

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 001 143 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.05.2000 Patentblatt 2000/20

(51) Int Cl.7: **F01L 9/04**, F01L 9/02,
F01L 1/14, F01L 1/24

(21) Anmeldenummer: 99121736.5

(22) Anmeldetag: 03.11.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- Trzmiel, Alfred
72661 Grafenberg (DE)
- Maisch, Dieter
72585 Riederich (DE)
- Panowitz, Herbert
72636 Frickenhausen (DE)

(30) Priorität: 12.11.1998 DE 19852209

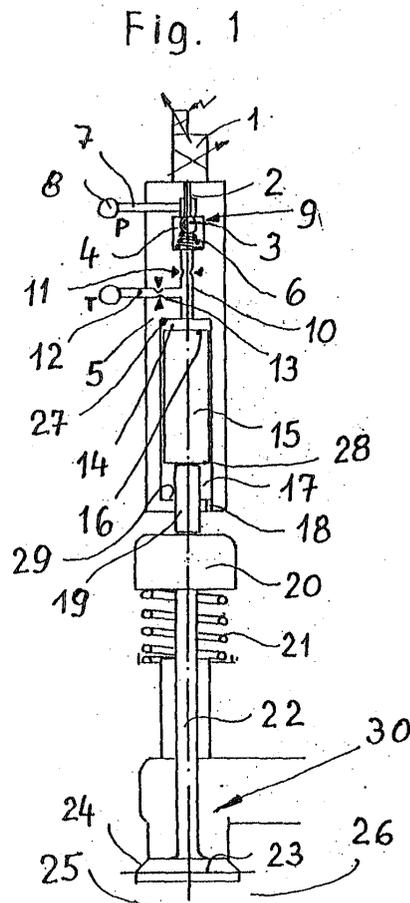
(71) Anmelder: **Hydraulik Ring GmbH**
09212 Limbach-Oberfrohna (DE)

(74) Vertreter: **Kohl, Karl-Heinz**
Patentanwälte
Dipl.-Ing. A.K. Jackisch-Kohl
Dipl.-Ing. K.H. Kohl
Stuttgarter Strasse 115
70469 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Tischer, Dieter**
73240 Wendlingen (DE)

(54) **Ventilsteuerung für Ein- und Auslassventile von Verbrennungsmotoren**

(57) Die Ventilsteuerung hat ein Stellelement (15), mit dem das Ein/Auslaßventil (30) geöffnet und geschlossen wird. Um die Ventilsteuerung so auszubilden, daß anstelle eines aufwendigen Servoventiles eine einfache und zuverlässige Betätigung bei hohen Schaltfrequenzen möglich ist, so daß die Ventilsteuerung auch für hochdrehende Verbrennungsmotoren einsetzbar ist, weist die Ventilsteuerung ein Piezoelement (1) auf, mit dem ein Ventilelement (3) betätigt wird. Es steuert den Zu- und Abfluß eines Druckmediums zu einem Steuerkolben (15), der mittels des Druckmediums gegen eine Gegenkraft zum Öffnen des Ein/Auslaßventiles (30) verschiebbar ist.



EP 1 001 143 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Ventilsteuerung für Ein- und Auslaßventile von Verbrennungsmotoren nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

[0002] Bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren erfolgt die Steuerung der Hubbewegungen der Einlaß- und Auslaßventile durch eine von der Kurbelwelle im Drehzahlverhältnis 2:1 angetriebene Nockenwelle. Die Hubkurve des Ventiles ist für den gesamten Bereich des Kennfeldes proportional dem Nockenverlauf und damit unveränderlich. Der Schließpunkt des Einlaßventiles ist, bedingt durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeit im Saugrohr, nicht optimal gelegt. Der Einlaß- bzw. Öffnungspunkt kann ebenso nicht optimal gelegt werden. Die Werte für bestmögliche Füllung der Verbrennungskammer bei hohen Drehzahlen und dem Zylinder-Abgasgehalt bei niedrigen Drehzahlen und im Leerlauf stehen einander diametral gegenüber. Der Öffnungspunkt bzw. Auslaßbeginn wird deshalb meistens so gewählt, daß die Ausschleiberluste minimiert sind und das Gas in der Lage ist, maximale Arbeit zu verrichten.

[0003] Zur Vermeidung der vorgenannten Abstimmungen, die immer Kompromisse sind, wurden Ventilsteuerungen entwickelt, um Steuerzeiten, Hubverläufe der Ein- und Auslaßventile in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, der Last und anderen Einflußgrößen beeinflussen und verändern zu können. Der Verlauf des Ventilhubes kann damit durch Variationen der Phasenlage, des Ventilhubes oder der Ventilöffnungsdauer beeinflusst bzw. verändert werden. Derartige Maßnahmen können einzeln oder in Kombination eingesetzt werden, um am Ottomotor einerseits den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen zu reduzieren sowie andererseits den Drehmomentverlauf zu verbessern und die Maximalleistung zu steigern. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Möglichkeit, die angesaugte Luftmenge durch Veränderung des Ventilöffnungsquerschnitts zu beeinflussen und damit eine drosselfreie Laststeuerung ohne Drosselklappe zu ermöglichen.

