



(10) **DE 10 2013 019 340 A1** 2015.05.21

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 019 340.0**

(22) Anmeldetag: **20.11.2013**

(43) Offenlegungstag: **21.05.2015**

(51) Int Cl.: **F02B 21/00 (2006.01)**

**F02B 29/06 (2006.01)**

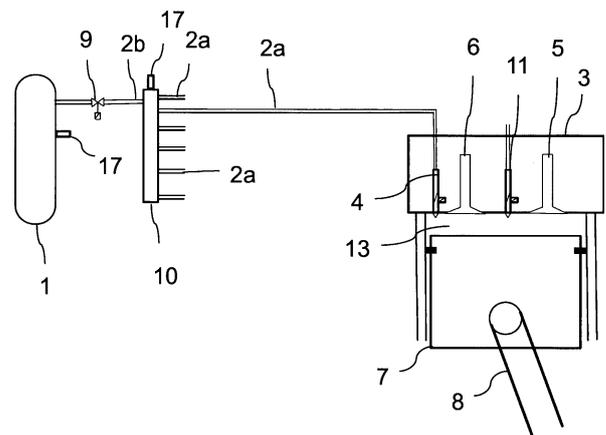
(71) Anmelder:  
**MAN Truck & Bus AG, 80995 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Prümm, Werner, 90482 Nürnberg, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Hubkolben-Brennkraftmaschine und Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Hubkolben-Brennkraftmaschine und ein Betriebsverfahren für eine Hubkolben-Brennkraftmaschine. Die Hubkolben-Brennkraftmaschine umfasst wenigstens ein am Zylinderkopf (3) angeordnetes Lufteinlassventil (5) und ein am Zylinderkopf angeordnetes Luftauslassventil (6), wobei am Zylinderkopf (3) ein elektromagnetisches Ventil zur Lufteinbringung in den Brennraum (13) und/oder Luftausbringung aus dem Brennraum (13) angeordnet ist. Das Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine ist gekennzeichnet durch die Schritte, dass Druckluft aus dem Druckluftspeicher (1) über das elektromagnetische Ventil (4) in den Brennraum (13) eingebracht wird, zusätzlich zur Ladeluft, die über das wenigstens eine Einlassventil (5) in den Brennraum (13) eingebracht wird; und/oder dass komprimierte Luft über das elektromagnetische Ventil aus dem Brennraum (13) entnommen und dem Druckluftspeicher (1) zugeführt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Hubkolben-Brennkraftmaschine und ein Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine.

**[0002]** Dieselmotoren für Kraftfahrzeuge, insbesondere für Nutzfahrzeuge, sind dem Stand der Technik entsprechend üblicherweise mit einer Abgasturboaufladung (ATL) ausgestattet. Der damit erzielbare höhere Luftüberschuss bewirkt eine geringere Stickstoffoxid- und Partikelemission. Problematische Betriebsbereiche sind jedoch Beschleunigungsvorgänge aus dem Leerlauf oder der niederen Teillast, da hier zum Zeitpunkt der Beschleunigung noch kein ausreichender Ladedruck zur Verfügung steht, um einen permanent hohen Luftüberschuss aufrechtzuerhalten. Eine erhöhte Stickstoffoxid- und Partikelemission (Rußausstoß) bei Beschleunigungsvorgängen sind die Folge.

**[0003]** Aus der Praxis ist zur Minimierung dieser Nachteile bekannt, eine zusätzliche Lufteinblasung vorzusehen, bei der während der Beschleunigung Luft aus dem Bremsluftsystem des Fahrzeugs in das Ladeluftverteilerrohr geleitet wird. Das Rückschlagen der zugeführten Luft zur Ansauganlage wird durch Klappen verhindert. Derartige Klappen verhindern jedoch, dass von der Abgasturboaufladung erzeugte Ladeluft zum Motor gelangen kann. Nachteilig an diesem Ansatz ist daher, dass die gesamte benötigte Luft bis zum Aufbau eines ausreichenden Ladedrucks aus dem Bremsluftsystem entnommen werden muss.

**[0004]** In der Patentschrift DE 101 29 976 B4 wird ein Verfahren beschrieben, das zum Zusatzeinblasen von Luft die zum Anlassen benötigten, als Tellerventile ausgeführten Anlassventile eines Großmotors verwendet. Diese werden pneumatisch oder hydraulisch angesteuert.

**[0005]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Hubkolben-Brennkraftmaschine bereitzustellen, mit der Nachteile herkömmlicher Hubkolben-Brennkraftmaschinen vermieden werden können. Die Aufgabe der Erfindung ist es insbesondere, eine Hubkolben-Brennkraftmaschine bereitzustellen, die sich für den Einsatz mit einem Abgasturbolader zur Minimierung der Schadstoffemissionen eignet und/oder die einen effizienteren Betrieb der Hubkolben-Brennkraftmaschine ermöglicht. Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine bereitzustellen, das Nachteile herkömmlicher Betriebsverfahren vermeidet.

**[0006]** Diese Aufgaben werden durch eine Hubkolben-Brennkraftmaschine und ein Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine mit den

Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Anwendungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und werden in der folgenden Beschreibung unter teilweiser Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert.

**[0007]** Gemäß allgemeinen Gesichtspunkten der Erfindung werden die genannten Aufgaben durch eine Hubkolben-Brennkraftmaschine gelöst, bei der zusätzlich zu den am Lufteinlass bzw. Luftauslass des Zylinderkopfs angeordneten Lufteinlass- bzw. Luftauslassventilen, über die der Ladungswechsel im Ausstoßtakt und Ansaugtakt erfolgt, ein elektromagnetisches Ventil zur Lufteinbringung in den Brennraum und/oder Luftausbringung aus dem Brennraum angeordnet ist.

**[0008]** Das elektromagnetische Ventil, nachfolgend auch als elektromagnetisch betätigbarer Injektor bezeichnet, ist beispielsweise ein elektrisch gesteuertes Magnetventil. Das elektromagnetische Ventil ist vorzugsweise am Ende einer Druckluftleitung angeordnet, die den Zylinder, an dem das elektromagnetische Ventil angeordnet ist, mit einem Druckluftspeicher eines Druckluftsystems verbindet. Das elektromagnetische Ventil koppelt somit in einer geöffneten Stellung den Brennraum des Zylinders und einen Druckluftspeicher über die Druckluftleitung. Somit erfolgt eine Zusatzlufteinbringung in den Brennraum mittels des elektromagnetischen Ventils nicht über die herkömmliche Ladeluftzufuhrleitung, sondern über eine separate Druckluftleitung. Die Einlassventile und Auslassventile am Zylinderkopf können als Tellerventile ausgebildet sein. Der Druckluftspeicher kann beispielsweise eingerichtet sein, die Druckluftbremse eines Fahrzeugs zu speisen.

