl-Last-Anforderungen im gesamten Drehzahlband optimierte Turboaufladung abbildet und dabei niedrige Komplexität sowie geringen Bauraum aufweist sowie ein Verfahren zum Betreiben der Brennkraftmaschine.

## Lösung der Aufgabe

**[0014]** Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung nach den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren nach den Merkmalen des Patentanspruches 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen und den entstehenden Ausführungsformen.

## Darstellung und Vorteile der Erfindung

**[0015]** Die Erfindung stellt eine Brennkraftmaschine bereit, bei welcher ein dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine angepasster Ladeluftdruck zur Verfügung gestellt wird. Diese wird durch eine gezielte Aufteilung der Abgasenergie, in Form eines Abgasmassenstromes, auf separate Strömungswege mit unterschiedlichen Eigenschaften erreicht. Die separaten Strömungswege unterscheiden sich hinsichtlich der Kühlwirkung auf das Abgas sowie hinsichtlich der Wandlung der Abgasenthalpie in Ladeleistung eines Verdichters zur Ladeluftdruckerzeugung.

**[0016]** Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine mit zumindest einem Zylinderkopf weist wenigstens einen Zylinder auf, in welchem mindestens zwei Auslassventile vorgesehen sind. Jedes Auslassventil ist einem separaten Auslasskanal zugeordnet, wobei jeder Auslasskanal Teil einer Flut eines mehrflutigen Abgaskrümmers ist. Je eine Flut des mehrflutigen Abgaskrümmers bildet eine Abgasabführung aus, welche in die jeweiligen Einlasskanäle des Turbinengehäuses des Abgasturboladers führt. Der Abgasturbolader verfügt über mehrere Turbinenräder, welche auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind und separate Einlasskanäle aufweisen, welche strömungstechnisch voneinander getrennt sind, sowie mindestens je einen Auslasskanal pro Turbinenrad. Die Auslasskanäle aus dem Turbinengehäuse werden stromabwärts in einem Abgassammelrohr zusammengeführt, welchem sich die weitere Abgasabführung der Brennkraftmaschine anschließt. Der Abgasturbolader verfügt weiterhin über ein Verdichtergehäuse, in welchem mindestens ein Einlasskanal, ein Verdichterrad sowie ein Auslasskanal vorgesehen ist, wobei das Verdichterrad auf der gemeinsamen Welle der Turbinenräder gelagert ist. Dem Einlasskanal des Verdichtergehäuses wird Frischluft zu-

geführt und dem Auslasskanal des Verdichtergehäuses folgt die Ladeluftstrecke der Brennkraftmaschine.

**[0017]** Im Betrieb der Brennkraftmaschine ist eine definierbare Aufteilung des Abgasmassenstroms aus dem Brennraum der Zylinder in die unterschiedlichen Fluten des Abgaskrümmers und in anschließende Strömungswege vorgesehen. Dies wird erreicht, indem zumindest ein Auslassventil eines jeden Zylinders bezüglich Ventilansteuerdauer und Ventilhub veränderbar ist. Durch die Steuerung der Auslassventile wird der Abgasmassenstrom entweder auf eine einzelne Flut des Abgaskrümmers geleitet oder in einem bestimmten Verhältnis auf die verschiedenen Fluten des Abgaskrümmers aufgeteilt.

**[0018]** In einer vorteilhaften Ausführung der Brennkraftmaschine sind mindestens zwei Auslassventile pro Zylinder bezüglich ihrer Ventilansteuerdauer und ihres Ventilhubes veränderbar, wobei je ein variabel steuerbares Auslassventil einem Auslasskanal, welcher Teil einer Flut des mehrflutigen Abgaskrümmers ist, zugeordnet ist und ein weiteres variabel steuerbares Auslassventil desselben Zylinders einem anderen Auslasskanal, welcher Teil einer weiteren Flut des mehrflutigen Abgaskrümmers ist, zugeordnet ist, wodurch sich die Flexibilität in der Aufteilung des Abgasmassenstromes auf die verschiedenen Fluten des mehrflutigen Abgaskrümmers erhöht.