[0004] Bei Mehrventiltechnik kann eine solche Beschaltung vorgenommen werden, daß die angesaugte Ladung nur über ein Einlaßventil strömt und damit deren Menge beeinflusst wird. Eine Zylinderabschaltung durch Beeinflussung der Einlaß- und Auslaßventile kann gleichfalls verwirklicht werden, wobei die befeuerten Zylinder durch das Ausblenden von Einspritzungen und Verbrennungsluft im besten Wirkungsgradbereich arbeiten können. Mit moderner Motorelektronik kann die Zylinderabschaltung zyklisch (selektiv) wechseln, um das Auskühlen der Zylinderwand zu vermeiden.

[0005] Die vorgenannten Möglichkeiten zur Beeinflussung und Veränderung von Parametern werden unter dem Begriff "variable Ventilsteuerung" zusammengefaßt. Entsprechend der Ventilbetätigungsart wird zwischen direkt und indirekt betätigten Systemen unterschieden.

[0006] Bei den indirekt betätigten Systemen sind zwei Lösungen bekannt, nämlich die Verwendung einer variablen Nockenwelle oder eines variablen Zwischenelementes. Bei direkt betätigten Systemen sind grundsätzlich drei Möglichkeiten bekannt, bei denen die Betätigung des Ventiles hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch erfolgt. Eine Nockenwelle entfällt in diesen Fällen.

[0007] Im Hydrauliksystem wird die Energie ähnlich wie beim sogenannten Common Rail System gespeichert und durch schnelle Magnet- oder Servoventile den Stellkolbenflächen zugeführt oder von ihnen abgeführt, mit denen ihrerseits die Ein- und Auslaßventile betätigt werden. Solche Systeme sind für den Einsatz in langsam laufenden Dieselmotoren bekannt.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die gattungsgemäße Ventilsteuerung so auszubilden, daß anstelle eines aufwendigen Servoventiles eine einfache und zuverlässige Betätigung bei hohen Schaltfrequenzen möglich ist, so daß die Ventilsteuerung auch für hochdrehende Verbrennungsmotoren einsetzbar ist.

[0009] Diese Aufgabe wird bei der gattungsgemäßen Ventilsteuerung erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

[0010] Bei der erfindungsgemäßen Ventilsteuerung wird als Stellelement ein piezoelektrischer Aktor eingesetzt. Mit ihm wird ein massearmes Ventilelement betätigt, welches den Zu- und Abfluß des Druckmediums zum und vom Stellkolben steuert, durch dessen Hub die Ein- und Auslaßventile des Verbrennungsmotors geöffnet und geschlossen werden. Piezoelektrische Aktoren setzen elektrische Spannungen direkt in Wege und Kräfte um. Die Umsetzung der elektrischen Eingangsgröße in eine mechanische Ausgangsgröße erfolgt extrem schnell. Stellhube von beispielsweise 40 µm (0,04 mm) können in einer Stellzeit von 50 µs (0,000.05 sec) erfolgen. Die Auflösung des Stellwegs ist bei geeigneter elektrischer Ansteuerung im Nanometerbereich (0,0001 mm) möglich. Stellkräfte werden im Kilonewtonbereich erreicht, das heißt es handelt sich um Stellglieder mit sehr hoher mechanischer Steifigkeit.

[0011] Im hochdynamischen Bereich ist einerseits die Verfügbarkeit von geeigneten Leistungsverstärkern eine wesentliche Voraussetzung, um den Ansteuerungsverlauf und die Reaktion der Ein- und Auslaßventile zu synchronisieren. Andererseits ist der Durchflußquerschnitt am Sitzventil entsprechend groß zu dimensionieren. Dies erfolgt bei einer vorteilhaften Ausbildung der erfindungsgemäßen Ventilsteuerung durch Vergrößerung des Hubs auf einen Wert, für den der verfügbare Stellweg des piezoelektrischen Wandlers nicht ausreicht. Es werden deshalb Stellwegvergrößerer eingesetzt, die vorteilhaft nach dem Hebelprinzip arbeiten und die den nutzbaren Stellweg des Ventilelementes beispielsweise bis zum Faktor $\ddot{u} = 10$ vergrößern können.

[0012] Bei der erfindungsgemäßen Ventilsteuerung können in vorteilhafter Weise nach Maßgabe des Motormanagements die Öffnungs- und Schließzeitpunkte

für die Ein/Auslaßventile die Dauer der Öffnungszeiten bedarfsgerecht bestimmt werden.

[0013] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

[0014] Die Erfindung wird anhand einiger in den Zeichnungen dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 bis 3 jeweils in schematischer Darstellung verschiedene Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäßen Ventilsteuerungen, die mit konstantem Hub arbeiten,

Fig. 4 in schematischer Darstellung den Aufbau eines Hubübersetzers zwischen einem Piezoelement und einem Sitzventil der erfindungsgemäßen Ventilsteuerung,

Fig. 5 in schematischer Darstellung eine Ventilsteuerung durch Nockenwelle (ohne dargestellte Kipphebel) nach dem Stand der Technik,

Fig. 6 bis 8 jeweils in schematischer Darstellung weitere Ausführungsformen von erfindungsgemäßen Ventilsteuerungen, die mit variablem Hub arbeiten,

