

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50359/2015 (51) Int. Cl.: **F02B 37/013** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 05.05.2015 **F02B 37/24** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 15.07.2016 **F02B 37/18** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2011296830 A1
DE 102013215574 A1
DE 102013008827 A1
EP 1640583 A2
EP 1640598 A1
DE 19853360 A1
DE 10319594 A1
DE 19961610 A1
DE 102008036308 A1
DE 102008056337 A1
DE 102009036743 A1

(71) Patentanmelder:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Babeluk Michael
1080 Wien (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10) mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine (13b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter (13a) aufweisenden Hochdruckabgasturbolader (13) und zumindest einem eine Niederdruckabgasturbine (14b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter (14a) aufweisenden Niederdruckabgasturbolader (14), wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander von Abgas im Auslasssystem (12) durchströmt werden und der Niederdruckverdichter (14a) und der Hochdruckverdichter (13a) nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem (11) durchströmt werden, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) über eine ein erstes Bypass-Ventil (18) aufweisende erste Bypassleitung (17) umgangen wird.

Zur Steigerung der Motorleistung und des Wirkungsgrades ist vorgesehen, dass in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b), variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) oder erstes Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die anderen Stellglieder vorgesteuert werden.

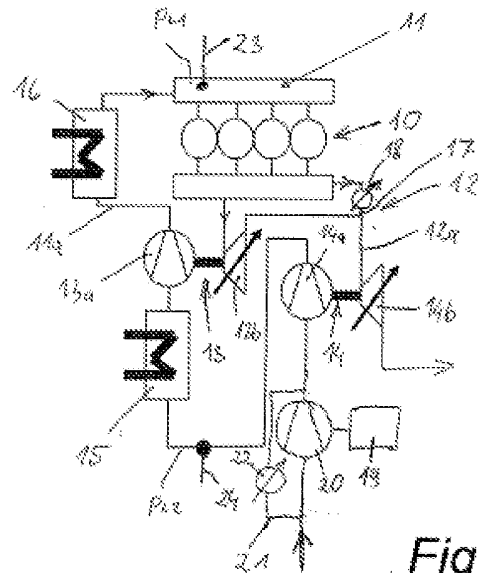


Fig. 1

Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10) mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine (13b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter (13a) aufweisenden Hochdruckabgasturbolader (13) und zumindest einem eine Niederdruckabgasturbine (14b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter (14a) aufweisenden Niederdruckabgasturbolader (14), wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander von Abgas im Auslasssystem (12) durchströmt werden und der Niederdruckverdichter (14a) und der Hochdruckverdichter (13a) nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem (11) durchströmt werden, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) über eine ein erstes Bypass-Ventil (18) aufweisende erste Bypassleitung (17) umgangen wird.

Zur Steigerung der Motorleistung und des Wirkungsgrades ist vorgesehen, dass in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b), variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) oder erstes Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die anderen Stellglieder vorgesteuert werden.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter aufweisenden Hochdruckabgasturbolader und zumindest einem eine Niederdruckabgasturbine mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter aufweisenden Niederdruckabgasturbolader, wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich die Hochdruckabgasturbine und die Niederdruckabgasturbine nacheinander von Abgas im Auslasssystem und der Niederdruckverdichter und der Hochdruckverdichter nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem durchströmt werden, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich die Hochdruckabgasturbine über eine ein erstes Bypass Ventil aufweisende erste Bypassleitung umgangen wird. Weiters betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens.

Die EP 1 640 598 A1 beschreibt eine aufgeladene Brennkraftmaschine mit einer Ansaugleitung zur Versorgung mit Frischluft und einer Abgasleitung zur Abführung des Abgases mit zumindest zwei in Reihe geschalteten Abgasturboladern, die jeweils eine in der Abgasleitung angeordnete Turbine und einen in der Ansaugleitung angeordneten Verdichter umfassen, von denen ein erster Abgasturbolader als Hochdruckstufe und eine zweiter Abgasturbolader als Niederdruckstufe dient. Die eine variable Turbinengeometrie (VTG) aufweisende Hochdruckabgasturbine ist über eine Bypassleitung und ein sogenanntes „Wastegate“ umgehbar.

Die DE 198 53 360 A1 offenbart eine Brennkraftmaschine mit zwei unterschiedlich großen Abgasturboladern, wobei die beiden in Reihe geschalteten und jeweils über eine Bypassleitung umgehbaren Abgasturbolader unterschiedliche Betriebskennfelder aufweisen. Die niederdruckseitig im Abgasstrang angeordnete Abgasturbine weist eine variable Turbinengeometrie auf.

Weitere ähnliche Anordnungen sind aus den Druckschriften DE 103 19 594 A1, DE 199 61 610 A1, DE 10 2008 036 308 A1, DE 10 2008 056 337 A1, DE 10 2009 036 743 A1 und DE 10 2012 012 730 A1 bekannt.

Mit in Reihe geschalteten Abgasturboladern kann eine hohe Motorleistung in einem weiten Drehzahlbereich zur Verfügung gestellt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine weitere Steigerung der Motorleistung und des Wirkungsgrades zu erzielen.

Erfindungsgemäß erfolgt dies dadurch, dass in zumindest einem Motorbetriebsbereich ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine, variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine oder erstes Bypass-Ventil in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert und zumindest einem Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt und die anderen Stellglieder vorgesteuert werden.