**[0009]** Vorzugsweise ist an jedem Zylinderkopf einer Zylinderbank ein derartiges elektromagnetisches Ventil angeordnet. Das elektromagnetische Ventil ist zur Lufteinbringung in den Brennraum und/oder zur Luftausbringung aus dem Brennraum ansteuerbar. Durch das präzise und schnell schaltbare elektromagnetische Ventil kann somit die Luftmenge im Brennraum auch bei geschlossenen Ein- und Auslassventilen gesteuert werden, beispielsweise im Verdichtungstakt.

**[0010]** Zur Zusatzlufteinblasung ist das elektromagnetische Ventil vorzugsweise von einer Steuereinheit angesteuert, derart, dass in einem Bereich des Schließens der Einlassventile das elektromagnetische Ventil in eine Öffnungsstellung gebracht wird, um zusätzlich Luft in den Brennraum über das elektromagnetische Ventil einzubringen. Das elektromagnetische Ventil wird wieder in eine Schließstellung gebracht, wenn oder bevor der durch die Kompression im Verdichtungstakt erhöhte Druck im Zylinder den Luftdruck im Druckluftsystem übersteigt. Der vor-

genannte Bereich des Schließens der Einlassventile soll auch Zeitpunkte unmittelbar vor und unmittelbar nach dem Schließen der Einlassventile umfassen.

**[0011]** Da über das elektromagnetische Ventil Zusatzluft direkt in den Brennraum eingebracht werden kann, vorzugsweise nach Schließen der Einlassventile, entfällt die Notwendigkeit von Rückschlagklappen. Die Befüllung der Zylinder mit Luft, unter anderem mit Unterstützung des Abgasturboladers, kann in üblicher Weise erfolgen, so dass die Zusatzeinblasung über das elektromagnetische Ventil nur bei Bedarf zugeschaltet werden kann. Dadurch kann ein permanent hoher Luftüberschuss aufrecht erhalten werden, um die Stickstoffoxid- und Partikelemission zu reduzieren.

**[0012]** Vorzugsweise ist das elektromagnetische Ventil so ausgebildet, dass ein effektiver Querschnitt des elektromagnetischen Ventils, das heißt ein effektiver Querschnitt zur Lufteinblasung im Bereich von 5 bis 20 mm<sup>2</sup>, weiter vorzugsweise im Bereich von 10 bis 15 mm<sup>2</sup> liegt. Für Zylinderhubvolumen von 1,5 bis 2 l sind effektive Querschnitte von 10 bis 15 mm<sup>2</sup> besonders vorteilhaft. Der bevorzugte effektive Öffnungsquerschnitt des elektromagnetischen Ventils ist somit größer als bei herkömmlichen elektromagnetischen Ventilen und reduziert die erforderliche Zeitdauer zur Lufteinblasung und Luftentnahme. Dies ist vorteilhaft, da durch die hohen Verdichtungsverhältnisse bei Dieselmotoren Verdichtungsdrucke im Verdichtungstakt in der Größenordnung von 50 bar erreicht werden, so dass der durch die Kompression erhöhte Druck im Zylinder in kurzer Zeit den Druck im Druckluftsystem des Druckluftbehälters **1** übersteigt. Das zur Verfügung stehende Zeitfenster zur Lufteinblasung ist somit klein.

**[0013]** Das elektromagnetische Ventil ist mittels einer Steuereinheit auf- und steuerbar. Die Steuereinheit kann so eingerichtet sein, dass Steuerparameter des Ventils, insbesondere betreffend eine Entscheidung, ob eine Betätigung des elektromagnetischen Ventils im momentanen Betriebszustand erfolgt, betreffend einen Öffnungsbeginn des elektromagnetischen Ventils und/oder ein Öffnungsende des elektromagnetischen Ventils in Abhängigkeit von einer Kolbenstellung, einer Lastanforderung, einer Motordrehzahl und/oder eines Ladedrucks im Zylinder bestimmt werden. Ferner besteht im Rahmen der Erfindung die Möglichkeit, dass die Steuereinheit eingerichtet ist, die Steuerparameter des elektromagnetischen Ventils in Abhängigkeit von einem Druck und/oder einer Temperatur in einem den Druckluftspeicher enthaltenden Druckluftsystem zu bestimmen.

**[0014]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird das Motorsteuergerät als Steuereinheit für das elektromagnetische Ventil verwendet. Bei einer vorteilhaften Variante dieser Ausgestaltungsform ist die

Hubkolben-Brennkraftmaschine mit Common-Rail-Einspritzung ausgeführt. Als Steuereinheit für das elektromagnetische Ventil kann dann vorteilhafterweise die Steuereinheit des Common-Rail-Einspritzsystems verwendet werden, so dass beispielsweise bei einem Dieselmotor das gleiche Motorsteuergerät zur Steuerung der Dieselinjektoren **11** und zur Steuerung der entsprechenden elektromagnetisch betätigbaren Luftinjektoren **4** verwendet wird.

**[0015]** Die Hubkolben-Brennkraftmaschine ist vorzugsweise eine selbstzündende Brennkraftmaschine (Dieselmotor). Die Hubkolben-Brennkraftmaschine mit dem elektromagnetischen Ventil kann ferner als Ottomotor (Benzinmotor) ausgebildet sein, was nachfolgend noch detaillierter erläutert wird.

**[0016]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Kraftfahrzeug, insbesondere ein Nutzfahrzeug mit einer Hubkolben-Brennkraftmaschine gemäß einer der vorstehend beschriebenen Aspekte.

**[0017]** Besonders vorteilhaft ist die Anwendung der Erfindung bei Nutzfahrzeugen. Hierbei kann das elektromagnetische Ventil den Brennraum mit dem Druckluftsystem der Bremsen pneumatisch koppeln, wie vorstehend bereits erwähnt.

**[0018]** Gemäß einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel umfasst das Nutzfahrzeug ein erstes Druckluftsystem mit einem ersten Druckluftspeicher, z. B. zur Versorgung der Bremsen mit Druckluft, und ein zweites Druckluftsystem mit einem zweiten Druckluftspeicher, wobei der zweite Druckluftspeicher im Betrieb des Fahrzeugs mit einem höheren Druck als der erste Druckluftspeicher betrieben wird. Der zweite Druckluftspeicher ist mit dem Brennraum über das elektromagnetische Ventil pneumatisch koppelbar und ferner ausgebildet, den ersten Druckspeicher mit Druckluft zu befüllen.

**[0019]** In dieser Ausführungsvariante werden somit die hohen Verdichtungsverhältnisse im Verdichtungstakt ausgenutzt, um den zweiten Druckluftspeicher über eine Entnahme von komprimierter Luft aus dem Brennraum durch Öffnen des elektromagnetischen Ventils zu befüllen. Dies hat den Vorteil, dass das Druckluftsystem für die Bremsen kleiner ausgeführt werden kann und bei gleichem Volumen insgesamt eine größere Masse an Druckluft gespeichert werden kann. Ferner können die elektromagnetischen Ventile mit kleineren effektiveren Querschnitten ausgelegt werden.