**[0019]** Eine weitere vorteilhafte Ausführung ergibt sich durch eine unterschiedliche Kühlung der separaten Auslasskanäle mittels Kühlkanälen, in der Form, dass sich die separaten Auslasskanäle eines Zylinders hinsichtlich einer abgasführenden Länge und / oder hinsichtlich eines abgasführenden Querschnitts und / oder hinsichtlich einer Oberflächenrauheit und / oder hinsichtlich des Werkstoffs und / oder hinsichtlich der Wandstärke zum umgebenden Kühlmantel und / oder hinsichtlich der Kühlmantelumhüllung und / oder hinsichtlich der Kühlmantelstruktur und / oder hinsichtlich der Kühlmittelumströmung und / oder hinsichtlich der Isolierung der Kanäle unterscheiden.

**[0020]** Gegenüber weiteren Auslasskanälen kürzere Auslasskanäle, mit größeren Durchmessern, weniger wärmeleitfähigem Werkstoff der Verrohrung, glatter Oberflächenbeschaffenheit der inneren Rohrwände sowie in niedrigerem Maße ausgeprägte Kühlkanalummantelung bewirkt einen höheren Durchsatz an Abgasmassenstrom bei gleichzeitig geringerem Enthalpieverlust, was das Ansprechverhalten des Abgasturboladers im unteren Drehzahlbereich der Brennkraftmaschine verbessert.

**[0021]** Gegenüber weiteren Auslasskanälen längere Auslasskanäle, mit kleineren Durchmessern, wärmeleitfähigem Werkstoff der Verrohrung, rauer Oberflächenbeschaffenheit der inneren Rohrwände sowie in höherem Maße ausgeprägte Kühlkanalummantelung

bewirkt eine höhere Strömungsgeschwindigkeit bei niedrigerem Durchsatz an Abgasmassenstrom sowie einer dadurch ausgeprägten stärkeren Kühlung des Abgases, was für den Komponentenschutz im hohen Drehzahlbereich der Brennkraftmaschine vorteilhaft ist sowie eine Strömungsbeaufschlagung des Abgasturboladers im Hochlastbereich der Brennkraftmaschine ermöglicht.

**[0022]** Die nunmehr unterschiedlich stark gekühlten Fluten des mehrflutigen Abgaskrümmers bilden getrennte Strömungswege, welche jeweils in wenigstens einen Turbineneinlass des Turbinengehäuses des Abgasturboladers münden. Jeder separate Strömungsweg führt über entsprechend vorgesehene Turbineneinlasskanäle auf ein separates Turbinenrad des Abgasturboladers, wobei sich die einzelnen Turbinenräder auf einer gemeinsamen Welle befinden, dennoch strömungstechnisch voneinander getrennt sind. Durch die Aufteilung des Abgasmassenstroms mittels steuerbarer Auslassventile ist jedes Turbinenrad variabel mit einem einstellbaren Abgasmassenstrom einer entsprechend der Kühlung vorhandenen Abgasenthalpie beaufschlagbar, wobei der Abgasmassenstrom vollständig einem einzelnen Turbinenrad zugeteilt oder in einem bestimmten Verhältnis aus sämtlichen Turbinenrädern aufgeteilt wird.

**[0023]** In einer vorteilhaften Ausführung sind zwei Turbinenräder auf einer gemeinsamen Welle angeordnet, sodass durch die gerichtete Beaufschlagung des ersten Turbinenrades mit dem Abgasmassenstrom aus der weniger gekühlten Flut und die Beaufschlagung des zweiten Turbinenrades mit dem Abgasmassenstrom aus der stärker gekühlten Flut des mehrflutigen Abgaskrümmers eine mehrstufige bzw. Registeraufladung realisierbar ist.

**[0024]** Eine weitere vorteilhafte Ausführung ergibt sich dadurch, dass beide Turbinen jeweils mit ihrer Rückseite aneinander auf der gemeinsamen Welle des Abgasturboladers ausgerichtet sind und der Abstand zwischen beiden minimiert ist bzw. beide Turbinenräder als ein Doppelturbinenrad in einem Bauteil zusammengefasst sind. Die sich ergebende mögliche kleinere Dimensionierung der Turbinenräder und die Anordnung in einem einzelnen Turbinengehäuse auf einer gemeinsamen Welle schafft einen vorteilhaft reduzierten Bauraum gegenüber konventioneller mehrstufiger Aufladung.

