



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 103 46 830 B4** 2006.11.02

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 46 830.7**  
 (22) Anmeldetag: **06.10.2003**  
 (43) Offenlegungstag: **28.04.2005**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **02.11.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02B 27/02** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**FEV Motorentchnik GmbH, 52078 Aachen, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Maxton Langmaack & Partner,**  
**50968 Köln**

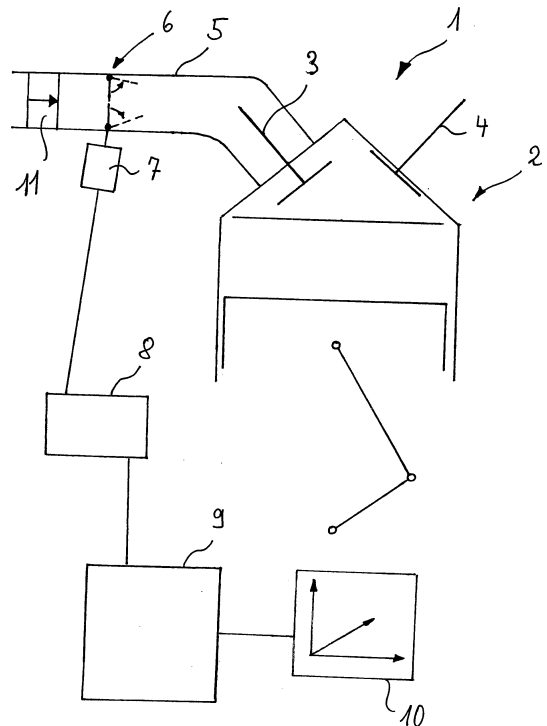
(72) Erfinder:  
**Wohlberg, Reiner, Dipl.-Ing., 50969 Köln, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 15 00 159 C**  
**DE 199 08 435 A1**  
**DE 101 51 687 A1**  
**DE 44 47 283 A1**  
**DE 40 31 886 A1**  
**DE 37 41 880 A1**  
**DE 37 37 828 A1**  
**DE 37 37 824 A1**

(54) Bezeichnung: **Impulsaufladung**

(57) Hauptanspruch: Verbrennungskraftmaschine (1) mit zumindest jeweils einem Einlass- (3) und einem Auslassventil (4), die einem Zylinder (2) zugeordnet sind, sowie einer Impulsklappe (6), die in einem Saugrohr (5) zwischen einem Sammler und dem Einlassventil (3) angeordnet ist und eine Steuerung hat, die eine Mehrfachöffnung der Impulsklappe (3) in einem Saughub des Zylinders (2) aufweist.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verbrennungskraftmaschine mit zumindest jeweils einem Einlaß- und einem Auslaßventile, die einem Zylinder zugeordnet sind, sowie mit zumindest einer Impulsklappe, die vor dem Einlaßventil angeordnet ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Steuerung der Impulsklappe.

### Stand der Technik

**[0002]** Aus der DE 37 37 824 A1 geht die Anordnung einer Impulsklappe vor einem Einlaßventil hervor. Die dort als Zusatzventil bezeichnete Impulsklappe ist derart geschaltet, daß zu Beginn einer Saugphase des Zylinders Brennluft ungehindert in einen Verbrennungsraum eintreten kann. Das Zusatzventil soll so angesteuert werden, dass es nicht zu einem Rückfluß einer in den Verbrennungsraum eintretenden Brennluft kommt. Durch eine Schließphase des Zusatzventils soll vor dem Zusatzventil ein Stau erzeugt werden, während hinter dem Zusatzventil ein Sog entstehen soll. Über eine Dauer einer Schließphase des Zusatzventils soll eine Dynamisierung des Effektes von Sog und Stau gesteuert werden.

**[0003]** Aus der DE 101 51 687 A1 geht ein Verfahren zum Betrieb einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine hervor, bei jedem Brennraum ein Steuerelement zur Beeinflussung einer Luftzufuhr zugeordnet ist, wobei die Stellung des Steuerelementes in Abhängigkeit von einem Betriebszustand des jeweiligen Brennraumes geregelt wird.

### Aufgabenstellung

**[0004]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Erhöhung einer Zylinderladung unter Nutzung einer Impulsklappe zu erzielen.

**[0005]** Diese Aufgabe wird mit einer Verbrennungskraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruches 1 sowie mit einem Verfahren zur Steuerung einer Impulsklappe mit den Merkmalen des Anspruches 4 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0006]** Eine erfindungsgemäße Verbrennungskraftmaschine mit zumindest jeweils einem Einlaß- und einem Auslaßventil, die einem Zylinder zugeordnet sind, sowie zumindest einer Impulsklappe, die in einem Saugrohr zwischen einem Sammler und dem Einlaßventil angeordnet ist und eine Steuerung hat, weist die Steuerung derart auf, daß diese eine Mehrfachöffnung der Impulsklappe in einem Saughub des Zylinders implementiert hat. Dadurch gelingt, daß mehrere kurze Einlaßmassenstromimpulse erzeugt werden können. Dadurch wird die Zylinderladung er-

höht. Die Impulsklappe wird hierfür während eines Ansaughubes des Zylinders mehrfach kurz geöffnet und wiederum geschlossen. Die Impulsklappe erzeugt somit nicht einen einzigen Einlaßmassenstromimpuls. Vielmehr erzeugt sie mehrere Massenstromimpulse, die voneinander getrennt während des einen Saughubes des Zylinders erzeugt werden.