**[0020]** Gemäß allgemeinen Gesichtspunkten der Erfindung wird ein Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine bereitgestellt, wobei Druckluft aus einem Druckluftspeicher über das elektromagnetische Ventil in den Brennraum eingebracht wird, zusätzlich zur Ladeluft, die über das wenig-

tens eine Einlassventil in den Brennraum eingebracht wird. Ferner kann komprimierte Luft über das elektromagnetische Ventil aus dem Brennraum entnommen und dem Druckluftspeicher wieder zugeführt werden. Wie vorstehend bereits erwähnt beginnt die Zusatzlufteinblasung von Druckluft über das elektromagnetische Ventil im Bereich des Schließens des wenigstens einen Einlassventils und endet spätestens, wenn ein Gasdruck im Zylinder einen Luftdruck im Druckluftspeicher erreicht.

**[0021]** Das Vorsehen eines elektromagnetisch betätigbaren Injektors, der im Vergleich zu Tellerventilen präziser ansteuerbar und schneller betreibbar ist, um in kurzen Zeitabständen Luft in den Brennraum einzuführen und/oder Luft aus dem Brennraum auszubringen, ermöglicht weitere zusätzliche vorteilhafte Betriebsverfahren der Hubkolben-Brennkraftmaschine durch entsprechende Auf- und Zusteuerung des Ventils.

**[0022]** Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren den Schritt, dass in Betriebszuständen, bei denen nicht das volle Motordrehmoment benötigt wird, bei wenigstens einem Zylinder mit abgeschalteter Kraftstoffeinspritzung das elektromagnetische Ventil im Bereich des oberen Totpunkts, vorzugsweise unmittelbar vor Erreichen des oberen Totpunkts, geöffnet und während der Abwärtsbewegung des Kolbens wieder geschlossen wird, um komprimierte Luft aus dem Brennraum zu entnehmen und dem Druckluftspeicher zuzuführen.

**[0023]** Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine kann somit in Betriebszuständen, bei denen nicht die volle Motorleistung beziehungsweise das volle Motordrehmoment benötigt wird, zur Druckluftherzeugung verwendet werden. Durch den höheren Druck im Zylinder, der im Verdichtungstakt entsteht, werden die Druckluftspeicher befüllt.

**[0024]** In diesem Betriebsmodus kann die Hubkolben-Brennkraftmaschinen auch zur Bremsenergie-rückgewinnung genutzt werden. Werden Schubphasen ohne Kraftstoffeinspritzung wie vorstehend beschrieben zur Druckluftherzeugung genutzt, ergibt sich eine Effizienzsteigerung des Systems, da Bremsenergie zur Druckluftherzeugung verwendet wird.

**[0025]** Gemäß einer vorteilhaften Variante der vorgenannten Ausführungsform ist der Betriebszustand, bei dem nicht die volle Motorleistung genutzt wird, ein Schubbetrieb ohne Kraftstoffeinspritzung. In dieser Variante steuert die Steuerungseinheit das elektromagnetische Ventil wie folgt. Zu Beginn des Verdichtungstakts des Schubbetriebs unmittelbar nach Schließen des Einlassventils wird das elektromagnetische Ventil in eine geöffnete Stellung gebracht. Zu diesem Zeitpunkt ist der Druck im Brennraum kleiner als im Druckluftspeicher. Es erfolgt eine Zusatzluft-

einblasung von Druckluft in den Brennraum. Spätestens wenn der Gasdruck im Zylinder bzw. im Brennraum den Druck im Druckluftspeicher erreicht, wird das elektromagnetische Ventil wieder geschlossen. Anschließend wird im Bereich des oberen Totpunkts, z. B. vor dem oberen Totpunkt, das elektromagnetische Ventil wieder geöffnet und während der Abwärtsbewegung des Kolbens anschließend wieder geschlossen, um komprimierte Luft aus dem Brennraum zu entnehmen und dem Druckluftspeicher rückzuführen.

**[0026]** Gemäß dieser Ausführungsvariante wird somit eine höhere Bremswirkung dadurch erzeugt, dass im Verdichtungstakt zusätzlich Luft in den Zylinder eingebracht wird, so dass durch die erhöhte Zylinderfüllung während der Aufwärtsbewegung des Kolbens eine erhöhte Verdichtungsarbeit verrichtet wird, die auf die Kurbelwelle bremsend wirkt. Um zu verhindern, dass die in der Luft gespeicherte Energie in der Abwärtsbewegung beschleunigend auf die Kurbelwelle wirkt, wird der Injektor im oberen Totpunkt des Kolbens wieder geöffnet und zur Befüllung des Druckluftsystems entnommen.

**[0027]** Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Nutzfahrzeug vorgeschlagen, bei dem die Druckluftherzeugung mittels der beschriebenen Entnahme von komprimierter Luft aus dem Brennraum und Zuführung in den Druckluftspeicher erfolgt, ohne dass ein separat verbauter Luftpresser zur Druckluftherzeugung vorgesehen ist. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist somit, dass bei geeigneter Auslegung des Systems auf den bei Nutzfahrzeugen üblicherweise verbauten Luftpresser zur Druckluftherzeugung verzichtet werden kann.

**[0028]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante wird das elektromagnetische Ventil so angesteuert, dass die Luftmenge, die über das Einlassventil in den Brennraum eingebracht wurde, über eine zumindest teilweise Entnahme durch das elektromagnetische Ventil vor der Verbrennung reduziert wird, um die Abgastemperatur gezielt zu erhöhen. Diese über das elektromagnetische Ventil gesteuerte Verfettung ermöglicht eine gezielte Erhöhung der Abgastemperaturen, um beispielsweise eine frühere Aktivität der Abgasnachbehandlungssysteme nach einem Motorstart zu ermöglichen.

**[0029]** Diese Betriebsart wird somit vorzugsweise nach einem Kaltstart eingesetzt, bis der Motor die normale Betriebstemperatur erreicht. Ferner kann im Leerlauf und Schwachlastbereich mit dieser Ausführungsvariante die Wirksamkeit des Abgasnachbehandlungssystems gesteigert werden. Im Gegensatz zur Reduzierung der Luftmenge durch Drosselung der Ansaugluft muss dabei keine Wirkungsgradverschlechterung durch Drosselverluste in Kauf genommen werden.

**[0030]** Gemäß einer vorteilhaften Variante dieser Ausgestaltungsform kann diese Betriebsart bei einer selbstzündenden Hubkolben-Brennkraftmaschine durch Vorsehen einer Lambdasonde auch in einem geschlossenen Regelkreis erfolgen, wobei die Lambdasonde die Regelgröße misst und das elektromagnetische Ventil als Stellglied angesteuert wird. Dadurch kann eine Lambda-Regelung, wie sie an sich aus dem Stand der Technik für Ottomotoren bekannt ist, für einen Dieselmotor dargestellt werden, die qualitativ der Lambda-Regelung eines modernen Ottomotors entspricht.