Fig. 9 einen Schnitt durch eine Ventilsteuerung mit Wirkprinzip entsprechend Fig. 1, jedoch mit zusätzlicher Hebelübersetzung,

Fig. 9a in vereinfachter Darstellung einen Teil eines herkömmlichen Nockenwellenantriebs (ohne dargestellte Kipphebel),

Fig. 9b und 9c in zwei Diagrammen den Hub eines Ventils eines Verbrennungsmotors in Abhängigkeit von der Zeit bei Einsatz der erfindungsgemäßen Ventilsteuerung,

Fig. 10 im Axialschnitt eine erfindungsgemäße Ventilsteuerung mit Wirkprinzip entsprechend Fig. 2, jedoch mit zusätzlicher Hebelübersetzung,

Fig. 11 in vergrößerter Darstellung einen Teil der Ventilsteuerung gemäß Fig. 10,

Fig. 12 im Axialschnitt eine erfindungsgemäße Ventilsteuerung mit Wirkprinzip gemäß Fig. 3, jedoch mit zusätzlicher Hebelübersetzung,

5 Fig. 13

10 Fig. 14

Fig. 15

15

Fig. 16 und 17

20 Fig. 18 bis 21

25

30

35

40

45

50

55

mäße Ventilsteuerung mit Wirkprinzip gemäß Fig. 3, jedoch mit zusätzlicher Hebelübersetzung,

eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Ventilsteuerung mit Wirkprinzip entsprechend Fig. 6, jedoch mit zusätzlicher Hebelübersetzung,

einen Schnitt längs der Linie XIV-XIV in Fig. 13,

einen Schnitt längs der Linie XV-XV in Fig. 13,

jeweils in vergrößerter Darstellung einen Teil der Ventilsteuerung gem. Fig. 14,

verschiedene Diagramme, die die Möglichkeit der Variierung des Ventilhubes, der Öffnungsdauer, der Phasenlage und der Kombination dieser Parameter zeigen.

[0015] Anhand der Fig. 1 bis 8 werden unterschiedliche Ausführungsformen von Ventilsteuerungen in ihrer Wirkungsweise beschrieben. Die Fig. 9 bis 21 zeigen dann konkrete Ausbildungen solcher Ventilsteuerungen und zugehörige Kennlinien.

[0016] Die im folgenden beschriebenen Ventilsteuerungen ermöglichen hohe Steuerfrequenzen, so daß diese Ventilsteuerungen auch bei hochdrehenden Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können.

[0017] Die Ventilsteuerung gemäß Fig. 1 hat als Stellglied ein Piezoelement 1, dessen Stößel 2 auf ein Ventilelement 3 einwirkt, das als Ventilkugel ausgebildet ist. Das Ventilelement 3 liegt in einer Ventilkammer 4 eines Ventilgehäuses 5. Das Ventilelement 3 steht unter der Kraft einer Druckfeder 6, mit der das Ventilelement 3 bei stromlosem Piezoelement 1 in einer Schließstellung gehalten ist. Das Ventilelement 3 wird durch die Druckfeder 6, die eine kegelförmige Schraubendruckfeder ist, nach oben gegen den Ventilsitz gedrückt. In dieser Schließstellung verschließt das Ventilelement 3 eine Druckleitung 7, über die Hydraulikmedium von einer Druckquelle 8 aus zugeführt wird. Das Ventilelement 3 und die Ventilkammer 4 sind Teil eines Zweibege-Sitzventiles 9, an das eine Zuführleitung 10 für Hydraulikmedium angeschlossen ist. Sie ist mit wenigstens einer Drosselstelle 11 versehen. In die Zuführleitung 10 mündet eine Tankleitung 12, in der ebenfalls eine Drosselstelle 13 liegt. Die Zuführleitung 10 verbindet die Ventilkammer 4 mit einem Druckraum 14, der im Ventilgehäuse 5 vorgesehen ist und in dem sich ein Stellkolben 15 befindet, dessen eine Stirnfläche 16 mit Hydraulikmedium beaufschlagbar ist. Auf der dem Druckraum 14 gegenüberliegenden Seite befindet sich ein Zylinderraum

17, der über wenigstens eine Öffnung 18 mit der Atmosphäre verbunden ist. In den Zylinderraum 17 ragt ein Stößel 19, der mit einem Tassenstößel 20 zusammenwirkt. Er steht unter der Kraft wenigstens einer Druckfeder 21, die über einen Ventilschaft 22 den Tassenstößel 20 und damit den bolzenförmigen Stößel 19 in Richtung auf den Stellkolben 15 belastet (siehe auch Fig. 9). Am Tassenstößel 20 liegt der Ventilschaft 22 an, der am freien Ende mit einem Ventilteller 23 versehen ist. Mit ihm wird eine Ein- bzw. Auslaßöffnung 24 einer Verbrennungskammer 25 eines Verbrennungsmotors 26 eines Kraftfahrzeuges geöffnet und geschlossen.