**[0007]** Die Erzeugung von mehreren hintereinander angeordneten Einlaßmassenstromimpulsen erlaubt eine Reduzierung einer Höhe des Massenstromimpulses gegenüber herkömmlichen Öffnungsverfahren. Auf diese Weise lassen sich die durch einen ausgelösten Massenstromimpuls erzeugten Strömungsverluste reduzieren. Dadurch kann das Einlaßmassenintegral gesteigert werden. Insbesondere erlaubt eine mehrfache Einlaßmassenstromimpulserzeugung eine Minimierung von Strömungsverlusten gegenüber einem vergleichbaren einzigen Einlassmassenstromimpulses.

**[0008]** Des weiteren erlaubt die Erzeugung von mehreren kurzen, hintereinander eingeordneten Einlaßmassenstromimpulsen eine Steigerung einer an der Impulsklappe anliegenden Differenzdruckänderung. Bei einem einzigen Massenstromimpuls während einer Ansaugphase des Zylinders ist der Differenzdruck zu begrenzen, um nicht ein kritisches Druckverhältnisses über der Impulsklappe und insbesondere ein überkritisches Druckverhältnis über die Impulsklappe zu überschreiten. Durch das mehrfache Öffnen der Impulsklappe kann jedoch der Differenzdruck so gesteuert werden, daß vor dem Aufbau eines derartigen kritischen bzw. überkritischen Druckverhältnisses ein kurzer Massenstromimpuls ausgelöst wird. Ein sich nachfolgend aufbauender Druck, auch in Form beispielsweise von starken Druckschwingungen, kann wieder genutzt werden, die Druckverhältnisse über die dann wieder geschlossene Impulsklappe nutzen zu können. Insbesondere erlaubt die Steuerung, daß die Impulsklappe so geöffnet wird, daß ein unterkritisches Durchströmen ermöglicht wird. Dieses begrenzt die ansonsten auftretenden Verluste über die Impulsklappe.

**[0009]** Weiterhin erlaubt die mehrfache Öffnung der Impulsklappe während der Saugphase insbesondere die Anwendung bei Verbrennungskraftmaschinen, in denen starke Druckfluktuationen im Saugrohr herrschen, die einen Einsatz derartiger Mittel bisher nicht ermöglichten.

**[0010]** Eine Weiterbildung sieht vor, dass nach einem ersten Öffnen der Impulsklappe diese wieder geschlossen wird. Das Schließen kann dabei vollständig erfolgen. Er kann jedoch auch nur zu einem Teil erfolgen, insbesondere so, dass sich über die Impulsklappe wieder ein Druckunterschied aufbauen kann. Auch können Öffnungen und Schließungen der Impulsklappe unterschiedlich gesteuert werden, ins-

besondere in Abhängigkeit von einer Druckdifferenz, die über der Impulsklappe anliegt. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird diese Druckdifferenz direkt oder indirekt ermittelt, wobei aus der Druckdifferenz eine Schaltung der Impulsklappe abgeleitet wird. Beispielsweise wird die Impulsklappe dann geöffnet, wenn ein anliegender Staudruck eine Größe erreicht, bei ein ausgelöster Impulsmassenstrom eine Ladungserhöhung erzielt, ohne dass die dafür aufzuwendende Energie beispielsweise zum Öffnen der Impulsklappe und eventueller Strömungsverluste einen Grenzwert überschreitet. Der Grenzwert kann einstellbar vorgegeben werden. Er kann jedoch auch rechnerisch ermittelt werden. Insbesondere wird gemäß einer Ausgestaltung ein kritisches Druckverhältnis definiert, bis zu dem ein Öffnen der Impulsklappe ausgeführt. Liegt das Druckverhältnis darüber, wird die Impulsklappe nicht geöffnet. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass eine Bandbreite eines Druckverhältnisses vorgegeben wird, innerhalb dessen eine Schaltung der Impulsklappe erfolgt.

**[0011]** Im übrigen ist der Begriff „Impulsklappe“ nicht beschränkend bezüglich einer Geometrie oder einer Gestalt dieses Bauteils zu verstehen. Vielmehr kann die Klappe ein oder mehrere Bestandteile aufweisen, insbesondere unterteilt sein, zumindest abschnittsweise rund, eckig und/oder gebogen sein, sich über den gesamten Querschnitt oder auch nur teilweise über diesen erstrecken, ein oder mehrere Werkstoffe aufweisen, in Verbindung mit ein oder mehreren Stellmitteln stehen, die beispielsweise Federn und/oder federartige Mittel, Magnete, insbesondere Elektromagnete, mechanische Vorrichtungen und ähnliches aufweisen können. Die Impulsklappe kann sich beispielsweise zentral oder randseitig öffnen, auf- und zuklappen oder sich blendenartig öffnen und schließen.