**[0025]** Bei unterschiedlicher Dimensionierung der Turbinenräder bezüglich ihres Auslegungsladedrucks werden der Effekt der Stufenaufladung sowie die Vorteile durch das bessere Ansprechverhalten, verbunden mit der Bedienung eines möglichst hohen Drehzahlbereiches der Brennkraftmaschine, weiter gesteigert, in der Form, dass das erste Turbinenrad gegenüber dem zweiten Turbinenrad ei-

nen niedrigeren Auslegungsladedruck sowie einen niedrigeren Durchmesser als das zweite Turbinenrad aufweist. Zur variablen Aufteilung der Abgasmassenströme aus dem mehrflutigen Abgaskrümmers auf die einzelnen Turbinenräder des Abgasturboladers ist das Vorsehen eines Ventils zwischen den Fluten des mehrflutigen Abgaskrümmers und den Turbineneinlässen vorteilhaft. Somit ist zusätzlich die Beaufschlagung des zweiten Turbinenrades mit dem Abgasmassenstrom aus der ersten Flut, welche geringere Kühlungseigenschaften aufweist, sowie die Beaufschlagung des ersten Turbinenrades mit dem Abgasmassenstrom aus der zweiten Flut, welche eine höhere Kühlwirkung erzielt, möglich. Für jedes Turbinenrad ist wenigstens ein Turbinenauslass vorgesehen, wobei sämtliche Turbinenauslässe in ein gemeinsames Abgassammelrohr münden, an welches sich die weitere Abgasabführung der Brennkraftmaschine anschließt.

**[0026]** Im Hinblick auf Drehzahlregelung der Abgasturbinen sowie bezüglich des Komponentenschutzes im Fehlerfall, ist die Anwendung von mindestens einem Bypass vorteilhaft. In einer vorteilhaften Ausführung, umfassend einen zweiflutigen Abgaskrümmers sowie zwei unterschiedlich große Turbinenräder des Abgasturboladers, weist eines der beiden Turbinenräder, vorzugsweise das größere Turbinenrad, einen Bypass auf, welcher stromaufwärts des Turbinenrades beginnt und stromabwärts des Turbinenrades endet.

**[0027]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführung, in welcher mindestens zwei Turbinenräder im Abgasturbolader vorgesehen sind, verfügt jedes Turbinenrad über einen Bypass, welcher jeweils stromaufwärts des Turbinenrades beginnt und stromabwärts des Turbinenrades endet. Neben der Variante, jedem Turbinenrad einen Bypass zur Verfügung zu stellen, entsteht eine weitere vorteilhafte Ausführungsform in der Art und Weise, dass ein Bypass über den gesamten Abgasmassenstrom, welcher dem Abgasturbolader zugeführt wird, gelegt wird, in der Form, dass der Bypass stromaufwärts des Abgasturboladers vor oder nach dem Ventil zwischen den Abgaskrümmersfluten des Abgaskrümmers und den Turbineneinlasskanälen des Abgasturboladers beginnt sowie nach der Zusammenführung der Auslasskanäle der einzelnen Turbinenräder endet. Zusätzlich zu den unterschiedlichen Varianten der Bypässe, entsteht eine vorteilhafte Ausführung auf die Art und Weise, dass für mindestens ein Turbinenrad eine variable Turbinengeometrie vorgesehen ist.

**[0028]** Das Verdichterrad der Verdichterseite des Abgasturboladers, welcher aus zumindest einem Verdichtereinlass, wenigstens einem Verdichterrad sowie mindestens einem Verdichterauslass besteht, ist auf der gemeinsamen Welle der Turbinenräder gelagert, in der Form, dass das Verdichterrad aufgrund

der Rotation der beiden Turbinenräder angetrieben wird, Frischluft ansaugt, komprimiert und in die weitere Ladeluftstrecke der Brennkraftmaschine führt. Die Anordnung von Verdichterrad und Turbinenrädern auf einer gemeinsamen Welle ist insbesondere vorteilhaft für den gleichmäßigen Antrieb des Verdichters, da bei Strömungsumschaltung des Abgasmassenstromes zwischen den Druckstufen des Abgasturboladers das Laufzeug des neubeaufschlagten Turbinenrades, auch ohne Aktivierung zusätzlicher Komponenten, bereits die Drehzahl des zuvor beaufschlagten Turbinenrades innehat.