[0018] In der in Fig. 1 dargestellten Lage ist das Piezoelement 1 stromlos, so daß der Stößel 2 zurückgefahren ist. Das Ventilelement 3 liegt unter der Kraft der Druckfeder 6 an seinem Ventilsitz an und schließt die Druckleitung 7. Unter der Kraft der Druckfeder 21 wird über den Ventilschaft 22 der Tassenstößel 20 und damit der Stößel 19 in Richtung auf den Stellkolben 15 belastet. Dieser wird durch den Stößel 19 so weit verschoben, bis der Ventilteller 23 des Ein/Auslaßventiles des Verbrennungsmotors 26 die Ein/Auslaßöffnung 24 der Verbrennungskammer 25 schließt. In dieser Stellung hat die dem Zweiwege-Sitzventil 9 zugewandte Stirnseite 16 des Stellkolbens 15 Abstand vom Boden 27 des Druckraums 14, in den die Zuführleitung 10 mündet.

[0019] Wird das Piezoelement 1 durch eine (nicht dargestellte) Steuerung bestromt, wird durch seinen Stößel 2 das Ventilelement 3 gegen die Kraft der Druckfeder 6 vom Ventilsitz abgehoben. Das Hydraulikmedium kann dann über die Druckleitung 7, die Ventilkammer 4 und die Zuführleitung 10 in den Druckraum 14 strömen. Ein Teil dieses Hydraulikmediums strömt über die Tankleitung 12, die im Bereich zwischen der Ventilkammer 4 und dem Druckraum 14 an die Zuführleitung 10 anschließt, zum Tank. Die beiden Drosselstellen 11, 13 in der Zuführleitung 10 und in der Tankleitung 12 sind so aufeinander abgestimmt, daß im Druckraum 14 durch das Hydraulikmedium der zum Verschieben des Stellkolbens 15 erforderliche Druck aufgebracht werden kann. Die durch den erforderlichen Druck bewirkte Kraft muß größer sein als die von der Druckfeder 21 auf den Tassenstößel 20 ausgeübte Gegenkraft, damit der Stellkolben 15 gegen die Kraft der Druckfeder 21 verschoben wird, wobei über den Stößel 19, den Tassenstößel 20 und den Ventilschaft 22 der Ventilteller 23 in seine Offenstellung verschoben wird. Der Stellkolben 15 wird so weit verschoben, bis er mit seiner Stirnfläche 28 am Boden 29 des Zylinderraumes 17 anschlägt. Auf diese Weise wird die Ein/Auslaßöffnung 24 geöffnet.

[0020] Wird das Piezoelement 1 wieder stromlos, so wird das Ventilelement 3 unter der Kraft der Feder 6 in seine Schließstellung gemäß Fig. 1 zurückgeführt. Dadurch wird die Druckmittel-Zufuhr aus Leitung 7 zum Druckraum 14 gesperrt, und die Druckfeder 21 kann jetzt den Tassenstößel 20 und den Stößel 19 gegen den Stellkolben 15 verschieben und diesen in Richtung auf das 2-Wege-Sitzventil 9. Dadurch wird das im Druck-

raum 14 befindliche Druckmedium über die Leitung 10, die Drossel 13 und die Leitung 12 zum Tank verdrängt. Nimmt der Stellkolben 15 seine Ausgangsstellung gemäß Fig. 1 ein, verschließt der Ventilteller 23 die Ein/Auslaßöffnung 24 der Verbrennungskammer 25.

[0021] Das Piezoelement 1 kann mit sehr hoher Frequenz betrieben werden, so daß der beschriebene Öffnungs- und Schließvorgang des Ein/Auslaßventils 30 in der geforderten hohen Steuerfrequenz erfolgen kann. Die Ventilsteuerung ist somit für Verbrennungsmotoren geeignet, die mit hohen Drehzahlen arbeiten. Auf die beschriebene Weise werden sämtliche Ventile 30 des Verbrennungsmotors 26 betätigt.

[0022] Das Ein/Auslaßventil 30 wird in der Offenstellung und in der Schließstellung jeweils über eine vom Motormanagement vorgegebene Zeitdauer gehalten. Dadurch ergeben sich für das Ein/Auslaßventil 30 vier zyklisch sich wiederholende Betriebszustände, nämlich öffnen, offen halten, schließen und geschlossen halten.

[0023] Fig. 9 zeigt ein konkretes Ausführungsbeispiel der Ausführungsform nach Fig. 1. Das Piezoelement 1 liegt im Ventilgehäuse 5 neben dem Stellkolben 15 und dem Ventilelement 3. Das Piezoelement 1 liegt in einem Aufnahmeraum 31 des Ventilgehäuses 5 und ist durch Federn 32, vorzugsweise durch Tellerfedern, im Aufnahmeraum 31 vorgespannt. Das Piezoelement 1 wirkt mit einem zweiarmigen Hebel 33 zusammen, der in einem Gehäuseraum 34 schwenkbar gelagert ist. Der eine Hebelarm wirkt mit dem Piezoelement zusammen, während am anderen Hebelarm der das Ventilelement 3 betätigende Stößel 2 an einer Justierschraube 82 angreift. Mit ihr lassen sich die Hublagen des Piezoelementes 1 und des Stößels 2 aufeinander abstimmen. Der Stößel 2 ist durch ein Lager 35 geführt, so daß er zuverlässig verschoben werden kann.