**[0031]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im Folgenden unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

**[0032]** Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine eines Dieselmotors gemäß einem Ausführungsbeispiel;

**[0033]** Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine eines Ottomotors gemäß einem Ausführungsbeispiel; und

**[0034]** Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild einer Diesel-Brennkraftmaschine gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

**[0035]** Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau des Zylinders einer selbstzündenden Brennkraftmaschine gemäß einem Ausführungsbeispiel. Der im Zylinder beweglich geführte Kolben **7** wird durch einen von der Pleuelwelle angetriebenen Pleuel **8** bewegt. Am Zylinderkopf **3** sind mindestens ein Einlassventil **5** und mindestens ein Auslassventil **6** in Form von Tellerventilen angeordnet. Diese werden im Ansaugtakt und Ausstoßtakt, dem sog. Ladungswechselteil, in bekannter Weise abwechselnd mit einer möglichen Ventilüberschneidung geöffnet und wieder geschlossen, um Frischgas aus dem Ladeluftkanal über das Einlassventil **5** in den Zylinder einzusaugen und Abgas über das Auslassventil **6** aus dem Zylinder zu schieben. Ferner kann ein Abgasturbolader vorgesehen sein (nicht gezeigt), der einen Überdruck zum Laden des Zylinders über das Einlassventil **5** erzeugen kann. Die Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum **3** erfolgt über den am Zylinderkopf angeordneten Dieselinjektor **11**.

**[0036]** Am Zylinderkopf **3** ist ein elektrisch betätigbares Magnetventil **4** angeordnet, das in den Brennraum **3** mündet. Die außerhalb des Brennraums **13** liegende Öffnung des Magnetventils **4** ist an einer Druckluftleitung **2a** angeschlossen, über die das elektromagnetische Ventil **4** mit einem Druckluftsystem verbunden ist. Die anderen Zylinder der Zylinderbank (in Fig. 1 nicht gezeigt) sind in vergleichbarer Weise aufgebaut.

**[0037]** Im Druckluftsystem ist ein Druckluftbehälter **1** angeordnet, aus dem beispielsweise die Druckluftbremse eines Nutzfahrzeugs mit Druckluft versorgt wird (nicht gezeigt). Die Druckluftleitungen **2a** von den elektromagnetischen Ventilen **4** jedes Zylinders der Zylinderbank werden durch ein Luftverteiler-Rail **10** in eine Druckluftleitung **2b** zusammengeführt, die mit dem Druckluftbehälter **1** verbunden ist. Zwischen dem Druckluftbehälter **1** und dem Luftverteiler-Rail **10** ist ferner ein Absperrventil **9** vorgesehen. Der Druckluftbehälter **1**, wie er typischerweise bei Nutzfahrzeugen zum Einsatz kommt, wird in einem Bereich von 10 bis 12 bar betrieben.

**[0038]** Die Ansteuerung des elektromagnetischen Ventils **4** erfolgt durch das Steuergerät des Common-Rail-Einspritzsystems, das über eine Steuerleitung mit dem elektromagnetischen Ventil **4** verbunden ist (nicht gezeigt). Die Steuereinheit zur Ansteuerung von Common-Rail-Injektoren **11**, insbesondere die Endstufe zur Ansteuerung von Common-Rail-Injektoren **11**, ist auch zur Ansteuerung des elektromagnetischen Injektors **4** geeignet. Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird somit die gleiche Endstufe, die zur Ansteuerung des Dieselinjektors **11** verwendet wird, mittels eines Multiplexverfahrens, auch zur Ansteuerung des elektromagnetischen Ventils **4** genutzt.

**[0039]** Die Steuereinheit ermittelt die für die Steuerung des elektromagnetischen Ventils **4** benötigten Steuerungsgrößen bzw. -parameter, z. B. Betrieb des Ventils JA oder NEIN, Öffnungsbeginn und Öffnungsende des Ventils **4**. Die Ermittlung der Steuerungsgrößen erfolgt in Abhängigkeit von der aktuellen Lastanforderung, der Motordrehzahl und des Ladedrucks, die bereits im Steuergerät für die Steuerung der Dieselinjektoren **11** vorliegen. Ferner ist das Steuergerät eingerichtet, über eine digitale Schnittstelle mit weiteren, im Fahrzeug angeordneter Steuergeräten oder direkt von entsprechenden Sensoren **17** den Druck und die Temperatur im Luftsystem **1** als weitere für die Berechnung der Steuerungsparameter verwendete Größen zu ermitteln. In diesem Ausführungsbeispiel ist ein Druck- und Temperaturmessfühler **17** am Druckluftbehälter **1** und ein weiterer Druck- und Temperaturmessfühler **17** ist an der Verteiler-Rail **10** angeordnet, um den Druck und die Temperatur im Druckluftbehälter **1** bzw. in der Verteiler-Rail **10** zu messen.

**[0040]** Fig. 2 zeigt eine Abwandlung des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1 für Ottomotoren, so dass zur Vermeidung von Wiederholungen auf die vorstehende Beschreibung verwiesen wird. Eine Besonderheit dieser Brennkraftmaschine besteht darin, dass anstatt eines Dieselinjektors **11** eine Zündkerze **12** vorgesehen ist, mit der das Luft-Kraftstoffgemisch im Brennraum **13** gezündet wird. Ferner ist ein zusätzliches Rückschlagventil **14** stromauf des elektroma-

gnetischen Ventils **4** in der Druckluftleitung **2** vorgesehen, um zu verhindern, dass brennfähiges Gemisch aus dem Brennraum **13** über das elektromagnetische Ventil **4** in das Druckluftsystem gelangt.

**[0041]** Fig. 3 zeigt eine weitere Abwandlung des Ausführungsbeispiels aus Fig. 1 und unterscheidet sich von diesem dadurch, dass nun ein zweistufiges Druckluftsystem vorgesehen ist. Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 1 sind die einzelnen Zylinder über ihre jeweiligen elektromagnetischen Ventile **4** und die Druckluftleitungen **2a** nicht direkt an den Druckluftbehälter **1**, aus dem beispielsweise die Druckluftbremse des Nutzfahrzeugs gespeist wird, angeschlossen. Vielmehr ist ein zweiter Druckluftbehälter **14**, der mit höherem Druck als der erste Druckbehälter **1** betrieben wird, zwischen dem ersten Druckluftbehälter **1** und den Zylindern angeordnet.

**[0042]** In diesem Ausführungsbeispiel ist ein Druck- und Temperaturmessfühler **17** jeweils am ersten Druckluftbehälter **1**, am zweiten Druckluftbehälter **14** und an der Verteiler-Rail **10** angeordnet, um den Druck und die Temperatur jeweils im ersten Druckluftbehälter **1**, im zweiten Druckluftbehälter **14** und in der Verteiler-Rail **10** zu messen.

**[0043]** Während der erste Druckluftbehälter typischerweise in einem Bereich von 10 bis 12 bar betrieben wird, ist der zweite Druckluftbehälter ein Hochdruckbehälter, der in der Größenordnung von ca. 30 bar betrieben wird.