**[0029]** Durch die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine wird eine Technologie offenbart, welche die Vorteile aus dem Stand der Technik zur Aufladung von Brennkraftmaschinen bezüglich Ansprechverhalten des Abgasturboladers im Niederlastbereich der Brennkraftmaschine, vollständige Ladeluftleistungsversorgung des Drehzahl-Last-Bereichs der Brennkraftmaschine sowie reduzierter Bauraum kombiniert und deren Anforderungen in Form von Verringerung des Turbolochs, Glättung der Impulscharakteristik des Abgasmassenstromdurchflusses sowie Reduzierung der Komplexität des Systems gerecht wird. Die Verbindung eines mehrflutigen Abgaskrümmers mit variabel steuerbaren Auslassventilen in den Zylindern der Brennkraftmaschine, zusammen mit einem Ventil, welches zwischen den Abgaskrümmersfluten des Abgaskrümmers und den Turbineneinlasskanälen des Abgasturboladers angeordnet ist, sowie zwei, in ihrem Auslegungsladedruck verschiedenen Turbinenrädern eines Abgasturboladers, unter Hinzunahme der Waste-Gate-Technologie und der variablen Turbinengeometrie, ermöglicht das variable Einstellen eines erforderlichen Abgasmassenstroms bezüglich Massendurchsatz, Abgasenthalpie und Impulsdynamik bei gleichzeitig schnellem Ansprechverhalten im unteren Lastbereich der Brennkraftmaschine sowie eine hohe Ausnutzung der Ladeluftdrucksteigerung bis in den hohen Lastbereich der Brennkraftmaschine. Durch die Lagerung der einzelnen Turbinenräder und des Verdichterrades auf einer gemeinsamen Welle werden weiterhin die Komplexität des Systems, der benötigte Bauraum sowie der Effekt des Turbolochs reduziert.

#### Ausführungsbeispiel

**Fig. 1** zeigt beispielhaft die schematische Darstellung einer Ausführung der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine, welche eine komplexe, dafür jedoch technisch flexible Ausführungsform bezüglich der Ladedrucksteuerung abbildet.

**[0030]** Der Zylinderkopf (1) einer nicht dargestellten Brennkraftmaschine verfügt über die Brennräume von vier Zylindern (2A, 2B, 2C, 2D), in welchen jeweils zwei Auslassventile (3A, 4A, 3B, 4B, 3C, 4C,

**3D, 4D**) vorgesehen sind. Die Auslassventile (**3A, 4A, 3B, 4B, 3C, 4C, 3D, 4D**) sind bezüglich Ventilansteuerdauer und Ventilhub variabel änderbar. Je ein separater Auslasskanal (**5A, 6A, 5B, 6B, 5C, 6C, 5D, 6D**) ist jedem der Auslassventile (**3A, 4A, 3B, 4B, 3C, 4C, 3D, 4D**) zugeordnet, wobei die ersten Auslasskanäle (**5A, 5B, 5C, 5D**) eines jeden Zylinders (**2A, 2B, 2C, 2D**) in einem ersten gemeinsamen Abgassammelrohr (**7**) münden und die zweiten Auslasskanäle (**6A, 6B, 6C, 6D**) in einem zweiten gemeinsamen Abgassammelrohr (**8**) münden. Beide Abgassammelrohre (**7, 8**) sind in einem zweiflutigen Abgaskrümmmer (**9**) zusammengefasst. Vom zweiflutigen Abgaskrümmmer (**9**) stromabwärts führen zwei Turbineneinlasskanäle (**10, 11**) in ein Turbinengehäuse (**12**), in der Form, dass ein erster Turbineneinlasskanal (**10**) einem ersten Turbinenrad (**13**) zugeordnet ist und ein zweiter Turbineneinlasskanal (**11**) einem zweiten Turbinenrad (**14**) zugeordnet ist. Beide Turbinenräder (**13, 14**) sind Rücken an Rücken zueinander ausgerichtet und strömungstechnisch voneinander getrennt. Das zweite Turbinenrad (**14**) ist gegenüber dem ersten Turbinenrad (**13**) entsprechend einem höheren Auslegungsladedruck mit einem größeren Durchmesser dimensioniert. Zusätzlich ist für das zweite Turbinenrad (**14**), welches die Niederdruckstufe bildet, ein Bypass als Waste-Gate (**15**) vorgesehen. Die beiden Turbinenräder (**13, 14**) sind weiterhin auf einer gemeinsamen Abgasturboladerwelle (**16**) fest gelagert, auf welcher ebenfalls das Verdichterrad des Verdichters (**17**) angeordnet ist. Jedes Turbinenrad (**13, 14**) besitzt einen separaten Turbinenauslass, wobei die einzelnen Turbinenauslässe in einem gemeinsamen Turbinenauslass (**18**) münden, welchem sich stromabwärts mindestens ein nicht dargestellter Abgaskatalysator anschließt.