**[0012]** Eine Möglichkeit einer Anordnung wie auch einer Bauform einer Impulsklappe geht beispielsweise aus DE 199 08 435 A1 hervor. Weitere Beispiele von Anordnungen, Bauformen und Auch Ansteuerungen gehen beispielsweise aus der EP 0 141 165 A2, aus der DE 40 30 760 A1, aus der DE 1 500 159 C und aus der DE 37 41 880 A1. Auf diese Dokumente wird im Rahmen dieser Offenbarung bezüglich der Anordnung, der Ausgestaltung wie auch der Stellmittel verwiesen, wobei jeweils unterschiedliche Merkmale aus verschiedenen Dokumenten miteinander kombiniert werden können.

**[0013]** Auch kann das Saugrohr, in dem die Impulsklappe angeordnet ist, entsprechend an die Verbrennungskraftmaschine, deren Betriebsbereiche und an die Steuerung der Impulsklappe angepasst sein. Beispielsweise wird im Rahmen dieser Offenbarung diesbezüglich auf die DE 40 31 886 A1 wie auch auf die DE 37 37 828 A1 verwiesen.

**[0014]** Gemäß einer Ausgestaltung ist vorgesehen, daß ein Kennfeld für ein Steuergerät hinterlegt ist, daß ein in Abhängigkeit von einem Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine sich verschiebende Öffnung und Schließung der Impulsklappe aufweist. Hierbei können ein oder mehrere Kennfelder genutzt werden, wobei auch mehrere Abhängigkeiten hierin erfaßt sein können. Der Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine wird beispielsweise über eine Umdrehungsgeschwindigkeit der Verbrennungskraftmaschine erfaßt. Weiterhin kann jedoch auch eine Last erfaßt werden. Das Steuergerät ist vorzugsweise in eine Motorsteuerung integriert. Auch kann das Steuergerät von der Motorsteuerung getrennt vorliegen und von dieser angesteuert werden. Dabei kann beispielsweise die Motorsteuerung als übergeordnetes Steuergerät das entsprechende Kennfeld aufweisen. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, daß das Steuergerät, welches getrennt vom Motorsteuergerät vorhanden ist, ein oder mehrere Kennfelder hinterlegt aufweist.

**[0015]** Eine Weiterbildung sieht vor, daß eine Zeitdauer der Öffnung der Impulsklappe vom Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine abhängig ist. Insbesondere bei niedriger werdenden Umdrehungszahlen kann die Zeitdauer der Öffnung der Impulsklappe abnehmen. Vorzugsweise wird bei einer niedrigeren Umdrehungsgeschwindigkeit eine mehrfache Impulsklappenöffnung erzeugt, die ein oder mehr Öffnungen aufweist als ein Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine mit höheren Umdrehungszahlen.

**[0016]** Gemäß einer Ausgestaltung ist vorgesehen, daß die Verbrennungskraftmaschine als langhubiger Motor ausgeführt wird. In Verbindung mit der mehrfach öffnenden Impulsklappe erlaubt die dadurch erzielte Impulsaufladung eine besonders gute Befüllung der Zylinder.

**[0017]** Vorzugsweise wird eine Zwangssteuerung der Impulsklappe nicht nur während des Öffnens sondern auch zum Schließen ausgeführt. Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Impulsklappe mit einer Rückstellkraft permanent beaufschlagt ist, wenn sie sich in einer Öffnungsposition befindet. Wird eine Öffnungskraft unterbrochen, erfolgt eine Rückstellung in eine Schließposition durch die Rückstellkraft.

**[0018]** Insbesondere ermöglicht gemäß einer anderen Weiterbildung die Verwendung der Impulsklappe in Verbindung mit einer Steuerung den Einsatz bei Verbrennungskraftmaschinen, die starke Druckschwingungen und/oder Druckschwankungen im Saugrohr aufweisen.

**[0019]** Vorzugsweise weist die Verbrennungskraftmaschine neben der Impulsklappe und der zugehörigen

gen Steuerung eine weitere Auflademöglichkeit der Verbrennungskraftmaschine auf. Gemäß einer Ausgestaltung ist die Steuerung der Impulsklappe im Verbund einer kombinierten Aufladung vorgesehen. Dabei wirkt die durch die Impulsklappe ermöglichte Impulsaufladung als Aufladeeinrichtung in einem Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine, während in einem anderen Betriebsbereich ein anderes Aufladesystem wirksam ist. Gemäß einer anderen Ausgestaltung ist die Steuerung der Impulsklappe in Form einer Hybridaufladung vorgesehen. Dabei wird die Impulsklappe als Zusatzaufldesystem verwendet, das eine Aufladung durch ein anderes System verstärkt. Bei der kombinierten Aufladung ist beispielsweise vorgesehen, daß die Steuerung der Impulsklappe derart erfolgt, daß damit ein Resonanzsystem in einem Aufladesystem abgelöst werden kann.