[0024] Der Stellkolben 15 befindet sich im Bereich zwischen dem Zweiwege-Sitzventil 9 und dem Piezoelement 1. Wird das Piezoelement 1 bestromt und damit gelängt, wird der Hebel 33 um seine senkrecht zur Achse des Piezoelementes 1 liegende Achse 36 entgegen dem Uhrzeigersinn geschwenkt. Dadurch wird der Stößel 2 nach unten verschoben, wodurch das Ventilelement 3 gegen die Kraft der Druckfeder 6 in die Offenstellung verschoben wird. Die Druckleitung 7 wird geöffnet, so daß das unter Druck stehende Hydraulikmedium über die Drosselstelle 11 in den Druckraum 14 strömen kann. Der Stellkolben 15 wird dadurch nach unten verschoben. Über den Stößel 19 und den Tassenstößel 20 wird der Ventilschaft 22 gegen die Kraft der Druckfeder 21 verschoben, so daß der Ventilteller 23 vom Ventilsitz abhebt und die Ein/Auslaßöffnung 24 in die Verbrennungskammer 25 freigibt. In dieser Offenstellung bleibt das Piezoelement nach Maßgabe des Motormanagements bestromt. In diesem statischen Betrieb ist ein nahezu leistungsloses Halten der angefahrenen Position des Stellkolbens 15 möglich. Sobald das Piezoelement wieder stromlos ist und sich dadurch verkürzt, wird das Ventilelement 3 durch die Druckfeder 6 in seine

Schließstellung bewegt und die Verbindung von der Druckleitung 7 zum Druckraum 14 unterbrochen. Der Druckraum 14 steht jetzt nur noch über die Drosselstelle 13 mit dem Tank in Verbindung. Über den Stößel 2 wird der Hebel 33 im Uhrzeigersinn um die Achse 36 geschwenkt. Die Schwenkbewegung endet mit dem Schließen des Ventilelementes 3. Der Ventilschaft 22 wird durch die Druckfeder 21 nach oben verschoben, wodurch über den Tassenstößel 20 und den Stößel 19 der Kolben 15 aufwärts verschoben wird. Das im Druckraum 14 befindliche Hydraulikmedium wird über die Drosselstelle 13 und die Tankleitung 12 in der beschriebenen Weise zum Tank verdrängt. In dieser Schließstellung bleibt das Piezoelement nach Maßgabe des Motormanagements unbestromt.

[0025] Der Tassenstößel 20 befindet sich in einem Aufnahmeraum 37 des Verbrennungsmotors 26. Das Ventilgehäuse 5 ist auf dem Verbrennungsmotor 26 befestigt. Der Aufnahmeraum 37 wird durch das Ventilgehäuse 5 geschlossen.

[0026] Da das Piezoelement 1 im Bereich neben dem Zweibege-Sitzventil 9 und dem Stellkolben 15 angeordnet ist, hat das Ventilgehäuse 5 nur eine geringe Bauhöhe. Hierzu trägt bei, daß auch der Stellkolben 15 im Bereich neben dem Zweibege-Sitzventil 9 angeordnet ist. Der Hebel 33 dient als Übersetzungshebel, der die sehr kleinen Wege des Piezoelementes 1 über den längeren Hebelarm in ausreichend große Verschiebewege des Stößels 2 übersetzt.

[0027] Fig. 9a zeigt eine herkömmliche Ventilsteuerung mittels einer Nockenwelle 39. Der Übersichtlichkeit wegen ist der zwischen Nockenwelle 39 und Tassenstößel 20 liegende Kipphebel nicht dargestellt. Die Nocken 40 der Nockenwelle 39 wirken mit den Tassenstößeln 20 der Ein/Auslaßventile in bekannter Weise zusammen. Der durch den Nocken 40 erzielte Hub des Ventilschaftes 22 hat die gleiche Größe wie bei der beschriebenen Ventilsteuerung gemäß den Fig. 1 und 9.

[0028] Fig. 9b zeigt mit ausgezogenen Linien, daß mit der nockenwellenlosen Ventilsteuerung das Ein/Auslaßventil 30 schneller geöffnet und geschlossen werden kann als mit der herkömmlichen Nockenwellensteuerung (gestrichelte Linie in Fig. 9b). Mit der gepunkteten Linie wird die Möglichkeit dargestellt, bei der nockenwellenlosen Ventilsteuerung die Öffnungsdauer des Ein/Auslaßventils 30 zu variieren. Fig. 9c zeigt die Möglichkeit, bei der nockenwellenlosen Ventilsteuerung auch die Phasenlage (ausgezogene und gepunktete Linie) und dabei auch die Öffnungsdauer zu variieren (gepunktete Linie).

[0029] Die Fig. 2 und 10 zeigen eine Ventilsteuerung, die im Vergleich zum Ausführungsbeispiel nach den Fig. 1 und 9 höhere Steuerfrequenzen zuläßt. Das Ventil 9' ist im Unterschied zum vorigen Ausführungsbeispiel ein Dreiwegeventil mit zwei Sitzen. Fig. 2 zeigt wiederum den Zustand bei stromlosem Piezoelement 1. Das Ventilelement 3 liegt unter der Kraft der Druckfeder 6 an einem oberen Ventilsitz 41 an (Fig. 11). Die Tankleitung

12 mündet im Unterschied zum vorigen Ausführungsbeispiel in einen unteren Ventilsitz 42 des Dreiwegeventils 9'. Fig. 11 zeigt das Dreiwegeventil der Fig. 10 in vergrößerter Darstellung.