<b>5A, 5B, 5C, 5D</b>	erster Auslasskanal
<b>6A, 6B, 6C, 6D</b>	zweiter Auslasskanal
<b>7</b>	erstes Abgassammelrohr
<b>8</b>	zweites Abgassammelrohr
<b>9</b>	Abgaskrümmmer
<b>10</b>	erster Turbineneinlasskanal
<b>11</b>	zweiter Turbineneinlasskanal
<b>12</b>	Turbinengehäuse
<b>13</b>	erstes Turbinenrad
<b>14</b>	zweites Turbinenrad
<b>15</b>	Waste-Gate
<b>16</b>	Abgasturboladerwelle
<b>17</b>	Verdichter
<b>18</b>	Turbinenauslass

**[0031]** In dieser beispielhaft dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine bilden sich demnach zwei bis zu einem Abgaskatalysator getrennte Strömungswege aus, wobei ein in den Zylindern (**2A, 2B, 2C, 2D**) gebildeter Abgasmassenstrom durch die beiden Auslassventile (**3A, 4A, 3B, 4B, 3C, 4C, 3D, 4D**) auf die jeweils ersten Auslasskanäle (**5A, 5B, 5C, 5D**) sowie die jeweils zweiten Auslasskanäle (**6A, 6B, 6C, 6D**) aufgeteilt und in ein jeweils erstes Abgassammelrohr (**7**) sowie in ein jeweils zweites Abgassammelrohr (**8**) geleitet wird und weiterhin über Turbineneinlasskanäle (**10, 11**) auf die Turbinenräder (**13, 14**) und anschließend in einen Turbinenauslass (**18**) geführt wird.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Zylinderkopf
<b>2A, 2B, 2C, 2D</b>	Zylinder
<b>3A, 3B, 3C, 3D</b>	erstes Auslassventil
<b>4A, 4B, 4C, 4D</b>	zweites Auslassventil

**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**

- DE 102012001199 B4 [0008, 0009]
- DE 102015211438 A1 [0009, 0012]
- JP 2012177330 A [0010]
- GB 2523669 A [0010]
- EP 2982847 B1 [0011, 0012]
- JP 002012177330 A [0012]

## Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine mit zumindest einem Zylinder, in welchem wenigstens zwei Auslassventile angeordnet sind, wobei mindestens ein Auslassventil des Zylinders hinsichtlich Ventilhub und Ventilsteuerzeit veränderbar ist, wobei jedem Auslassventil ein separater Auslasskanal zugeordnet ist und jeder separate Auslasskanal mit einer Abgaskrümmmerflut eines mehrflutigen Abgaskrümmers verbunden ist, wobei jeder Abgaskrümmmerflut zumindest ein separater Turbineneinlasskanal des Turbinengehäuses eines Abgasturboladers zugeordnet ist, wobei im Turbinengehäuse des Abgasturboladers wenigstens zwei Turbinenräder auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind, derart, dass für jedes Turbinenrad mindestens ein Turbineneinlasskanal sowie mindestens ein Turbinenauslasskanal vorhanden ist, wobei jede Anordnung, umfassend ein Turbinenrad mit zugehörigen Turbineneinlass- und Auslasskanälen von jeder weiteren Anordnung, umfassend ein weiteres Turbinenrad mit zugehörigen Turbineneinlass- und Auslasskanälen, strömungstechnisch getrennt angeordnet ist, wobei sämtliche Turbinenauslasskanäle in einem gemeinsamen Abgassammelrohr münden, sowie, dass zumindest ein Verdichterrad eines Verdichters auf der gemeinsamen Welle des Abgasturboladers angeordnet ist, wobei für jedes Verdichterrad wenigstens ein Verdichtereinlass- und wenigstens ein Verdichterauslasskanal vorgesehen ist.