**[0020]** Als zusätzliche Aufladesysteme können Abgasturbolader wie auch mechanische Lader eingesetzt werden. Auch kann mittels dynamischer Aufladung durch Veränderung der Saugrohrlänge die Befüllung des Zylinders verbessert werden. Als Abgasturbolader können beispielsweise Wastegate-Lader, VTG-Lader und/oder VST-Lader eingesetzt werden. Als mechanische Lader sind beispielsweise mechanische Verdrängerlader mit innerer Verdichtung wie beispielsweise Hubkolbenlader oder Schraubenlader oder ohne innere Verdichtung wie beispielsweise beim Roots-Lader eingesetzt werden. Auch kann ein Druckwellenlader wie beispielsweise ein Comprex-Lader eingesetzt werden.

**[0021]** Die zusätzliche Aufladung kann beispielsweise in Form einer Registeraufladung und/oder in Form einer zweistufigen geregelten Aufladung erfolgen. Auch kann in diese die Impulsaufladung mittels der schaltbaren Impulsklappe integriert sein.

**[0022]** Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Aufladesystem über ein Steuergerät geschaltet werden, wobei das Steuergerät in die Motorsteuerung integriert sein kann.

**[0023]** Insbesondere gestattet der Aufbau der Steuerung die Nutzung der Impulsklappe für Zwei-, Vier-Zylinder-Motoren oder andere Zylinderzahlen. Da Resonanzsysteme aufgrund der Zündfolge nur bei Drei-Zylindern und vielfachen dieser Zylinderfolge eingesetzt werden konnten, erlaubt die vorliegende Erfindung eine Ausweitung von kombinierten Aufladesystemen auch auf andere Zylinderzahlverhältnisse.

**[0024]** Die Impulsklappe kann bei Benzin- wie auch bei Dieseler Verbrennungskraftmaschinen eingesetzt werden. Sie kann im Stationärbetrieb wie auch in instationär betriebenen Verbrennungskraftmaschinen Verwendung finden.

**[0025]** Auch kann die Impulsklappe und deren Ansteuerung so geschaltet werden, dass eine Ventilüberschneidung von Einlaß- und Auslassventil mitunterstützt wird. Die Impulsklappe wird beispielsweise so geschaltet, dass ein Spüldruckgefälle ausgenutzt wird. Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass eine Druckspeicherung zwischen der Impulsklappe und dem Einlassventil erzeugt wird, die insbesondere für eine Restgasausspülung eingesetzt werden kann. Vorzugsweise wird die Impulsklappe in Abstimmung der Öffnungen der Einlass- und der Auslassventile geschaltet. Die Impulsaufladung mittels der Impulsklappe kann ebenfalls in Abstimmung mit der Schaltung eines AGR-Ventils ausgeführt werden, um eine Abgasrückführung zu unterstützen.

**[0026]** Gemäß einem weiteren Gedanken der Erfindung wird ein Verfahren zu Steuerung einer Impulsklappe zur Verfügung gestellt, wobei die Impulsklappe vor einem Einlassventil eines Zylinders einer Verbrennungskraftmaschine in einem Saugrohr angeordnet ist, zur Erhöhung einer Zylinderladung, wobei während eines Saughubes des Zylinders die Impulsklappe zumindest in einem Betriebsbereich zumindest zweifach geöffnet wird.

**[0027]** Vorzugsweise sieht das Verfahren vor, dass die Impulsklappe während des Saughubes des Zylinders zumindest zweifach geöffnet und geschlossen wird. Insbesondere wird beabsichtigt, dass mehrfach während eines Saughubes des Zylinders ein impulsartiger Ansaugstau vor der Impulsklappe erzeugt wird. Eine Weiterbildung sieht vor, dass ein mehrfacher Einlassmassenstromimpuls erzeugt wird, dessen Integral über den Einlassmassenstrom größer ist im Vergleich zu einem einzelnen Einlassmassenstromimpuls gleicher Zeitdauer. Eine andere Weiterbildung sieht vor, dass eine Druckspeicherung in einem Vorraum zwischen der Impulsklappe und dem Einlassventil angewendet wird. Vorzugsweise wird die Impulsklappe geöffnet, wenn ein dem Einlassventil zugeordnetes Auslassventil geöffnet ist. So kann eine Ventilüberschneidung mittels Impulsaufladung unterstützt werden.

**[0028]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen gehen aus der nachfolgenden Zeichnung hervor. Die dort dargestellten Weiterbildungen sind jedoch nicht beschränkend auszulegen, sondern die dort beschriebenen Merkmale können insbesondere mit den oben schon beschriebenen Merkmalen zu weiteren Ausgestaltungen kombiniert werden. Es zeigen:

**[0029]** [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht eines Zylinders mit einer vor einem Einlassventil angeordneten Impulsklappe,

**[0030]** [Fig. 2](#) einen Verlauf einer Impulsklappenöffnung in einem ersten Betriebsbereich,

[0031] [Fig. 3](#) einen Verlauf einer Impulsklappenöffnung in einem zweiten Betriebsbereich,

[0032] [Fig. 4](#) einen Verlauf einer Impulsklappenbetätigung in einem dritten Betriebsbereich,

[0033] [Fig. 5](#) einen ersten Druckverlauf zwischen einer Impulsklappe und einem Einlassventil und einen zweiten Druckverlauf eines Zylinderdruckes in einem Betriebsbereich entsprechend dem aus [Fig. 3](#),

[0034] [Fig. 6](#) einen Massenstromverlauf entsprechend zum Druckverlauf aus [Fig. 5](#) im gleichen Betriebsbereich und

[0035] [Fig. 7](#) einen Verlauf einer Impulsklappenbetätigung entsprechend zum Druckverlauf aus [Fig. 5](#) und zum Massenstromausgleich aus [Fig. 6](#).