**[0044]** Die beiden Druckluftbehälter **1**, **14** sind wiederum über eine Druckluftleitung **2c** verbunden. Zwischen den beiden Druckluftbehältern ist ein Rückschlagventil **15** und ein Druckregler **16** angeordnet. Durch die hohen Verdichtungsverhältnisse bei Dieselmotoren werden Verdichtungsenddrücke in der Größenordnung von 50 bar erreicht. Dadurch ist es möglich, mit den oben beschriebenen Verfahren den Hochdruckbehälter **14** über das elektromagnetische Ventil **4** mit im Verdichtungstakt erzeugter Druckluft zu befüllen. Die Lufteinblasung in die Zylinder erfolgt ebenfalls aus dem Hochdruckbehälter **14**. Über das Druckregelventil **16** oder andere ansteuerbare Ventile erfolgt eine Befüllung des normalen Druckluftbehälters **1** aus dem Hochdruckbehälter **14**.

**[0045]** Die Anordnung aus Fig. 3 mit zweistufigem Druckluftsystem hat die folgenden Vorteile: Das Druckluftsystem **1** für die Bremsen kann kleiner ausgeführt werden, weil im Hochdrucksystem **14** gespeicherte Luft als Reserve bereitsteht. Bei gleichem Volumen kann im Hochdrucksystem **14** eine höhere Masse Druckluft gespeichert werden. Ferner kann bei gleichem Volumen insgesamt eine größere Masse an Druckluft gespeichert werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die elektromagnetischen Ventile **4** mit einem

kleineren effektiven Querschnitt ausgeführt sein können, weil die Luft aus dem Hochdrucksystem **14** eine höhere Dichte aufweist und weil mehr Zeit für die Lufteinblasung während der Verdichtungsphase zur Verfügung steht. Ventile **4** mit kleinerem effektivem Querschnitt können zudem kleiner ausgeführt werden und benötigen damit auch weniger Einbauraum im Zylinderkopf **13**. Schließlich ist ein Vorteil, dass die zu bewegenden Massen bei kleinerem effektivem Querschnitt geringer sind. Daher ist auch die technische Umsetzung einfacher zu realisieren und führt zu reduzierten Kosten.

**[0046]** Vorstehend wurden bereits vorteilhafte Betriebsverfahren beschrieben, die mit der erfindungsgemäßen Anordnung eines elektromagnetischen Ventils **4** an einem Zylinderkopf **3** einer Hubkolben-Brennkraftmaschine realisiert werden können. Diese werden nachfolgend anhand der Diesel-Brennkraftmaschine der Fig. 1 nochmals beispielhaft erläutert.

**[0047]** Eine erste Betriebsart umfasst die Zusatzeinblasung von Luft, insbesondere bei Beschleunigungsvorgängen aus dem Leerlauf oder der niederen Teillast, wenn die Abgasturboaufladung keinen ausreichenden Ladedruck für die Befüllung der Zylinder mit Luft zur Verfügung stellt.

**[0048]** Wenn die Steuereinheit des elektromagnetischen Ventil beispielsweise in Abhängigkeit der Motordrehzahl und des erfassten Ladedrucks feststellt, dass keine ausreichende Befüllung der Zylinder über die Einlassventile **5** erfolgt, aktiviert die Steuereinheit den Betrieb der elektromagnetischen Ventile **4** der Zylinder und ermittelt den Öffnungsbeginn und das Öffnungsende der Ventile innerhalb des Viertaktprozesses.

**[0049]** Zur Zusatzlufteinblasung werden die elektromagnetische Ventile **4** so von der Steuereinheit angesteuert, dass in einem Bereich des Schließens der Einlassventile das elektromagnetische Ventil in eine Öffnungsstellung gebracht wird, um zusätzlich Druckluft, die von dem Druckluftspeicher **1** bereitgestellt wird, in den Brennraum **13** über das elektromagnetische Ventil **4** einzubringen. Das elektromagnetische Ventil **4** wird wieder in eine Schließstellung gebracht, wenn oder bevor der durch die Kompression im Verdichtungstakt erhöhte Druck im Zylinder den Luftdruck im Druckluftbehälter **1** übersteigt.

**[0050]** Die Füllung der Zylinder mit Luft hängt in erster Linie vom momentanen Ladedruck ab. Daher kann die einzublasende Zusatzluft über die elektromagnetischen Ventile **4** abhängig vom steigenden Ladedruck stetig vermindert werden. Hat der Ladedruck den benötigten Wert erreicht, wird die Zusatzlufteinblasung abgeschaltet.

**[0051]** Durch die erste Betriebsart kann ein permanent hoher Luftüberschuss aufrecht erhalten werden, um die Stickstoffoxid- und Partikelemission zu reduzieren.

**[0052]** Eine zweite Betriebsart kann zur Druckluftherzeugung verwendet werden.

**[0053]** Durch Ansteuern des elektromagnetischen Ventils **4** derart, dass dies öffnet, wenn der Gasdruck im Brennraum höher als der Luftdruck im Druckluftbehälter **1** ist, strömt komprimierte Luft aus dem Brennraum **13** über das elektromagnetische Ventil **4** aus und in das Druckluftsystem des Druckluftbehälters **1**. Der Verdichtungstakt des Zylinders wird folglich für die Erzeugung von Druckluft genutzt, die über das elektromagnetische Ventil aus dem Brennraum **13** ausgeleitet wird. Eine derartige Druckluftherzeugung erfolgt vorzugsweise in Betriebszuständen, bei denen nicht die volle Motorleistung bzw. das volle Motordrehmoment benötigt wird. Hierbei wird bei einem oder mehreren Zylindern die Einspritzung des Kraftstoffs abgeschaltet, was an sich aus dem Stand der Technik bekannt ist. Nach der Verdichtung der im Zylinder befindlichen Luft wird vor dem oberen Totpunkt das Magnetventil **4** geöffnet. Durch den höheren Druck im Zylinder wird der Druckluftspeicher **1** befüllt. Wenn der Zylinderdruck durch die Dekompression während der Abwärtsbewegung des Kolbens **7** unter den Druck des Druckluftbehälters **1** fällt, wird das elektromagnetische Ventil **4** wieder geschlossen.

**[0054]** Eine dritte Betriebsart kann zur Bremsenergieerückgewinnung eingesetzt werden. Hierbei werden Schubphasen ohne Kraftstoffeinspritzung zur Druckluftherzeugung gemäß der zweiten Betriebsart genutzt. Daraus ergibt sich eine Effizienzsteigerung des Systems, da Bremsenergie zur Druckluftherzeugung verwendet wird.