Der Istwert des Druckes in der Ansaugleitung wird im Einlasssystem stromabwärts zumindest eines Verdichters gemessen und die Abweichung zwischen dem Istwert und einem vorgegebenen Sollwert verwendet, um eine oder zwei der angegebene Stellgrößen in einem geschlossenen Regelkreis – beispielsweise mittels eines PID-Reglers – zu regeln. Die restlichen Stellgrößen werden, beispielsweise auf der Basis von Kennfeldern, in Abhängigkeit von mindestens einem Motorbetriebsparameter, beispielsweise der Last und/oder der Motordrehzahl, vorgesteuert. „Vorsteuern“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass das Einstellen des Stellgliedes in einem offenen Steuerkreis, also ohne Rückführung einer Regelgröße, auf Grund eines Sollwertes - zum Beispiel über ein Kennfeld in Abhängigkeit einer Soll-Einspritzmenge oder einer Drehzahl - erfolgt. Diese Kombination aus Regelung und Steuerung hat den Vorteil, dass mit relativ einfachen Regelmitteln eine hohe Effizienzsteigerung erzielt werden kann.

In einem ersten Motorbetriebsbereich der Brennkraftmaschine kann die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine in Abhängigkeit der Abweichung zwischen zumindest einem Istwert und zumindest einem Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt werden. Alternativ dazu kann auch vorgesehen sein, dass im ersten Motorbetriebsbereich die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine kombiniert geregelt wird, wobei

die Verhältniszahl aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine und der Hochdruckabgasturbine abgeleitet wird.

Der erste Motorbetriebsbereich deckt einen Großteil des unteren und mittleren Drehzahlbereiches zwischen minimalem und maximalem Drehmoment ab.

Der Istwert des Druckes in der Ansaugleitung kann stromabwärts des Hochdruckverdichters, also beispielsweise im Bereich des Einlasssammlers gemessen werden. Darüber hinaus ist es auch möglich, neben diesem ersten Istwert des Druckes in der Ansaugleitung einen zweiten Istwert des Druckes in der Ansaugleitung für die Regelung zu verwenden, welcher stromaufwärts des Hochdruckverdichters in der Ladeluftleitung des Einlasssystems gemessen wird. In diesem Falle kann in einem ersten Motorbetriebsbereich die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem ersten Istwert und einem ersten Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem zweiten Istwert und einem zweiten Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt werden, wobei vorzugsweise der erste Istwert stromabwärts des Hochdruckverdichters und der zweite Istwert des Druckes in der Ansaugleitung zwischen dem Niederdruckverdichter und dem Hochdruckverdichter gemessen wird.

Im ersten Motorbetriebsbereich wird gemäß der vorliegenden Erfindung das erste Bypass-Ventil zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine vollständig geschlossen, so dass die Hochdruckabgasturbine und die Niederdruckabgasturbine nacheinander vom gesamten Abgasstrom durchströmt werden.

Durch die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren kombinierte Verwendung eines Niederdruckabgasturboladers und eines Hochdruckabgasturboladers können die Betriebspunkte in den jeweiligen Verdichterkennfeldern weitgehend so verschoben werden, dass ein Betrieb stets bei besten Wirkungsgraden möglich ist. Im Vergleich zu dem bekannten Stand der Technik ergeben sich durch Vorteile im Gesamtwirkungsgrad, da durch ein Wastegate verursachte Verluste im ersten Motorbetriebsbereich komplett vermieden werden können.

Um auch oberhalb des ersten Motorbetriebsbereiches, insbesondere bei höheren Drehzahlen ein hohes Drehmoment zur Verfügung zu stellen, sieht die Erfindung

weitere vor, dass in einem zweiten Motorbetriebsbereich das erste Bypass-Ventil in Abhängigkeit der Abweichung zwischen dem Istwert und dem Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung, vorzugsweise der Abweichung zwischen dem ersten Istwert und dem ersten Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung, geregelt wird, wobei vorzugsweise die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine – insbesondere über den zweiten Istwert des Druckes in der Ansaugleitung - vorgesteuert werden.

Der Vorteil des ersten Bypass-Ventils ist, dass die Hochdruckturbine in ihrem Verstellbereich so angepasst werden kann, dass sie einerseits im ersten Motorbetriebsbereich mit besten Wirkungsgraden arbeiten kann. Da der Verstellbereich der Hochdruckabgasturbine über die variable Geometrie zum Ausregeln des Ladedrucks bei hohen Lasten und Drehzahlen im zweiten Motorbetriebsbereich nicht mehr ausreicht, wird ein Teil des Abgasstroms mittels des ersten Bypass-Ventils an der Hochdruckabgasturbine vorbeigeleitet. Der Abgasmassenstrom in der Umgehungsleitung ist – bei vollständig geöffnetem ersten Bypass-Ventil - vorteilhaft auf etwa 20% des gesamten Abgasmassenstroms begrenzt, um ein Absinken des Gesamtwirkungsgrades der aus beiden Niederdruckabgasturbolader und Hochdruckabgasturbolader – und eventuell auch einem elektrisch angetriebenen Verdichter - bestehenden Aufladegruppe zu vermeiden.

Durch die Begrenzung des Verstellbereichs der VTG-Hochdruckabgasturbine, innerhalb dessen die Hochdruckabgasturbine mit vernünftigen Wirkungsgraden betrieben werden kann, ist der Einsatz eines ersten Bypass-ventils (Wastegate) von Vorteil. Der Vorteil ist insbesondere bei 2-stufiger Aufladung gegeben, zumal der Abgasmassenstrom, der an der Hochdruckabgasturbine vorbeigeleitet wird, direkt an die Niederdruckabgasturbine weitergeleitet wird und damit keine Energie verlorenght. Durch den zusätzlichen Strömungspfad über das erste Bypass-ventil wird der Abgasgegendruck für die Brennkraftmaschine abgesenkt, was Vorteile im Verbrauch und eine Absenkung der Abgastemperatur verspricht

Der zweite Motorbetriebsbereich deckt einen oberen Drehzahlbereich zwischen minimalem und maximalem Drehmoment ab.