[0036] [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Ansicht einer Verbrennungskraftmaschine **1** mit zumindest einem Zylinder **2**, der zumindest jeweils ein Einlassventil **3** und ein Auslassventil **4** aufweist. Dem Einlassventil **3** ist in einem Saugrohr **5** eine Impulsklappe **6** vorgeordnet. Die Impulsklappe **6** kann gesteuert geöffnet wie auch vorzugsweise gesteuert geschlossen werden. Hierzu weist die Verbrennungskraftmaschine **1** beispielsweise eine Stellvorrichtung **7** auf. Die Stellvorrichtung **7** wird gemäß der dargestellten Ausgestaltung der Verbrennungskraftmaschine **1** über ein Steuergerät **8** angesteuert. Das Steuergerät **8** kann in ein Motorsteuergerät **9** integriert sein. Das Steuergerät **8** kann jedoch auch von dem Motorsteuergerät **9** getrennt vorliegen. Beispielsweise kann das Motorsteuergerät **9** ein oder mehrere Kennfelder **10** hinterlegt aufweisen, über die die Stellvorrichtung **7** angesteuert wird. Die Kennfelder decken die Betriebsbereiche der Verbrennungskraftmaschine **1** ab und sind insbesondere derart ausgelegt, dass zumindest ein mehrfaches Öffnen der Impulsklappe **6** während eines Saughubes der Verbrennungskraftmaschine **1** gewährleistet wird. Hierzu wird über einen nicht näher dargestellten Sensor beispielsweise die Umdrehungsgeschwindigkeit der Verbrennungskraftmaschine **1** ermittelt. Dieser Wert geht in das Motorsteuerungsgerät **9** ein, so dass mit diesem und eventuellen weiteren Werten auf einen Zustand der Impulsklappe **6** geschlossen werden kann. Beispielsweise kann dieser Zustand „Schließen“ oder „Öffnen“ sein.

[0037] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung erfolgt eine Kennfeldsteuerung über das Steuergerät **8**, dass die dafür benötigten Kennfelder hinterlegt aufweist. Beispielsweise kann von dem Motorsteuergerät **9** ein Abgleich mit dem Steuergerät **8** erfolgen, um eine Zeitablauffolge und Überprüfung sicherzustellen. Insbesondere kann das Motorsteuergerät **9** auch redundant zum Steuergerät **8** ausgebildet sein: bei einem Ausfall des Steuergerätes **8** übernimmt das Motorsteuergerät **9** den weiteren Betrieb der Impuls-

klappe **6**. Weiterhin kann das Steuergerät **8** auch weitere Funktionen aufweisen, beispielsweise als Ventilsteuergerät bei elektro-magnetischen Ventilen oder anders betätigten Ventilen dienen.

[0038] Weiterhin ist gemäß der dargestellten Ausgestaltung der Verbrennungskraftmaschine **1** eine Aufladevorrichtung **11** im Saugrohr **5** vorgesehen. Die Aufladevorrichtung **11** kann vor einem Sammler angeordnet sein, in dem zwei oder Saugrohre eine Mündung aufweisen. Der Sammler ist hier nicht näher dargestellt. Die Aufladevorrichtung **11** kann jedoch auch erst einem Sammler nachgeordnet sein. Vorzugsweise ist die Aufladevorrichtung **11** derart, dass sie in abgestimmter Weise mit der Impulsaufladung mittels der Impulsklappe **6** betrieben werden kann.

[0039] [Fig. 2](#) zeigt einen Verlauf einer Impulsklappenöffnung in einem ersten Betriebsbereich einer 4-Zylinder-Verbrennungskraftmaschine. Diese wird bei 2000 Umdrehungen/Minute betrieben. Eingezeichnet ist, dass nach Durchlaufen des oberen Totpunktes des Ladungswechsels (LWOT) bei 360° Kurbelwinkel der Ansaughub beginnt, in dessen Verlauf die Impulsklappe zur Erzeugung von Massenimpulsen zweimal geöffnet und dazu entsprechend geschaltet wird. Der Verlauf der Klappenöffnung wie auch der Klappenschließung ist dabei vorzugsweise so wie dargestellt geradlinig verlaufend. Der Verlauf kann jedoch auch einer anderen Form folgen, die beispielsweise einen gebogenen Verlauf, insbesondere eine hyperbelartigen Verlauf besitzt. Auch können die Klappenöffnung und die Klappenschließung jeweils einen unterschiedlichen Verlauf aufweisen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass ein Verlauf einer Öffnung bzw. Schließung der Impulsklappe ein Plateau aufweist. Die Impulsklappe wird in einem derartigen Falle beispielsweise nicht vollständig geöffnet bzw. geschlossen.