[0030] Zum Öffnen des Ein/Auslaßventils 30 wird das Piezoelement 1 bestromt und dehnt sich dadurch aus. Der zweiarmige Hebel 33 wird dadurch um die Achse 36 entgegen dem Uhrzeigersinn geschwenkt, wodurch der Stößel 2 nach unten gegen die Kraft der Druckfeder 6 verschoben wird, bis er am unteren Ventilsitz 42 anliegt. Dadurch wird die Tankleitung 12 geschlossen, so daß das über die Druckleitung 7 strömende Medium ausschließlich über die Zuführleitung 10 in den Druckraum 14 gelangt. Dadurch wird die Stirnfläche 16 des Stellkolbens 15 mit Druckmedium beaufschlagt, so daß er in der beschriebenen Weise nach unten verschoben wird und über den Stößel 19 und den Tassenstößel 20 den Ventilschaft 22 verschiebt. Dadurch wird in der beschriebenen Weise das Ein/Auslaßventil 30 geöffnet und im Bedarfsfall in geöffneter Stellung gehalten.

[0031] Zum Schließen des Ein/Auslaßventils 30 wird das Piezoelement 1 stromlos geschaltet und verkürzt sich auf seine ursprüngliche Länge. Das Ventilelement 3 wird durch die Druckfeder 6 zum oberen Ventilsitz 41 verschoben, wodurch die Druckleitung 7 geschlossen und die Tankleitung 12 geöffnet wird. Dadurch kann das Hydraulikmedium aus dem Druckraum 14 über die Zuführleitung 10 in die Tankleitung 12 strömen. Durch die Druckentlastung des Druckraumes 14 wird das Ein/Auslaßventil 30 in der bereits beschriebenen Weise geschlossen und im Bedarfsfall in geschlossener Stellung gehalten.

[0032] Der untere Ventilsitz 42 des Dreiwegeventiles 9' ist an einem Einsatzstück 43 vorgesehen (Fig. 11), das seinerseits in einem weiteren Einsatzstück 44 gehalten ist. Es ist in einen Einbauraum 45 des Ventilgehäuses 5 eingepreßt. Das freie Ende des Einsatzstückes 44 ist nach innen gebördelt, wodurch das in ihm befindliche Einsatzstück 43 gehalten wird.

[0033] Das Dreiwegeventil 9' bildet ein Wechselventil. Das Ventilelement 3 hat dementsprechend zwei Sitzteile 83 und 85, mit denen es abwechselnd am oberen Ventilsitz 41 und am unteren Ventilsitz 42 anliegt. Der obere Sitzteil 83 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel teilkugelförmig ausgebildet, kann aber auch konische Form haben. Der Sitzteil 83 hat etwa Halbkugelform. An ihn schließt ein Ansatz 84 an, auf den die Druckfeder 6 mit ihrem oberen Ende aufgeschoben ist. Der Ansatz 84 erweitert sich vom oberen Sitzteil 83 aus konisch. Am Übergang vom Ansatz 84 in den oberen Sitzteil 83 wird eine Stufe gebildet. Der Durchmesserunterschied zwischen dem Ansatz 84 und dem Sitzteil 83 entspricht der doppelten Drahtstärke der Druckfeder 6. Dadurch steht das obere Ende der Druckfeder 6 nicht radial über den Sitzteil 83 vor. Da der Ansatz 84 konisch ausgebildet ist, hat auch die Druckfeder 6 konische Form. Die Druckfeder 6 liegt mit ihrem oberen Endbereich am Mantel des Ansatzes 84 an. Da der Ansatz 84

und die Druckfeder 6 konisch ausgebildet sind und sich vom Sitzteil 83 aus erweitern, ist eine Axialsicherung für die Druckfeder 6 auf dem Ansatz 84 gegeben. Dadurch wird die Montage dieses Ventiles 9' erleichtert. Der untere Sitzteil 85 ist wiederum teilkugelförmig ausgebildet und hat einen maximalen Durchmesser, der dem maximalen Durchmesser des Ansatzes 84 entspricht. Der Sitzteil 85 kann auch konisch ausgebildet sein. Der größte Durchmesser des Ansatzes 84 bzw. des unteren Sitzteiles 85 ist kleiner als der größte Durchmesser des oberen Sitzteiles 83. Dementsprechend hat der untere Sitzteil 85 einen kleineren Sitzdurchmesser als der obere Sitzteil 83, so daß der obere Ventilsitz 41 größeren Durchmesser hat als der untere Ventilsitz 42. Der obere Ventilsitz 41 wird vom Stößel 2 axial durchdrungen. Die dadurch entstehende Ringfläche 81 (Fig. 11) des oberen Ventilsitzes 41 ist annähernd flächengleich wie die Kreisfläche 88 (Fig. 11) des unteren Ventilsitzes 42. Das Ventilelement 3 läßt sich kostengünstig aus einer Kugel fertigen. In diesem Falle haben der obere und der untere Sitzteil 83, 85 einen gemeinsamen Krümmungsmittel.