Weiters kann im Rahmen der Erfindung vorgesehen sein, dass in einem dritten Motorbetriebsbereich die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine

und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert und einem Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt werden. Dabei ist es auch möglich, die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine zu regeln, wobei vorzugsweise die Verhältniszahl aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine und der Hochdruckabgasturbine abgeleitet wird. Die Verhältniszahlen zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine können in einem Kennfeld in Abhängigkeit zumindest eines Motorbetriebsparameters abgespeichert und daraus abgerufen werden. Der dritte Motorbetriebsbereich beinhaltet den Betrieb der Brennkraftmaschine bei hoher bis maximaler Drehzahl.

Stehen zwei an unterschiedlichen Orten der Ladeluftleitung ermittelte Istwerte des Druckes in der Ansaugleitung zur Verfügung, so kann eine besonders effiziente und genaue Regelung der Abgasturbolader erreicht werden, wenn im dritten Motorbetriebsbereich die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem ersten Istwert und einem ersten Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem zweiten Istwert und einem zweiten Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt wird, wobei vorzugsweise der erste Istwert stromabwärts des Hochdruckverdichters und der zweite Istwert des Druckes in der Ansaugleitung zwischen dem Niederdruckverdichter und dem Hochdruckverdichter gemessen wird. Dabei wird im dritten Motorbetriebsbereich das erste Bypass-Ventil vollständig geöffnet und/oder vorgesteuert geöffnet, so dass zumindest ein Teil des Abgasstroms durch die erste Umgehungsleitung an der Hochdruckabgasturbine vorbeigeleitet wird. Beispielsweise können etwa 20% der gesamten Abgasmenge bei vollständiger Öffnung des ersten Bypass-Ventiles durch die erste Umgehungsleitung und an der Hochdruckabgasturbine vorbeigeleitet werden.

Durch die Nutzung einer oder beider VTG-Abgasturbinen zur Ladedruckregelung bei (teilweise) geöffnetem erstem Bypass-Ventil können analog zum ersten

Motorbetriebsbereich im dritten Motorbetriebsbereich die Betriebspunkte in den jeweiligen Verdichterkennfeldern weitgehend so verschoben werden, dass ein Betrieb bei besten Wirkungsgraden möglich ist, ohne den Bereich guter Wirkungsgrade bei einer oder beiden VTG-Abgasturbinen verlassen zu müssen. Damit verbessert sich der Verbrauch der Brennkraftmaschine und es kann eine höhere Leistung bei gegebenem Abgastemperatur- und Spitzendrucklimit erreicht werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn im Einlasssystem ein elektrisch angetriebener Verdichter, vorzugsweise stromaufwärts des Niederdruckverdichters, angeordnet ist, dessen Drehzahl in einem vierten Motorbetriebsbereich in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem Istwert und einem Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung, vorzugsweise in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen dem ersten Istwert und dem ersten Sollwert des Druckes in der Ansaugleitung geregelt wird. Der elektrisch angetriebene Verdichter ist bevorzugt durch eine zweite Bypassleitung umgehbar, wobei der Durchfluss in der zweiten Bypassleitung durch ein darin angeordnetes zweites Bypass-Ventil gesteuert werden kann. Dabei wird im vierten Motorbetriebsbereich das erste Bypass-Ventil zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine vollständig geschlossen. Die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine können hierbei vollständig geschlossen und/oder vorgesteuert geschlossen werden. Der vierte Motorbetriebsbereich ist einem Bereich mit niedriger Drehzahl und mittlerem bis hohem Drehmoment zugeordnet.

Im ersten, zweiten und dritten Betriebsbereich wird der elektrisch angetriebene Verdichter über eine ein zweites Bypass-Ventil aufweisende zweite Bypassleitung umgangen und der elektrisch angetriebene Verdichter deaktiviert. Im vierten Betriebsbereich dagegen wird das zweite Bypass-Ventil geschlossen und der elektrische Antrieb des Verdichters aktiviert, so dass der elektrisch angetriebene Verdichter vom gesamten Ansaugluftstrom durchströmt.

Die Erfindung wird im Folgenden an Hand der nicht einschränkenden Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 schematisch eine Brennkraftmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Fig. 2 ein Drehmoment/Drehzahl-Diagramm der Brennkraftmaschine.

Fig. 1 zeigt eine Mehrzylinder-Brennkraftmaschine 10 mit einem Einlasssystem 11, einem Auslasssystem 12 einem Hochdruckabgasturbolader 13 und einem Niederdruckabgasturbolader 14. Der Hochdruckabgasturbolader 13 weist einen Hochdruckverdichter 13a und eine Hochdruckabgasturbine 13b mit variabler Turbinengeometrie auf. Der Niederdruckabgasturbolader 14 weist einen Niederdruckverdichter 14a und eine Niederdruckabgasturbine 14b mit variabler Turbinengeometrie auf.

Der Niederdruckverdichter 14a und der Hochdruckverdichter 13a sind in der Ansaugleitung 11a des Einlasssystems 11 in Reihe geschaltet, wobei – bezogen auf die Strömung der Ansaugluft - der Hochdruckverdichter 13a stromabwärts des Niederdruckverdichters 14a angeordnet ist. Zwischen dem Niederdruckverdichter 14a und dem Hochdruckverdichter 13a ist ein erster Ladeluftkühler 15 angeordnet. Ein weiterer zweiter Ladeluftkühler 16 befindet sich in der Ansaugleitung zwischen dem Hochdruckverdichter 13a und dem Einlasssammler 11b des Einlasssystems 11.