[0040] Die Öffnungsdauer der Impulsklappe kann unterschiedlich sein. Vorzugsweise erfolgt die Öffnungsdauer in Abhängigkeit von einem Druckgefälle über die Impulsklappe und deren Abbau nach Öffnung derselben. Da ein Druckgefälleabbau insbesondere auch von den Strömungsbedingungen im Zylinder abhängt, können die einzelnen Öffnungszeiten der Impulsklappe auch unterschiedliche Längen aufweisen. Beispielsweise ist gemäß einer ersten Ausgestaltung eine erste Öffnungsdauer kürzer als eine nachfolgende zweite. Gemäß einer zweiten Ausgestaltung verhält es sich umgekehrt. Weiterhin kann sich der Abstand zwischen zwei Öffnungszeiten der Impulsklappe derart verkürzen, dass dieser Abstand geringer ist als die Öffnungsdauer der Impulsklappe. Auch kann die Gradient der Öffnung und damit die Schnelligkeit der Öffnung wie auch der Schließung der Impulsklappe verschieden sein.

**[0041]** Weiterhin kann die Schließung der Impulsklappe zu einem Zeitpunkt ausgelöst werden, an dem sich der Kolben noch in der Saugphase befindet. Der eigentliche Schließvorgang jedoch vollzieht sich auch noch über einem Zeitpunkt hinfort, bei dem der Kolben eine Bewegungsumkehr vollzieht und seine Saugphase beendet hat. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann eine Öffnung der Impulsklappe auch dann noch erfolgen, wenn beispielsweise der untere Totpunkt durch den Kolben schon durchlaufen wurde. Weitere Öffnungsmöglichkeiten bzw. Schließungsmöglichkeiten gehen auch aus den nachfolgenden Figuren hervor.

**[0042]** [Fig. 3](#) zeigt einen Verlauf einer Impulsklappenöffnung in einem zweiten Betriebsbereich der aus [Fig. 2](#) bekannten Verbrennungskraftmaschine. Hierbei wird die Verbrennungskraftmaschine bei 1500 Umdrehungen/Minute betrieben. Gegenüber dem Betriebspunkt aus [Fig. 2](#) wird ein ausreichendes Druckgefälle schon früher erreicht. Auch ist der Abstand zwischen zwei Öffnungen größer im Vergleich zum Abstand in [Fig. 2](#). In [Fig. 2](#) wie auch in [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 7](#) ist auf der Y-Achse eine normierte Klappenöffnung angegeben. Diese ist auf eine 100% geöffnete Impulsklappe bezogen. Dadurch gelingt es, unterschiedliche Klappengeometrien miteinander vergleichen zu können.

**[0043]** [Fig. 4](#) zeigt einen andere Verlauf einer Impulsklappenbetätigung in einem dritten Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine aus [Fig. 2](#). Hierbei erfährt die Impulsklappe drei Öffnungs- und Schließungsansteuerungen. Die erste Öffnung erfolgt dabei zur einem Zeitpunkt, in dem sich der Kolben noch nicht ganz im oberen Totpunkt des Ladungswechsels befindet. Eine erste Öffnung der Impulsklappe kann daher schon erzielt werden zu einem Zeitpunkt, an dem die Saugphase durch Umkehrung der Bewegung des Kolbens noch nicht begonnen hat. Weiterhin geht aus [Fig. 4](#) hervor, dass der zweite Impulsmassenstrom durch die Impulsklappe kurz nach dem ersten Impulsmassenstrom in den Zylinder geführt wird. Der nachfolgende dritte Impulsmassenstrom dagegen erfolgt erst mit weiterem, längerem Kurbelwellenversatz. Insbesondere kann es vorteilhaft sein, wenn beispielsweise ein erster kurzer Impulsmassenstrom ausgelöst wird, gefolgt von einem größeren Impulsmassenstrom und anschließend von einem wieder kleinerem Impulsmassenstrom.

**[0044]** Bei dem in [Fig. 4](#) dargestellten Betriebspunkt weist die von [Fig. 2](#) bekannte Verbrennungskraftmaschine eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 1000 Umdrehungen/Minute auf.

**[0045]** [Fig. 5](#) zeigt einen ersten Druckverlauf P1 zwischen einer Impulsklappe und einem Einlassventil und einen zweiten Druckverlauf P2 eines Zylinder-

druckes in einem Betriebsbereich einer Verbrennungskraftmaschine entsprechend dem aus [Fig. 3](#). Zur besseren Übersicht ist dieser nochmals als [Fig. 7](#) mitangegeben. Beide Druckverläufe P1, P2 geben den jeweiligen Einfluß durch Öffnung und Schließung der Impulsklappe an. Wenn im Bereich des oberen Totpunktes beim Ladungswechsel, also etwa bei 360° Kurbelwinkel, das Einlassventil geöffnet wird und kurz darauf ebenfalls die Impulsklappe geöffnet wird, wird ein Druckstau vor der Impulsklappe aufgebaut. Daher fällt der erste Druckverlauf P1 auch ab und gleicht sich mit dem zweiten Druckverlauf P2 im Zylinder aus. Insbesondere erfolgt der Massenstromimpuls derart, dass innerhalb von wenigen Kurbelwinkelgraden dieser Ausgleich vollzogen ist, insbesondere innerhalb von weniger als 40° Kurbelwinkelumdrehung, vorzugsweise weniger als 30° Kurbelwinkelumdrehung. Aufgrund des vor einer Öffnung der Impulsklappe schon geöffneten Auslassventils weist der Druckverlauf P2 einen schwingungsähnlichen, langsam abnehmenden Verlauf auf, in den der erste Druckverlauf P1 einläuft.