[0034] Die Ventilsteuerung nach den Fig. 2, 10 und 11 ist im übrigen gleich ausgebildet wie die vorige Ausführungsform (Fig. 1 und 9). Jedoch können mit dieser Ventilsteuerung die Ein/Auslaßventile noch rascher geöffnet und geschlossen werden, wie die entsprechenden Diagramme unterhalb von Fig. 11 zeigen (ausgezogene und gepunktete Linien). Im Vergleich dazu sind mit gestrichelten Linien die Schließ- und Öffnungszeiten herkömmlicher Nockenwellen-Ventilsteuerungen dargestellt. Wie bereits anhand der Fig. 9b und 9c erläutert, kann die Phasenlage und die Öffnungsdauer in gleicher Weise verändert werden.

[0035] Die Fig. 3 und 12 zeigen eine Ventilsteuerung mit Endlagendämpfung des Stellkolbens 15. Die Ventilsteuerung hat das Piezoelement 1, mit dem der Stößel 2 zur Betätigung des Ventilelementes 3 in der beschriebenen Weise verschoben wird. Die Verbindung zwischen dem Piezoelement 1 und dem Stößel 2 erfolgt bei einem konkreten Ausführungsbeispiel (Fig. 12) wiederum über den zweiarmigen Hebel 33, mit dem bei Bestromung des Piezoelementes 1 der Stößel 2 verschoben wird und das Ventilelement 3 entsprechend verschiebt. Das Ventil 9" ist entsprechend dem vorigen Ausführungsbeispiel (Fig. 11) als Dreiwegeventil mit zwei Ventilsitzen ausgebildet. Ist das Piezoelement 1 nicht bestromt, liegt das Ventilelement 3 unter der Kraft der Druckfeder 6 am oberen Ventilsitz 41 an. Die Druckleitung 7 ist dadurch von der Zuführleitung 10 getrennt. Wird das Piezoelement 1 bestromt, wird der Hebel 33 entgegen dem Uhrzeigersinn um seine Achse 36 geschwenkt, wodurch der Stößel 2 verschoben wird und das Ventilelement 3 vom oberen Ventilsitz 41 abhebt, bis es am unteren Ventilsitz 42 anliegt. Dadurch kann das Hydraulikmedium von der Druckleitung 7 über die Ventilkammer 4 in die Zuführleitung 10 gelangen. Von der Zuführleitung 10 zweigt eine Querleitung 46 ab, in der ein in Richtung auf den Stellkolben 15 öffnendes

Rückschlagventil 47 sitzt. Die Querleitung 46 mündet in den Druckraum 14.

[0036] Die Stirnfläche 16 des Stellkolbens 15 ist mit einem Drosselquerschnitt 48 versehen, der im Ausführungsbeispiel als diametral verlaufende, im Querschnitt dreieckige Vertiefung ausgebildet ist. Auch die gegenüberliegende Stirnfläche 28 des Stellkolbens 15 ist mit einem Drosselquerschnitt 49 versehen, der ebenfalls vorteilhaft als im Querschnitt dreieckförmige, diametral verlaufende Vertiefung ausgebildet ist. Der Stellkolben 15 liegt mit seiner Stirnfläche 28 wie bei den vorigen Ausführungsformen am Stößel 19 an, der entsprechend den vorhergehenden Ausführungsbeispielen einen kleineren Querschnitt hat als die Stirnfläche 28 des Stellkolbens 15. Über den Stößel 19 werden der Tassenstößel 20 und der Ventilschaft 22 in der beschriebenen Weise verschoben.

[0037] Die Zuführleitung 10 mündet in einen Ringkanal 50, der in der Wandung des Kolbenraumes 51 vorgesehen ist. Ein weiterer Ringkanal 52 in der Wandung des Kolbenraumes 51 ist im Zylinderraum 17 vorgesehen. Dieser Ringkanal 52 ist über eine Rückführleitung 53 mit der Tankleitung 12 verbunden. Der Zylinderraum 17 ist über eine Querleitung 54 mit einem Rückschlagventil 55 verbunden, das die Querleitung 54 von der Rückführleitung 53 trennt und das in Richtung auf die Querleitung 54 öffnet.

[0038] Zum Öffnen des Ein/Auslaßventiles 30 wird das Piezoelement 1 bestromt. Der Stößel 2 wird über den Hebel 33 verschoben, wodurch das Ventilelement 3 vom Sitz 41 abgehoben und am gegenüberliegenden Ventilsitz 42 zur Anlage gebracht wird. Dadurch wird die Druckleitung 7 geöffnet, so daß das Hydraulikmedium über die Ventilkammer 4, die Zuführleitung 10, die Querbohrung 46 und das Rückschlagventil 47 in den Druckraum 14 strömen kann. Da das Ventilelement 3 am Ventilsitz 42 anliegt, wird die Verbindung zur Tankleitung 12 geschlossen. Das Hydraulikmedium gelangt über die Zuführleitung 10 auch in den Ringkanal 50, der zunächst durch den Stellkolben 15 verschlossen ist. Der Stellkolben 15 wird durch das in den Druckraum 14 strömende Hydraulikmedium nach unten verschoben. Im Gegensatz zu den beiden vorigen Ausführungsbeispielen befindet sich im unteren Zylinderraum 17 Hydraulikmedium. Es wird beim Verschieben des Stellkolbens 15 über den Ringkanal 52 und die Rückführleitung 53 in die Tankleitung 12 verdrängt. Die Stirnfläche 28 befindet sich zunächst noch mit Abstand zum Ringkanal 52. Überfährt der Stellkolben 15 mit seiner Stirnfläche 28 die Steuerkante 56 des Ringkanals 52, kommt der Drosselquerschnitt 49 in der Kolbenstirnfläche 28 mit dem Ringkanal 52 in Wirkverbindung. Da sich die Vertiefung 49 in Richtung auf die Kolbenstirnfläche 28 stetig vergrößert, tritt bei der Abwärtsbewegung des Stellkolbens 15 nach Überfahren der Steuerkante 56 infolge des zunehmend kleiner werdenden wirksamen Drosselquerschnittes und des geschlossenen Rückschlagventiles 55 eine Drosselwirkung auf, die zu einem Dämpfungs-