Im Abgasstrang 12a des Auslasssystems 12 sind die Hochdruckabgasturbine 13b und die Niederdruckabgasturbine 14b in Reihe geschaltet, wobei – bezogen auf die Strömung der Abgasströmung - die Niederdruckabgasturbine 14b stromabwärts der Hochdruckabgasturbine 13b angeordnet ist. Die Hochdruckabgasturbine 13b ist über eine erste Umgehungsleitung 17 teilweise umgehbar, wobei der Durchfluss der Umgehungsleitung durch ein erstes Bypass-Ventil 18 („Wastegate-Ventil“) gesteuert werden kann. Das erste Bypass-Ventil 18 ist ausgebildet um in seiner Öffnungsstellung einen Teil des Abgases, beispielsweise etwa 20%, an der Hochdruckabgasturbine 13b vorbeizuleiten.

Zusätzlich zum Hochdruckverdichter 13a und dem Niederdruckverdichter 14a kann optional in der Ansaugleitung 11a des Einlasssystems 11 ein über einen Elektromotor 19 elektrisch angetriebener weiterer Verdichter 20 angeordnet sein, wobei bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführung der elektrisch angetriebene Verdichter 20 in Reihe zum Hochdruckverdichter 13a und Niederdruckverdichter 14a, insbesondere stromaufwärts des Niederdruckverdichters 14a – bezogen auf die Strömung in der Ansaugleitung 11a - stromaufwärts der Niederdruckabgasturbine 14a angeordnet ist. Der elektrisch angetriebene Verdichter 20 ist durch eine zweite Umgehungsleitung 21 umgehbar, wobei der Durchfluss durch die zweite Umgehungsleitung 21 über ein zweites Bypass-Ventil 22 gesteuert wird.

Zur Messung eines ersten Istwertes p_{L1i} des Druckes in der Ansaugleitung stromabwärts des Hochdruckverdichters 13a ist ein erster Drucksensor 23, beispielsweise im Bereich des Einlasssammlers 11b, vorgesehen. Optional kann ein zweiter Drucksensor 24 in der Ansaugleitung 11a zum Ermitteln eines zweiten Istwertes p_{L2i} des Druckes in der Ansaugleitung zwischen dem Niederdruckverdichter 14a und dem Hochdruckverdichter 13a vorgesehen sein.

Fig. 2 zeigt ein Motorkennfeld der Brennkraftmaschine 10, wobei die Drehzahl n über dem Drehmoment M aufgetragen ist. Im Kennfeld sind ein erster Motorbetriebsbereich 1, ein zweiter Motorbetriebsbereich 2, ein dritter Motorbetriebsbereich 3 und ein vierter Motorbetriebsbereich 4 eingezeichnet.

Der erste Motorbetriebsbereich 1 deckt einen Großteil des unteren und mittleren Drehzahlbereiches zwischen minimalem und maximalem Drehmoment M ab. Bei einem Start wird die Brennkraftmaschine 10 in dem dem ersten Motorbetriebsbereich 1 zugeordneten Betriebsmodus 1 betrieben. Der zweite Motorbetriebsbereich 2 deckt einen oberen Drehzahlbereich zwischen minimalem und maximalem Drehmoment M ab. Der dritte Motorbetriebsbereich 3 beinhaltet den Betrieb der Brennkraftmaschine 10 bei hoher bis maximaler Drehzahl n . Der vierte Motorbetriebsbereich 4 ist im in Fig.2 dargestellten Kennfeld einem Bereich mit niedriger Drehzahl n und mittlerem bis hohem Drehmoment M zugeordnet.

Jedem Motorbetriebsbereich 1, 2, 3, 4 ist eine erfindungsgemäße Betriebsstrategie zugeordnet.

Bei jeder Betriebsstrategie wird bzw. werden ein oder zwei der Stellglieder variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 14a, variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b oder erstes Bypass-Ventil 18 in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert p_{L1i} , p_{L2i} und zumindest einem Sollwert p_{L1s} , p_{L2s} des Druckes p_{L1} , p_{L2} in der Ansaugleitung 11a in einem geschlossenen Regelkreis – beispielsweise mittels eines PID-Reglers - geregelt. Die jeweils anderen Stellglieder dagegen werden nur vorgesteuert, also beispielsweise auf der Basis eines Kennfeldes in Abhängigkeit von zumindest einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 10 – ohne Rückführung einer Regelgröße - eingestellt.

Die Sollwerte p_{L1s} , p_{L2i} für den Druck in der Ansaugleitung 11a stromabwärts bzw. stromaufwärts des Hochdruckverdichters 13a können ebenfalls durch Kennfelder in Abhängigkeit von Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 10 und/oder Lastanforderungen vorgegeben werden.

Steht nur ein Istwert p_{L1i} für den dem Ladedruck entsprechenden Druck p_{L1} in der Ansaugleitung 11a zur Verfügung, so wird im ersten Motorbetriebsbereich 1 der Brennkraftmaschine 10 die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b in Abhängigkeit der Abweichung zwischen diesem Istwert p_{L1i} und einem zugeordneten Sollwert p_{L1s} des Druckes p_{L1} in der Ansaugleitung 11a geregelt.

Alternativ dazu kann im ersten Motorbetriebsbereich 1 die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b kombiniert auf der Basis der Abweichung zwischen diesem Istwert p_{L1i} und dem zugeordneten Sollwert p_{L1s} des Druckes p_{L1} in der Ansaugleitung 11a geregelt werden. Die Verhältniszahl kann beispielsweise aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine 14b und der Hochdruckabgasturbine 13b abgeleitet werden. Mit anderen Worten können die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b gleichzeitig auf der Basis der Abweichung zwischen diesem Istwert p_{L1i} und dem zugeordneten Sollwert p_{L1s} des Druckes p_{L1} in der Ansaugleitung 11a geregelt werden, wobei das Ausmaß der Verstellung bei der Hochdruckabgasturbine 13b und der Niederdruckabgasturbine 14b unterschiedlich sein kann. Dieses Ausmaß der Verstellung wird durch die Verhältniszahl festgelegt. Die Verhältniszahl kann betriebspunktabhängig in einem Kennfeld abgelegt sein.