**[0046]** Wie aus [Fig. 5](#) ersichtlich, ermöglicht der erste Massenstromimpuls eine Aufladung des Druckes im Zylinder. Diesem folgt auch der Druck im Saugrohr bis zur Impulsklappe. Bei Beginn des Schließens der Impulsklappe bei etwa 405° Kurbelwinkelumdrehung hat der Druck wieder eine Druckspitze, obwohl der Kolben aufgrund seiner Abwärtsbewegung sich in der Saugphase befindet und das Brennraumvolumen sich stetig vergrößert. Nachdem die Impulsklappe bei etwa 420° Kurbelwinkelumdrehung geschlossen ist, fällt der Druck jedoch wieder ab. Der Druckabfall erfolgt sehr steil und reißt erst dadurch wieder ab, dass die Impulsklappe erneut geöffnet wird. Dieses geschieht bei etwa 495° Kurbelwinkelumdrehung. Hierbei ist zu beachten, dass das Druckgefälle über die Impulsklappe sich derart aufgebaut hat, dass eine erneute Impulsaufladung zu einem Wiederansteigen der Druckverläufe P1, P2 trotz weiterer Brennraumzunahme durch den abwärtsfahrenden Kolben verursacht wird. Insbesondere weist die zweite Impulsaufladung eine derartige Stärke auf, dass dadurch ein Druckwert entsprechend der ersten Druckspitze erreicht wird. Auf diese Weise gelingt es bei der anschließenden Richtungsumkehr der Bewegung des Kolbens mit einem Druck einen Verdichtungshub beginnen zu können, der oberhalb des Umgebungsdruckes, insbesondere oberhalb von 1,3 bar, und vorzugsweise mindesten 1,5 bar beträgt.

**[0047]** Nachdem das Einlassventil wieder geschlossen wurde, nimmt der Druckverlauf P1 auch wieder seinen Eingangsdruck an.

**[0048]** [Fig. 6](#) zeigt einen Massenstromverlauf entsprechend zum Druckverlauf aus [Fig. 5](#) im gleichen Betriebsbereich. Dabei ist der Massenstrom aufgezeichnet, der durch das Einlassventil in den Zylinder

überströmt. Einerseits ist deutlich zu erkennen, dass schon kurz vor der ersten Öffnung der Impulsklappe durch die Öffnung des Einlassventils eine Massenstromfluß einsetzt. Dieser Massenstromfluß senkt sich jedoch wieder ab, da zu diesem Zeitpunkt die zwischen der Impulsklappe und dem Einlassventil befindliche Masse schon zum Großteil in den Zylinder eingeströmt ist. Dadurch entsteht an der Impulsklappe ein Unterdruck, wie er auch in [Fig. 5](#) ersichtlich ist. Jedoch wird durch den ersten Massenimpulsstrom aufgrund des Öffnens der Impulsklappe der Massenstrom wieder erhöht. Wird die Impulsklappe wieder geschlossen, entsteht zwischen dieser und dem Zylinder eine Schwingung. Diese Schwingung mit abnehmender Amplitude führt allerdings weiter zu einem Einströmen eines Massenstromes in den Zylinder.

**[0049]** Durch das zweite Öffnen der Impulsklappe ändert sich der Massenstrom jedoch wieder erheblich. Der Massenstrom erreicht dabei Werte, die mindestens doppelt so groß sind wie diejenigen während des ersten Massenstromimpulses. Insbesondere können Massenströme von mehr als 0,15 kg/s erreicht werden. Wird die Ventilklappe wieder geschlossen, beginnen die Schwingungen zwischen der Ventilklappe und dem Zylinder erneut. Dabei entstehen jedoch auch Massenströme, die aus dem Zylinder hin zur Impulsklappe fließen. Dieses wird insbesondere dadurch ermöglicht, dass zu diesem Zeitpunkt der Kolben seine Bewegungsrichtung umdreht und das Einlassventil noch nicht wieder vollständig geschlossen ist. Ist das Einlassventil geschlossen, endet auch die Massenstromschwingung.

### Patentansprüche

1. Verbrennungskraftmaschine (1) mit zumindest jeweils einem Einlass- (3) und einem Auslassventil (4), die einem Zylinder (2) zugeordnet sind, sowie einer Impulsklappe (6), die in einem Saugrohr (5) zwischen einem Sammler und dem Einlassventil (3) angeordnet ist und eine Steuerung hat, die eine Mehrfachöffnung der Impulsklappe (3) in einem Saughub des Zylinders (2) aufweist.

2. Verbrennungskraftmaschine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennfeld für ein Steuergerät (8) hinterlegt ist, das eine in Abhängigkeit von einem Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine (1) sich verschiebende Öffnung und Schließung der Impulsklappe (6) aufweist.

3. Verbrennungskraftmaschine (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Zeitdauer der Öffnung der Impulsklappe (6) vom Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine (1) abhängig ist.