2. Brennkraftmaschine nach Patentanspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die separaten Auslasskanäle eines Zylinders hinsichtlich einer abgasführenden Länge und / oder eines abgasführenden Querschnitts und / oder einer Oberflächenrauheit und / oder einer Werkstoffwärmeleitfähigkeit und / oder einer Auslasskanalwandstärke und / oder einer Kühlleistung des Kühlmantels und / oder einer Beschichtung unterscheiden.

3. Brennkraftmaschine nach Patentanspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Abgaskrümmmerfluten des Abgaskrümmers und den Turbineneinlasskanälen des Abgasturboladers ein einstellbares Ventil zur Aufteilung der Strömungswege vorgesehen ist, sodass ein Abgasmassenstrom aus einer Abgaskrümmmerflut vollständig auf einen Turbineneinlasskanal geleitet wird oder, dass die Abgasmassenströme aus den Abgaskrümmmerfluten auf die Turbineneinlasskanäle aufgeteilt werden.

4. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Patentansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Turbinenrad des Abgasturboladers einen höheren Auslegungsladedruck aufweist, als weitere Turbinenräder.

5. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Patentansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,

dass mindestens zwei Turbinenräder jeweils mit ihren Rückseiten zueinander ausgerichtet sind.

6. Brennkraftmaschine nach Patentanspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die jeweils mit ihren Rückseiten zueinander ausgerichteten Turbinenräder, in Form eines Doppelturbinenrades, in einem Bauteil zusammengefasst sind.

7. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Patentansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für wenigstens ein Turbinenrad des Abgasturboladers ein Bypass vorgesehen ist, welcher stromaufwärts vor dem Turbinenrad beginnt.

8. Brennkraftmaschine nach den Patentansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass für sämtliche Turbinenräder ein gemeinsamer Bypass vorhanden ist, welcher stromaufwärts des Abgasturboladers vor der Aufteilung der Strömungswege auf die Turbineneinlässe beginnt und stromabwärts des Abgasturboladers nach dem Zusammenschluss der Turbinenauslässe endet.

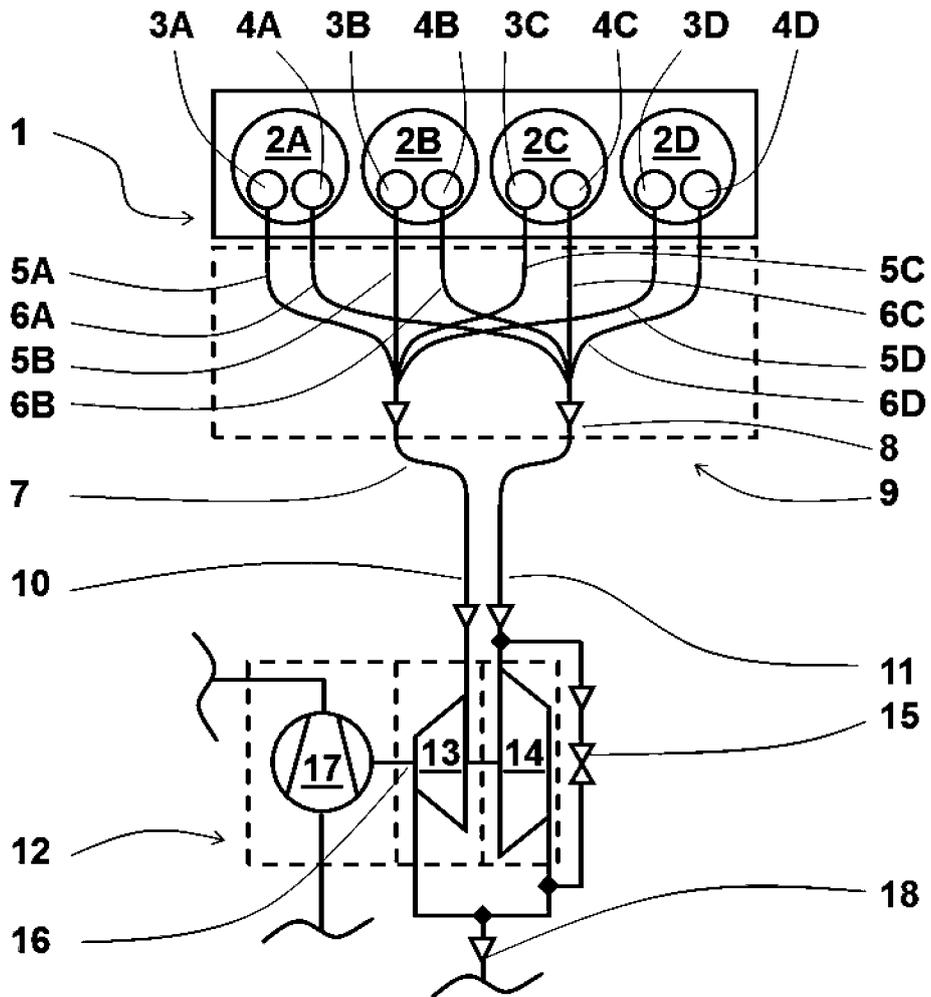
9. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Patentansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für mindestens ein Turbinenrad eine variable Turbinengeometrie vorgesehen ist.

10. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit zumindest einem Zylinder, in welchem wenigstens zwei Auslassventile angeordnet sind, wobei mindestens ein Auslassventil des Zylinders hinsichtlich Ventilhub und Ventilsteuerzeit veränderbar ist, wobei jedem Auslassventil ein separater Auslasskanal zugeordnet ist und jeder separate Auslasskanal mit einer Abgaskrümmmerflut eines mehrflutigen Abgaskrümmers verbunden ist, wobei jeder Abgaskrümmmerflut zumindest ein separater Turbineneinlasskanal des Turbinengehäuses eines Abgasturboladers zugeordnet ist, wobei im Turbinengehäuse des Abgasturboladers wenigstens zwei Turbinenräder auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind, in der Art und Weise, dass für jedes Turbinenrad mindestens ein Turbineneinlasskanal sowie mindestens ein Turbinenauslasskanal vorhanden ist, wobei jede Anordnung, umfassend ein Turbinenrad mit zugehörigen Turbineneinlass- und Auslasskanälen von jeder weiteren Anordnung, umfassend ein weiteres Turbinenrad mit zugehörigen Turbineneinlass- und Auslasskanälen, strömungstechnisch getrennt angeordnet ist, wobei sämtliche Turbinenauslasskanäle in einem gemeinsamen Abgassammelrohr münden, sowie, dass zumindest ein Verdichterrad eines Verdichters auf der gemeinsamen Welle des Abgasturboladers angeordnet ist, wobei für jedes Verdichterrad wenigstens ein Verdichtereinlass- und wenigstens ein Verdichterauslasskanal vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine betriebszustandsindividuelle variable Aufteilung des Abgases eines

Zylinders durch variable Ansteuerung von zumindest einem Auslassventil, wenigstens eines Zylinders, erfolgt, wobei das Abgas für eine geringe Abkühlung durch einen ersten Auslasskanal und für eine hohe Abkühlung durch einen weiteren Auslasskanal geleitet wird, wobei das Abgas während niedriger Drehzahlen der Brennkraftmaschine vorrangig durch einen ersten Auslasskanal mit geringer Kühlwirkung und während hoher Drehzahlen der Brennkraftmaschine vorrangig durch einen weiteren Auslasskanal mit hoher Kühlwirkung geleitet wird sowie, dass das Abgas aus dem ersten Auslasskanal vorrangig über ein erstes Turbinenrad des Abgasturboladers geführt wird, welches gegenüber einem weiteren Turbinenrad einen niedrigeren Auslegungsladedruck aufweist und, dass das Abgas aus einem weiteren Auslasskanal vorrangig über ein weiteres Turbinenrad geführt wird, welches gegenüber dem ersten Turbinenrad einen höheren Auslegungsladedruck aufweist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1