Stehen Istwerte p_{L1i} , p_{L2i} von an unterschiedlichen Orten gemessenen Drücken p_{L1} , p_{L2} in der Ansaugleitung 11a – beispielsweise sowohl stromaufwärts, als auch stromabwärts des Hochdruckverdichters 13a - zur Verfügung, so kann in einem ersten Motorbetriebsbereich 1 die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem ersten Istwert p_{L1i} und einem ersten Sollwert p_{L1s} eines ersten Druckes p_{L1} in der

Ansaugleitung 11a geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem zweiten Istwert p_{L2i} und einem zweiten Sollwert p_{L2s} eines zweiten Druckes p_{L2} in der Ansaugleitung 11a geregelt werden.

Im ersten Motorbetriebsbereich 1 ist das erste Bypass-Ventil 18 zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine 13b vollständig geschlossen. Somit werden die Hochdruckabgasturbine 13b und die Niederdruckabgasturbine 14b nacheinander vom gesamten Abgasstrom durchströmt.

Im zweiten Motorbetriebsbereich 2 wird das erste Bypass-Ventil 18 in Abhängigkeit der Abweichung zwischen dem ersten Istwert p_{L1i} und dem ersten Sollwert p_{L1s} des Druckes p_{L1} in der Ansaugleitung 11a, geregelt. Die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b werden vorgesteuert. Im Falle der Verfügbarkeit eines zweiten Istwertes p_{L2i} für einen zweiten Druck in der Ansaugleitung 11a kann die Vorsteuerung der variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und/oder der Niederdruckabgasturbine 14b in Abhängigkeit der Abweichung zwischen dem zweiten Istwert p_{L2i} und einem zweiten Sollwert p_{L2s} des zweiten Druckes p_{L2} in der Ansaugleitung 11a erfolgen.

Im dritten Motorbetriebsbereich 3 wird die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert p_{L1i} und einem Sollwert p_{L1s} des Druckes p_{L1} in der Ansaugleitung 11a geregelt. Dabei ist es auch möglich, die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b zu regeln. Die Verhältniszahl kann wieder aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine 14b und der Hochdruckabgasturbine 13b abgeleitet werden. Die Verhältniszahlen zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b können in einem Kennfeld in

Abhängigkeit zumindest eines Motorbetriebsparameters abgespeichert und daraus abgerufen werden.

Stehen Istwerte p_{L1i} , p_{L2i} von zwei unterschiedlichen Orten der Ansaugleitung 11a ermittelten Drücken p_{L1} , p_{L2} zur Verfügung, so kann eine besonders effiziente und genaue Regelung der Abgasturbolader 13, 14 erreicht werden, wenn im dritten Motorbetriebsbereich 3 die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem ersten Istwert p_{L1i} und einem ersten Sollwert p_{L1s} des ersten Druckes p_{L1} in der Ansaugleitung 11a geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem zweiten Istwert p_{L2i} und einem zweiten Sollwert p_{L2s} des zweiten Druckes p_{L2} in der Ansaugleitung 11a geregelt wird.

Im dritten Motorbetriebsbereich 3 wird das erste Bypass-Ventil 18 vollständig geöffnet und/oder vorgesteuert geöffnet, so dass zumindest ein Teil des Abgasstroms durch die erste Umgehungsleitung 17 an der Hochdruckabgasturbine 13b vorbeigeleitet wird. Beispielsweise können etwa 20% der gesamten Abgasmenge bei vollständiger Öffnung des ersten Bypass-Ventiles 18 durch die erste Umgehungsleitung 17 und an der Hochdruckabgasturbine 13b vorbeigeleitet werden.

Weist das Einlasssystem 11 einen elektrisch angetriebenen Verdichter 20 stromaufwärts des Niederdruckverdichters 14a auf, so kann die Drehzahl dieses Verdichters 20 über den Elektromotor 19 im vierten Motorbetriebsbereich 4 in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem beispielsweise ersten Istwert p_{L1i} und einem korrespondierenden Sollwert p_{L1s} des Druckes in der Ansaugleitung geregelt werden. Dabei wird das erste Bypass-Ventil 18 zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine 13b vollständig geschlossen. Die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine 13b und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine 14b können hierbei vollständig geschlossen und/oder vorgesteuert geschlossen werden. Diese Betriebsstrategie kann auch in einem instationären Betriebsbereich zur Verwirklichung einer „Over-Boost“-Funktion eingesetzt werden.

Im ersten, zweiten und dritten Betriebsbereich 1, 2, 3 wird der elektrisch angetriebene Verdichter 20 über die zweite Bypassleitung und das geöffnete zweite

Bypass-Ventil 22 umgangen und der elektrisch angetriebene Verdichter 20 deaktiviert. Im vierten Betriebsbereich 4 dagegen wird das zweite Bypass-Ventil 22 geschlossen und der Elektromotor 19 zum Antrieb des Verdichters 20 aktiviert, so dass der elektrisch angetriebene Verdichter 20 vom gesamten Ansaugluftstrom durchströmt wird.

Die Übergänge zwischen den Betriebsbereichen 1, 2, 3, 4 werden in Abhängigkeit der Nenndrehzahl n_N wie folgt definiert:

- Übergang von 1 → 2

Bei Null-Last liegt der Übergangsdrehzahlbereich A zwischen dem ersten 1 und dem zweiten Betriebsbereich 2 in folgendem Bereich: $0.50 * n_N < 0.65 * n_N$.

Bei Vollast liegt der Übergangsdrehzahlbereich B zwischen dem ersten 1 und dem zweiten Betriebsbereich 2 in folgendem Bereich: $0.45 * n_N < 0.60 * n_N$.

- Übergang 2 → 3

Bei Null-Last liegt der Übergangsdrehzahlbereich C zwischen dem zweiten 2 und dem dritten Betriebsbereich 3 in folgendem Bereich: $0.70 * n_N < 0.80 * n_N$.