**[0055]** Eine vierte Betriebsart kann zur Bremsunterstützung genutzt werden. Ein weiterer Vorzug der Erfindung besteht darin, dass im Schubbetrieb, ohne Dieseleinspritzung, der Ventilbetrieb der elektromagnetischen Ventile **4** so eingerichtet werden kann, dass die Bremswirkung des Motors erhöht wird. Zunächst ist festzustellen, dass sich allein durch die Druckluftherzeugung eine Bremswirkung ergibt, da eine Umwandlung von kinetischer Energie resultierend aus der Fahrzeugbewegung in ein erhöhtes Druckniveau im Druckspeichersystem erfolgt. Eine höhere Bremswirkung lässt sich ferner erzeugen, wenn zu Beginn des Verdichtungstakts, unmittelbar nach Schließen des Einlassventils **5**, der Injektor **4** geöffnet und dadurch zusätzliche Luft in den Brennraum **13** eingebracht wird. Spätestens wenn der Druck im Zylinder bzw. Brennraum **13** und im Druckluftsystem des Druckluftbehälters **1** ausgeglichen ist, wird der Injektor **4** wieder geschlossen. Durch die erhöhte Zylinderfüllung wird während der Aufwärtsbewegung des

Kolbens **7** eine erhöhte Verdichtungsarbeit verrichtet, die auf die Kurbelwelle (nicht gezeigt) bremsend wirkt. Um zu verhindern, dass in der Luft gespeicherte Energie in der Abwärtsbewegung beschleunigend auf die Kurbelwelle wirkt, wird der Injektor **4** im oberen Totpunkt des Kolbens **7** wieder geöffnet. Die zu Beginn des Vorgangs eingeblasene Luft wird in das Druckluftsystem **1** zurückbefördert. Hierbei kann das Verfahren so ausgebildet werden, dass mehr Luft in das Druckluftsystem **1** zurückbefördert wird als entnommen wurde, wodurch auch diese Betriebsweise zur Befüllung des Druckluftsystems **1** dienen kann. Es ergibt sich somit eine Effizienzsteigerung der Brennkraftmaschine, da Bremsenergie zur Druckluftherzeugung genutzt wird.

**[0056]** Im Rahmen der Erfindung besteht ferner die Möglichkeit, das in **Fig. 1** gezeigte System durch entsprechende Dimensionierung der Druckluftspeicher und der Betriebsarten, in denen Druckluft erzeugt wird, so auszulegen, dass dadurch der Druckluftbedarf des Fahrzeugs gedeckt wird und so auf den bei Nutzfahrzeugen üblicherweise verbauten Luftpresser zur Druckluftherzeugung vollständig verzichtet werden kann.

**[0057]** Eine fünfte Betriebsart des Magnetventils **4** sieht vor, die Luftmenge für die Verbrennung zu reduzieren. Hierbei wird mit Hilfe des Magnetventils **4** ein Teil der nach dem Ladungswechsel im Zylinder befindlichen Luft vor der Zündung des Gemischs aus dem Brennraum **13** entnommen. Dadurch kann die Abgastemperatur gezielt erhöht werden, um beispielsweise eine frühere Aktivität des Abgasnachbehandlungssystems nach dem Motorstart zu ermöglichen. Auch im Leerlauf und Schwachlastbereich kann mit dieser Maßnahme die Wirksamkeit des Abgasnachbehandlungssystems gesteigert werden. Ein besonderer Vorzug dieser Betriebsart liegt darin, dass im Gegensatz zur Reduzierung der Luftmenge durch Drosselung der Ansaugluft dabei keine Wirkungsgradverschlechterungen durch Drosselverluste in Kauf genommen werden müssen.

**[0058]** Ferner besteht die Möglichkeit, die vorgenannte Betriebsart durch Verwendung einer Lambda-sonde auch in einem geschlossenen Regelkreis gemäß einer fünften Betriebsart durchzuführen. Hierbei wird, analog der Lambda-Regelung bei Ottomotoren, durch Regelung der in den Brennraum eingebrachten Luft über das Magnetventil **4** ein vorgegebenes Luftkraftstoffverhältnis in Brennraum **13** eingeregelt. Ein derartiges Regelverfahren ist aus dem Stand der Technik für den Betrieb von Ottomotoren bekannt und kann mit entsprechendem Betrieb des elektromagnetischen Ventils **4** auch für einen Dieselmotor umgesetzt werden.

**[0059]** Die vorgenannten verschiedenen Betriebsarten der Brennkraftmaschinen unter Steuerung des

elektromagnetischen Ventils **4** sind besonders vorteilhaft für den Betrieb eines Dieselmotors, wie in **Fig. 1** schematisch dargestellt.

**[0060]** Die vorgenannten Betriebsverfahren lassen sich jedoch auch mit Einschränkungen und Abwandlungen auf einen Ottomotor, wie in **Fig. 2** skizziert, anwenden.

**[0061]** In analoger Betriebsweise zum Dieselmotor kann das elektromagnetische Ventil **4** gemäß der ersten Betriebsart so betrieben werden, wobei über das elektromagnetische Ventil **4** zusätzlich Druckluft in den Brennraum **13** eingebracht wird, um eine zusätzliche Möglichkeit vorzusehen, das Luftkraftstoffverhältnis im Brennraum **13** zu beeinflussen.

**[0062]** Wenn, wie in **Fig. 2**, gezeigt, ein zusätzliches Rückschlagventil **14** vorgesehen ist, um zu verhindern, dass ein brennfähiges Gemisch aus dem Brennraum **13** in das Druckluftsystem gelangt, sind die vorstehend genannten Betriebsarten, bei denen durch den Kolben **7** komprimierte Luft aus dem Brennraum **13** über das elektromagnetische Ventil **4** entnommen wird, nicht möglich. Diese Einschränkung gilt unabhängig von der Art der Gemischbildung. Sowohl bei der klassischen äußeren Gemischbildung als auch bei der direkten Einspritzung in den Brennraum liegt während der Verdichtung zumindest zeitweise zündfähiges Kraftstoffluftgemisch im Zylinder vor.

**[0063]** Wird jedoch anstelle des Rückschlagventils **14** ein anderes Überwachungsmittel in den Druckluftleitungen **2a, 2b** vorgesehen, beispielsweise durch entsprechende Sensorik und/oder Abschaltventile in den Leitungen, besteht auch bei Ottomotoren mit Direkteinspritzung die Möglichkeit, das elektromagnetische Ventil **4** in den vorgenannten dritten und vierten Betriebsarten zur Bremsenergieerückgewinnung und zur Bremsunterstützung zu betreiben.

**[0064]** Ferner kann die vorgenannte fünfte Betriebsart zur Reduzierung der Luftmenge für die Verbrennung ebenfalls zur Kraftstoffersparnis eingesetzt werden. Die Drosselklappe bleibt hierbei auch im Teillastbereich weitgehend geöffnet. Dadurch werden die Drosselverluste reduziert. Ein Teil der im Zylinder befindlichen Luft wird über das elektromagnetische Luftventil **4** abgeblasen. Wenn die im Zylinder befindliche Luftmasse der Lastanforderung entspricht, wird das Luftventil **4** geschlossen, und die Verdichtung beginnt.

**[0065]** Hierbei ist die Effektivität umso höher, je später die Kraftstoffeinspritzung einsetzt, denn bis zu diesem Zeitpunkt ist es erforderlich, dass das Luftventil **4** geschlossen ist. Je mehr Zeit zur Ablassung der Luft zur Verfügung steht, desto mehr Luft kann über das elektromagnetische Ventil **4** abgelassen werden und

umso weiter kann die Drosselklappe geöffnet sein, wodurch die Drosselverluste minimiert werden.