4. Verfahren zu Steuerung einer Impulsklappe

(6), die vor einem Einlassventil (3) eines Zylinders (2) einer Verbrennungskraftmaschine (1) in einem Saugrohr (5) angeordnet ist, zur Erhöhung einer Zylinderladung, wobei während eines Saughubes des Zylinders (2) die Impulsklappe (6) zumindest in einem Betriebsbereich zumindest zweifach geöffnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsklappe (6) während des Saughubes des Zylinders (2) zumindest zweifach geöffnet und geschlossen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass mehrfach während eines Saughubes des Zylinders (2) ein impulsartiger Ansaugstau vor der Impulsklappe (6) erzeugt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein mehrfacher Einlassmassenstromimpuls erzeugt wird, dessen Integral über den Einlassmassenstrom größer ist im Vergleich zu einem einzelnen Einlassmassenstromimpuls gleicher Zeitdauer.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Druckspeicherung in einem Vorraum zwischen der Impulsklappe (6) und dem Einlassventil (3) angewendet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsklappe (6) geöffnet wird, wenn ein dem Einlassventil (3) zugeordnetes Auslassventil (4) geöffnet ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

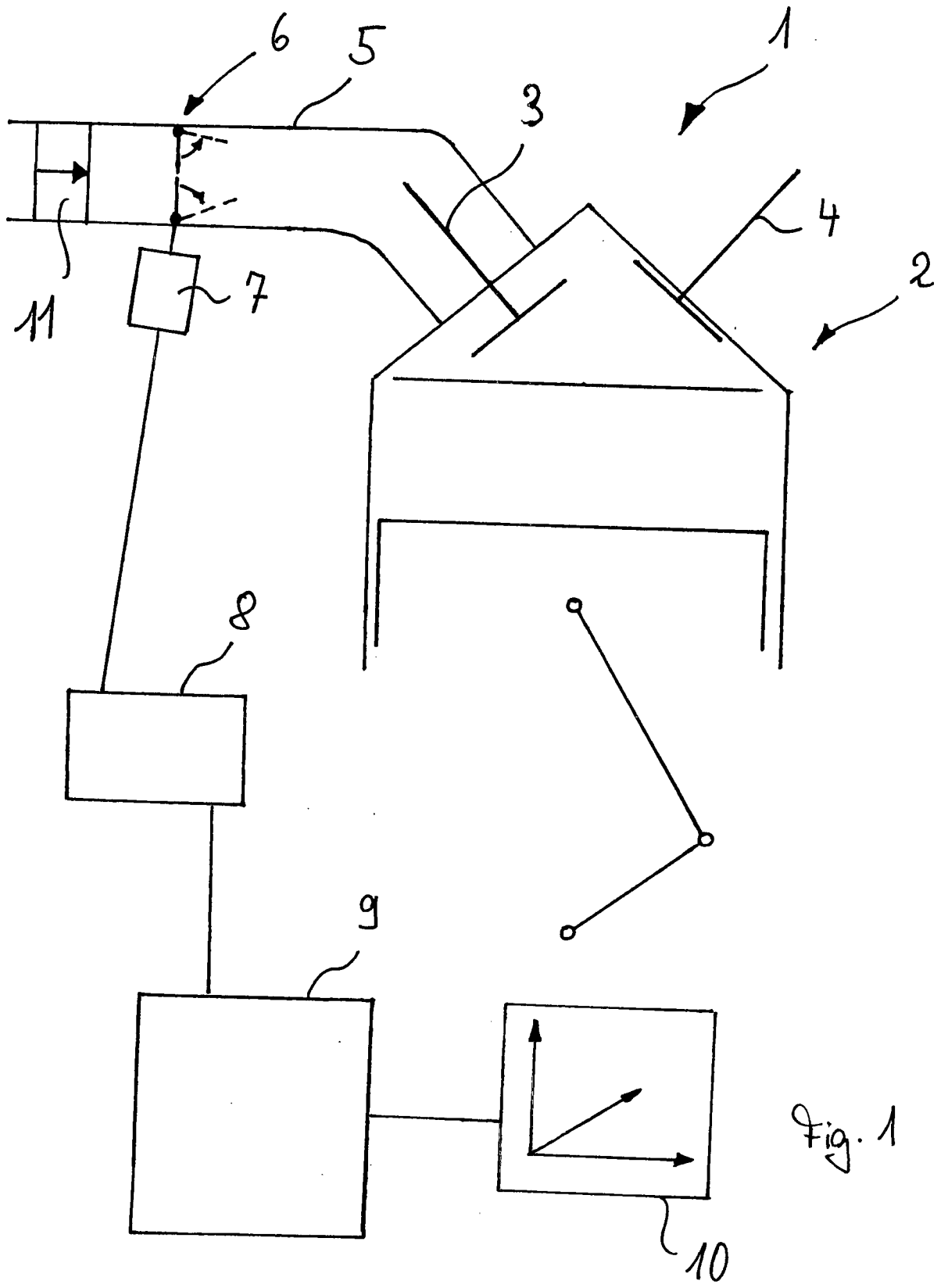


Fig. 1