Bei Vollast liegt der Übergangsdrehzahlbereich d zwischen dem zweiten 2 und dem dritten Betriebsbereich 3 in folgendem Bereich: $0.65 * n_N < 0.75 * n_N$.

- Übergang von 1 → 4

Der Übergang 1 → 4 beziehungsweise retour ergibt sich aus der natürlichen Ladedruckcharakteristik des Systems ohne elektrisch angetriebenen Verdichter 20.

Die Auslegung erfolgt aber so, dass bei $0.4 * n_N$ das volle Drehmoment M ohne Unterstützung des elektrisch angetriebenen Verdichter 20 erreicht werden kann.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10) mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine (13b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter (13a) aufweisenden Hochdruckabgasturbolader (13) und zumindest einem eine Niederdruckabgasturbine (14b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter (14a) aufweisenden Niederdruckabgasturbolader (14), wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander von Abgas im Auslasssystem (12) durchströmt werden und der Niederdruckverdichter (14a) und der Hochdruckverdichter (13a) nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem (11) durchströmt werden, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) über eine ein erstes Bypass-Ventil (18) aufweisende erste Bypassleitung (17) umgangen wird, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b), variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) oder erstes Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die anderen Stellglieder vorgesteuert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Motorbetriebsbereich (1) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit der Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Motorbetriebsbereich (1) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und der variablen Turbinengeometrie der

Niederdruckabgasturbine (14b) geregelt wird, wobei vorzugsweise die Verhältniszahl aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine (14b) und der Hochdruckabgasturbine (13b) abgeleitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Motorbetriebsbereich (1) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem ersten Istwert (p_{L1i}) und einem ersten Sollwert (p_{L1s}) eines ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem zweiten Istwert (p_{L2i}) und einem zweiten Sollwert (p_{L2s}) des Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird, wobei vorzugsweise der erste Istwert (p_{L1i}) des ersten Druckes (p_{L1}) stromabwärts des Hochdruckverdichters (13a) und der zweite Istwert (p_{L2i}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) zwischen dem Niederdruckverdichter (14a) und dem Hochdruckverdichter (13a) gemessen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Motorbetriebsbereich (1) das erste Bypass-Ventil (18) zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine (13b) vollständig geschlossen wird, so dass die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander vom gesamten Abgasstrom durchströmt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass in einem zweiten Motorbetriebsbereich (2) das erste Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit der Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und dem entsprechenden Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a), vorzugsweise der Abweichung zwischen dem ersten Istwert (p_{L1i}) und dem ersten Sollwert (p_{L1s}) des ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a), geregelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Motorbetriebsbereich (2) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) - vorzugsweise über den zweiten Istwert (p_{L2i}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) - vorgesteuert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass in einem dritten Motorbetriebsbereich (3) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und einem entsprechenden Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im dritten Motorbetriebsbereich (3) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) geregelt wird, wobei vorzugsweise die Verhältniszahl aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine (14b) und der Hochdruckabgasturbine (13b) abgeleitet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im dritten Motorbetriebsbereich (3) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem ersten Istwert (p_{L1i}) und einem ersten Sollwert (p_{L1s}) des ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem zweiten Istwert (p_{L2i}) und einem zweiten Sollwert (p_{L2s}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird, wobei vorzugsweise der erste Istwert (p_{L1i}) stromabwärts des Hochdruckverdichters (13a) und der zweite Istwert (p_{L2i}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) zwischen dem Niederdruckverdichter (14a) und dem Hochdruckverdichter (13a) gemessen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass im dritten Motorbetriebsbereich (3) das erste Bypass-Ventil (18) vollständig geöffnet und/oder vorgesteuert geöffnet wird, so dass zumindest ein Teil des Abgasstrom durch die erste Umgehungsleitung (17) an der Hochdruckabgasturbine (13b) vorbeigeleitet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Verhältniszahlen zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in einem Kennfeld in Abhängigkeit zumindest eines Motorbetriebsparameters abgespeichert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in einem vierten Motorbetriebsbereich (4) die Drehzahl eines im Einlasssystem angeordneten elektrisch angetriebenen Verdichters (20) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und einem entsprechenden Sollwert (p_{L1i} , p_{L2i}), vorzugsweise in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen dem ersten Istwert (p_{L1i}) und dem ersten Sollwert (p_{L1s}) des ersten Druckes (p_{L1i}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im vierten Motorbetriebsbereich (4) das erste Bypass-Ventil (18) zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine (13b) vollständig geschlossen wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass im vierten Motorbetriebsbereich (4) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) vollständig geschlossen und/oder vorgesteuert geschlossen werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten, zweiten und dritten Betriebsbereich (1, 2, 3) der elektrisch angetriebene Verdichter (20) über eine ein zweites Bypass-Ventil (22) aufweisende zweite Bypassleitung (21) umgangen wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass im vierten Betriebsbereich (4) das zweite Bypass-Ventil (22) geschlossen wird, so dass der elektrisch angetriebene Verdichter (20) vom gesamten Ansaugluftstrom durchströmt wird.
18. Brennkraftmaschine (10) mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine (13b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter (13a) aufweisenden Hochdruckabgasturbolader (13) und zumindest einem eine

Niederdruckabgasturbine (14b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter (14a) aufweisenden Niederdruckabgasturbolader (14), wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander von Abgas im Auslasssystem (12) durchströmbar sind und der Niederdruckverdichter (14a) und der Hochdruckverdichter (13a) nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem (11) durchströmbar sind, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) über eine ein erstes Bypass-Ventil (18) aufweisende erste Bypassleitung (17) umgehbar ist, zur Durchführung des Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest einem Motorbetriebsbereich ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b), variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) oder erstes Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1i} , p_{L2i}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) regelbar und die anderen Stellglieder vorsteuerbar sind.