**[0066]** Die vorgenannte Betriebsart für Dieselmotoren, bei denen im Betriebszustand, bei dem nicht die volle Motorleistung bzw. das volle Motordrehmoment benötigt und ein oder mehrere Zylinder unter abgeschalteter Kraftstoffeinspritzung betrieben werden, ist bei einer Vorgabe einer  $\lambda = 1$ -Regelung nicht mit einem Ottomotor realisierbar, kann aber bei einem mager betriebenen Motor umgesetzt werden.

**[0067]** Alle Betriebsarten stellen hohe Anforderungen an die Steuerung des Motors, insbesondere im  $\lambda = 1$ -Betrieb. Üblicherweise wird ein moderner Ottomotor mit einer vorgesteuerten Kraftstoffeinspritzung, die einer schnellen  $\lambda$ -Regelung überlagert ist, betrieben. Zur Kraftstoffsteuerung wird die Luftmasse durch Luftmassenmesser erfasst oder aus dem Druck vor dem Einlasskanal berechnet. Aus der Luftmasse wird die zur stöchiometrischen Verbrennung notwendige Kraftstoffmasse berechnet.

**[0068]** Weder der Luftmassensensor noch der Drucksensor können die durch die Luftventile zusätzlich eingebrachte bzw. abgeblasene Luft erfassen. Diese Luftmasse wird daher in dieser Betriebsvariante durch die Motorsteuerung sehr genau berechnet.

**[0069]** Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf bestimmte Ausführungsbeispiele beschrieben worden ist, ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen. Folglich soll die Erfindung nicht auf die offenbarten bestimmten Ausführungsbeispiele begrenzt sein, sondern die Erfindung soll alle Ausführungsbeispiele umfassen, die in den Bereich der beigefügten Patentansprüche fallen.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Druckluftbehälter 12 bar
<b>2a, 2b, 2c</b>	Druckluftleitung
<b>3</b>	Zylinderkopf
<b>4</b>	elektromagnetisches Ventil
<b>5</b>	Einlassventil
<b>7</b>	Auslassventil
<b>8</b>	Pleuel
<b>9</b>	Absperrventil
<b>10</b>	Luftverteiler-Rail
<b>11</b>	Dieselinjektor
<b>12</b>	Zündkerze
<b>13</b>	Brennraum
<b>14</b>	Druckluftbehälter 30 bar
<b>15</b>	Rückschlagventil
<b>16</b>	Druckregler
<b>17</b>	Druck- und Temperaturmessfühler

**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 10129976 B4 [0004]

### Patentansprüche

1. Hubkolben-Brennkraftmaschine, mit mindestens einem am Zylinderkopf (3) angeordneten Luft-einlassventil (5) und mindestens einem am Zylinderkopf angeordnetem Luftauslassventil (6); **dadurch gekennzeichnet**, dass am Zylinderkopf (3) ein elektromagnetisches Ventil (4) zur Lufteinbringung in den Brennraum (13) und/oder zur Luftausbringung aus dem Brennraum (13) angeordnet ist.

2. Hubkolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektromagnetische Ventil (4) in einer geöffneten Stellung den Brennraum (13) und einen Druckluftspeicher (1) über eine Druckluftleitung (2) pneumatisch koppelt.

3. Hubkolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein effektiver Querschnitt des elektromagnetischen Ventils (4) im Bereich von 5 bis 20 mm<sup>2</sup>, weiter vorzugsweise im Bereich von 10 bis 15 mm<sup>2</sup>, liegt.

4. Hubkolben-Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektromagnetische Ventil (4) mittels einer Steuereinheit in Abhängigkeit von einem Druck und/oder einer Temperatur des Druckluftsystems, einer Kolbenstellung, einer Lastanforderung, einer Motordrehzahl, und/oder eines Ladedrucks im Zylinder steuerbar ist.

5. Hubkolben-Brennkraftmaschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**,  
(a) dass die Steuereinheit das Motorsteuergerät ist; oder  
(b) dass die Hubkolben-Brennkraftmaschine als Common-Rail-Einspritzsystem ausgebildet ist und dass die Steuereinheit die Steuereinheit für das Common-Rail-Einspritzsystem ist.

6. Hubkolben-Brennkraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
(a) dass die Hubkolben-Brennkraftmaschine einen Abgasturbolader umfasst; und/oder  
(b) dass das wenigstens eine Lufteinlassventil (5) und das Luftauslassventil (6) als Tellerventile ausgebildet sind; und/oder  
(c) dass die Hubkolben-Brennkraftmaschine eine selbstzündende Brennkraftmaschine oder ein Ottomotor ist.

7. Kraftfahrzeug, insbesondere Nutzfahrzeug mit einer Hubkolben-Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

8. Nutzfahrzeug mit einer Hubkolben-Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 2 bis 6, gekennzeichnet durch ein erstes Druckluftsystem mit

einem ersten Druckluftspeicher (17) zur Versorgung der Bremsen mit Druckluft und ein zweites Druckluftsystem mit einem zweiten Druckluftspeicher (1), wobei der zweite Druckluftspeicher (1) mit einem höherem Druck als der erste Druckluftspeicher (17) betreibbar ist und mit dem Brennraum über das elektromagnetische Ventil (4) pneumatisch koppelbar ist, wobei der zweite Druckspeicher (1) ausgebildet ist, den ersten Druckluftspeicher (17) mit Druckluft zu befüllen.

9. Verfahren zum Betrieb einer Hubkolben-Brennkraftmaschine gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**,  
(a) dass Druckluft aus dem Druckluftspeicher (1) über das elektromagnetische Ventil (4) in den Brennraum (13) eingebracht wird, zusätzlich zur Ladeluft, die über das wenigstens eine Einlassventil (5) in den Brennraum (13) eingebracht wird, und/oder  
(b) dass komprimierte Luft über das elektromagnetische Ventil aus dem Brennraum (13) entnommen und dem Druckluftspeicher (1) zugeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zusatzlufteinblasung von Druckluft über das elektromagnetische Ventil (4) im Bereich des Schließens des wenigstens einen Einlassventils (5) beginnt und spätestens endet, wenn ein Gasdruck im Brennraum (13) einen Luftdruck im Druckluftspeicher (3) erreicht.