19. Brennkraftmaschine (10) nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass im Einlasssystem (11) ein elektrisch angetriebener Verdichter (20), vorzugsweise stromaufwärts des Niederdruckverdichters (14a), angeordnet ist.
20. Brennkraftmaschine (10) nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrisch angetriebene Verdichter (20) durch eine zweite Umgehungsleitung (21) umgehbar ist, wobei vorzugsweise in der zweiten Umgehungsleitung (21) ein zweites Bypass-Ventil (22) angeordnet ist.

2015 05 05

Fu

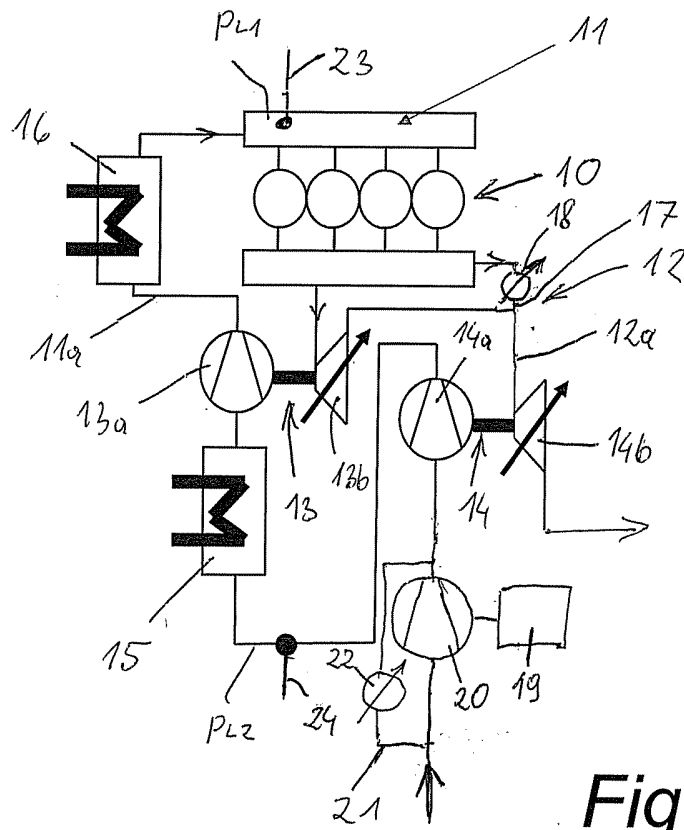


Fig. 1

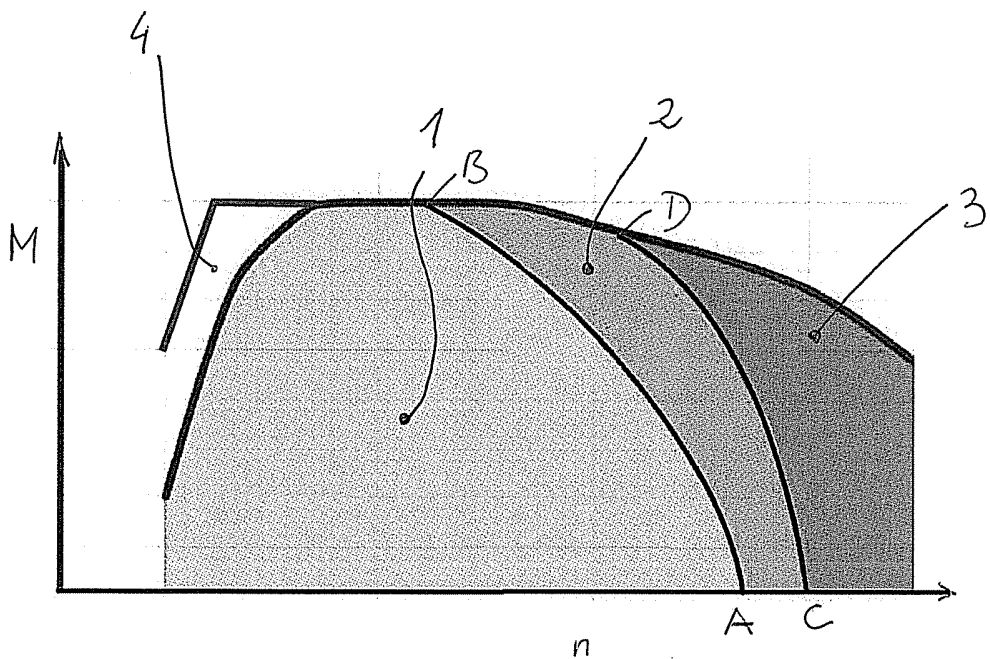


Fig. 2

(n e u e) P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10) mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine (13b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter (13a) aufweisenden Hochdruckabgasturbolader (13) und zumindest einem eine Niederdruckabgasturbine (14b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter (14a) aufweisenden Niederdruckabgasturbolader (14), wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander von Abgas im Auslasssystem (12) durchströmt werden und der Niederdruckverdichter (14a) und der Hochdruckverdichter (13a) nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem (11) durchströmt werden, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) über eine ein erstes Bypass-Ventil (18) aufweisende erste Bypassleitung (17) umgangen wird, wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b), variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) oder erstes Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1i} , p_{L2i}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die anderen Stellglieder vorgesteuert werden, dadurch gekennzeichnet, dass in einem weiteren Motorbetriebsbereich (4) die Drehzahl eines im Einlasssystem angeordneten elektrisch angetriebenen Verdichters (20) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und einem entsprechenden Sollwert (p_{L1i} , p_{L2i}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Motorbetriebsbereich (1) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit der Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Motorbetriebsbereich (1) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) geregelt wird, wobei vorzugsweise die Verhältniszahl aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine (14b) und der Hochdruckabgasturbine (13b) abgeleitet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Motorbetriebsbereich (1) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem ersten Istwert (p_{L1i}) und einem ersten Sollwert (p_{L1s}) eines ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einem zweiten Istwert (p_{L2i}) und einem zweiten Sollwert (p_{L2s}) des Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird, wobei vorzugsweise der erste Istwert (p_{L1i}) des ersten Druckes (p_{L1}) stromabwärts des Hochdruckverdichters (13a) und der zweite Istwert (p_{L2i}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) zwischen dem Niederdruckverdichter (14a) und dem Hochdruckverdichter (13a) gemessen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Motorbetriebsbereich (1) das erste Bypass-Ventil (18) zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine (13b) vollständig geschlossen wird, so dass die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander vom gesamten Abgasstrom durchströmt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass in einem zweiten Motorbetriebsbereich (2) das erste Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit der Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und dem entsprechenden Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a), vorzugsweise der Abweichung zwischen dem ersten Istwert (p_{L1i}) und dem ersten Sollwert (p_{L1s}) des ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a), geregelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Motorbetriebsbereich (2) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) - vorzugsweise über den zweiten Istwert (p_{L2i}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) - vorgesteuert werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass in einem dritten Motorbetriebsbereich (3) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und einem entsprechenden Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im dritten Motorbetriebsbereich (3) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) auf der Basis zumindest einer Verhältniszahl zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) geregelt wird, wobei vorzugsweise die Verhältniszahl aus der Ansteuerung der Niederdruckabgasturbine (14b) und der Hochdruckabgasturbine (13b) abgeleitet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im dritten Motorbetriebsbereich (3) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem ersten Istwert (p_{L1i}) und einem ersten Sollwert (p_{L1s}) des ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt und die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem zweiten Istwert (p_{L2i}) und einem zweiten Sollwert (p_{L2s}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird, wobei vorzugsweise der erste Istwert (p_{L1i}) stromabwärts des Hochdruckverdichters (13a) und der zweite Istwert (p_{L2i}) des zweiten Druckes (p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) zwischen dem Niederdruckverdichter (14a) und dem Hochdruckverdichter (13a) gemessen wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass im dritten Motorbetriebsbereich (3) das erste Bypass-Ventil (18) vollständig geöffnet und/oder vorgesteuert geöffnet wird, so dass zumindest ein Teil des Abgasstrom durch die erste Umgehungsleitung (17) an der Hochdruckabgasturbine (13b) vorbeigeleitet wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Verhältniszahlen zwischen den Stellgrößen der variablen Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und der variablen Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) in einem Kennfeld in Abhängigkeit zumindest eines Motorbetriebsparameters abgespeichert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in einem vierten Motorbetriebsbereich (4) die Drehzahl eines im Einlasssystem angeordneten elektrisch angetriebenen Verdichters (20) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen dem ersten Istwert (p_{L1i}) und dem ersten Sollwert (p_{L1s}) des ersten Druckes (p_{L1}) in der Ansaugleitung (11a) geregelt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im vierten Motorbetriebsbereich (4) das erste Bypass-Ventil (18) zur Umgehung der Hochdruckabgasturbine (13b) vollständig geschlossen wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass im vierten Motorbetriebsbereich (4) die variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b) und/oder die variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) vollständig geschlossen und/oder vorgesteuert geschlossen werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten, zweiten und dritten Betriebsbereich (1, 2, 3) der elektrisch angetriebene Verdichter (20) über eine ein zweites Bypass-Ventil (22) aufweisende zweite Bypassleitung (21) umgangen wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass im vierten Betriebsbereich (4) das zweite Bypass-Ventil (22) geschlossen

wird, so dass der elektrisch angetriebene Verdichter (20) vom gesamten Ansaugluftstrom durchströmt wird.

18. Brennkraftmaschine (10) mit zumindest einem eine Hochdruckabgasturbine (13b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Hochdruckverdichter (13a) aufweisenden Hochdruckabgasturbolader (13) und zumindest einem eine Niederdruckabgasturbine (14b) mit variabler Turbinengeometrie und einen Niederdruckverdichter (14a) aufweisenden Niederdruckabgasturbolader (14), wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) und die Niederdruckabgasturbine (14b) nacheinander von Abgas im Auslasssystem (12) durchströmbar sind und der Niederdruckverdichter (14a) und der Hochdruckverdichter (13a) nacheinander von Ansaugluft im Einlasssystem (11) durchströmbar sind, und wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich (1, 2, 3, 4) die Hochdruckabgasturbine (13b) über eine ein erstes Bypass-Ventil (18) aufweisende erste Bypassleitung (17) umgehbar ist, wobei in zumindest einem Motorbetriebsbereich ein oder zwei Stellglieder aus der Gruppe variable Turbinengeometrie der Hochdruckabgasturbine (13b), variable Turbinengeometrie der Niederdruckabgasturbine (14b) oder erstes Bypass-Ventil (18) in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen zumindest einem Istwert (p_{L1i} , p_{L2i}) und zumindest einem Sollwert (p_{L1s} , p_{L2s}) des Druckes (p_{L1} , p_{L2}) in der Ansaugleitung (11a) regelbar und die anderen Stellglieder vorsteuerbar sind, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass im Einlasssystem (11) ein elektrisch angetriebener Verdichter (20) angeordnet ist.
19. Brennkraftmaschine (10) nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrisch angetriebene Verdichter (20) stromaufwärts des Niederdruckverdichters (14a) im Einlasssystem (11) angeordnet ist.
20. Brennkraftmaschine (10) nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrisch angetriebene Verdichter (20) durch eine zweite Umgehungsleitung (21) umgehbar ist, wobei vorzugsweise in der zweiten Umgehungsleitung (21) ein zweites Bypass-Ventil (22) angeordnet ist.

2015 12 22

Fu