11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Betriebszuständen, bei denen nicht das volle Motordrehmoment benötigt wird, bei wenigstens einem Zylinder mit abgeschalteter Kraftstoff-einspritzung das elektromagnetische Ventil (4) in der Aufwärtsbewegung des Kolben (7) geöffnet und im Bereich des oberen Totpunkts wieder geschlossen wird, um komprimierte Luft aus dem Brennraum (13) zu entnehmen und dem Druckluftspeicher (1) zuzuführen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Verdichtungstakt eines Schubbetriebs unmittelbar nach Schließen des Einlassventils (5) das elektromagnetische Ventil (4) zur Zusatzlufteinblasung von Druckluft geöffnet wird und, spätestens wenn der Gasdruck im Zylinder einen Luftdruck im Druckluftspeicher (1) erreicht, wieder geschlossen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einem Ladungswechsel und vor der Verbrennung über das elektromagnetische Ventil (4) im Zylinder befindliche Luft aus dem Brennraum (13) zumindest teilweise entnommen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(a) die Hubkolben-Brennkraftmaschine eine selbstzündende Hubkolben Brennkraftmaschine ist; und  
(b) dass die Luftentnahme über das elektromagnetische Ventil (4) als Stellglied in einem geschlossenen Lambda-Regelkreis erfolgt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass Steuerparameter betreffend einen Öffnungsbeginn des elektromagnetischen Ventils (4), ein Öffnungsende des elektromagnetischen Ventils (4) und eine Entscheidung, ob eine Betätigung des elektromagnetischen Ventils (4) erfolgt, in Abhängigkeit von einem Druck und/oder einer Temperatur in einem den Druckluftspeicher (1) enthaltenden Druckluftsystem, einer Kolbenstellung, einer Lastanforderung, einer Motordrehzahl und/oder eines Ladedrucks im Zylinder und/oder Ansaugkrümmer bestimmt werden.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

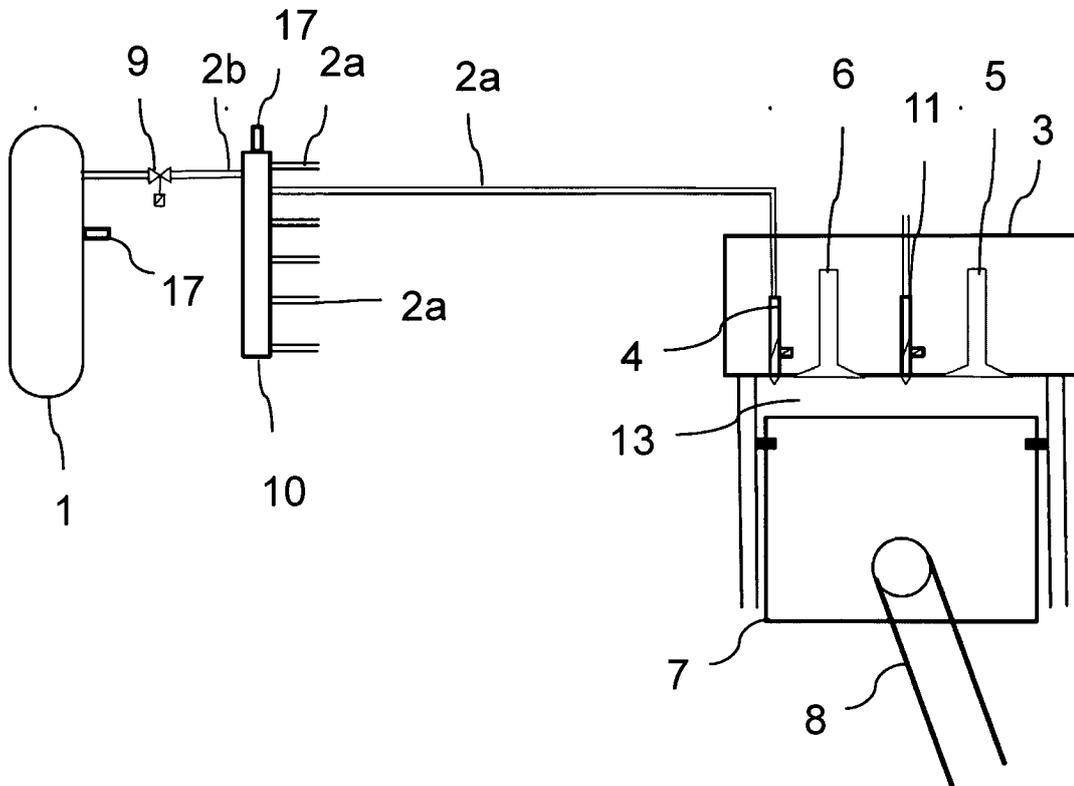


FIG. 2

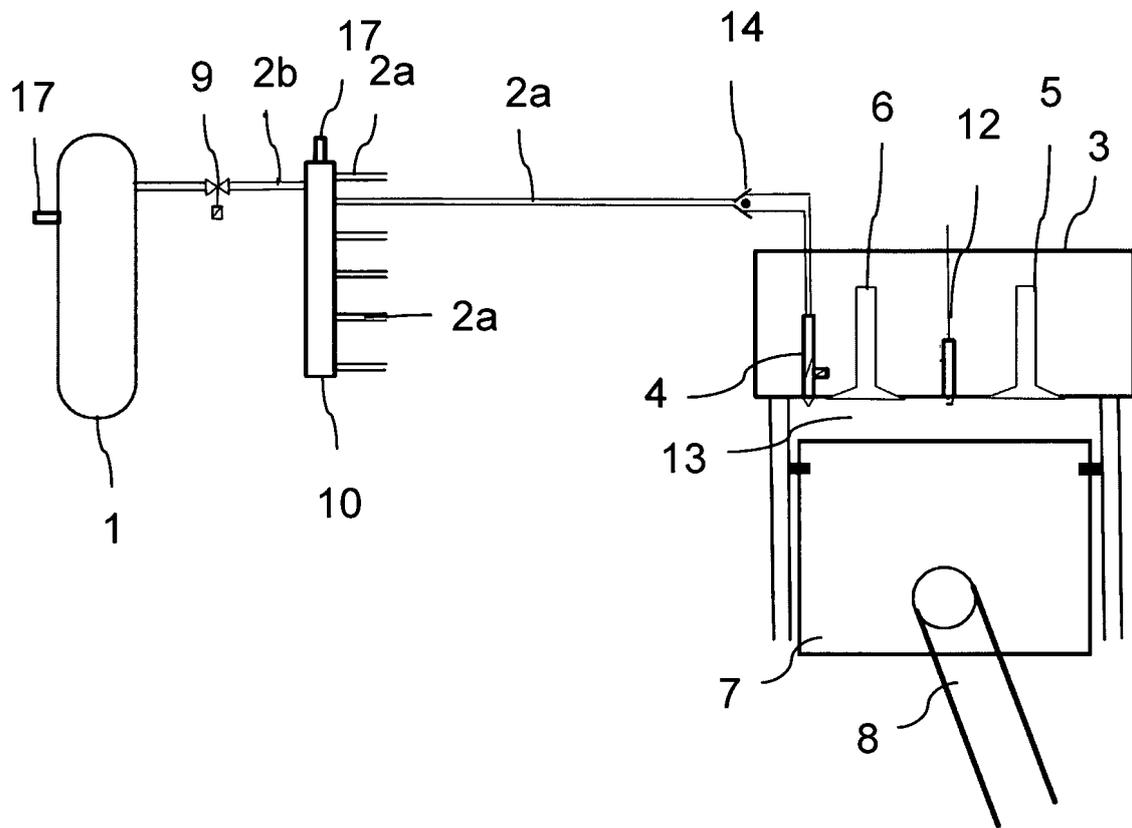


FIG. 3