effekt bei der Abwärtsbewegung des Stellkolbens 15 führt. Aufgrund dieses sich stetig verkleinernden Durchflußquerschnittes für das Hydraulikmedium baut sich im Zylinderraum 17 ein Druck im Medium auf, der der Abwärtsbewegung des Stellkolbens 15 entgegenwirkt und so die Dämpfung durch Geschwindigkeitsreduzierung bewirkt. Das Rückschlagventil 55, das über die Querleitung 54 mit dem Zylinderraum 17 verbunden ist, schließt gegen die Rückführleitung 53 und damit die Tankleitung 12.

[0039] Zum Schließen des Ein/Auslaßventiles 30 wird das Piezoelement 1 wieder stromlos geschaltet und dadurch verkürzt. Das Ventilelement 3 wird durch die Druckfeder 6 in der beschriebenen Weise vom Ventilsitz 42 abgehoben und gegen den Ventilsitz 41 gedrückt. Dadurch ist die Druckleitung 7 gegen die Zuführleitung 10 geschlossen. Gleichzeitig wird somit die Tankleitung 12 geöffnet. Über die Druckfeder 21 werden der Ventilschaft 22 und der Tassenstößel 20 aufwärts verschoben. Über den Stößel 19 wird der Stellkolben 15 mitgenommen. Er verdrängt das Hydraulikmedium aus dem Druckraum 14 in den Ringkanal 50, über den das Hydraulikmedium über die Ventilkammer 4 in die Tankleitung 12 gelangt. Sobald die Kolbenstirnfläche 16 die Steuerkante 57 (Fig. 12) des Ringkanals 50 überfährt, tritt der Drosselquerschnitt 48 in der Kolbenstirnfläche 16 in Wirkverbindung mit der Steuerkante 57 des Ringkanals 50. Mit zunehmendem Aufwärtshub wird der Drosselquerschnitt für den Durchfluß des Hydraulikmediums in den Ringkanal 50 stetig verkleinert, wodurch sich im Druckraum 14 ein Druck aufbaut, welcher der Aufwärtsbewegung des Stellkolbens 15 entgegenwirkt und die Dämpfung bewirkt. Das Rückschlagventil 47 verhindert, daß das Hydraulikmediums beim Aufwärtshub des Stellkolbens 15 aus dem Druckraum 14 in die Zuführleitung 10 gelangt.

[0040] Die beschriebene Ausführungsform zeichnet sich dadurch vorteilhaft aus, daß der Stellkolben 15 in beiden Endlagen gedämpft wird. Dadurch arbeitet diese Ventilsteuerung sehr geräuscharm. Das Dreiwegeventil 9" ist im übrigen gleich ausgebildet wie bei der vorigen Ausführungsform. Auch bei dieser Ventilsteuerung liegen das Dreiwegeventil 9", der Stellkolben 15 und das Piezoelement 1 mit Abstand nebeneinander im Ventilgehäuse 5. Dieses hat dadurch nur eine geringe Bauhöhe.

[0041] Wie die Fig. 1 bis 3 schematisch zeigen, ist es auch möglich, den Stößel 2 unmittelbar durch das Piezoelement 1 zu betätigen, so daß ein Übersetzungshebel 33 entfällt. Der Einsatz eines Übersetzungshebels hat den Vorteil, daß je nach Übersetzungsverhältnis der Hub des Ventilelementes 3 vergrößert werden kann. Dadurch können unterschiedliche Durchflußquerschnitte erzielt werden.

[0042] Wie ein Vergleich der Fig. 3 und 5 zeigt, wird bei den Ventilsteuerungen nach den Fig. 1 bis 3 bzw. 9 bis 12 der gleiche Hub 80 erreicht wie bei Verwendung einer herkömmlichen Nockenwellensteuerung (Fig. 5).

Somit kann die nockenwellenlose Ventilsteuerung anstelle der Nockenwellen-Ventilsteuerung eingesetzt werden.

[0043] Fig. 4 zeigt schematisch die Möglichkeit, mit dem Piezoelement 1 über einen Stößel 58 auf einen einarmigen Übersetzungshebel 59 zu wirken. Der Stößel 58 greift in einem Abstand 60 von einer Schwenkachse 61 am Hebel 59 an. Das freie Ende des Hebels 59 wirkt auf den Stößel 2, mit dem das Ventilelement 3 in der beschriebenen Weise verschoben wird. Das freie Hebelende hat den Abstand 62 von der Schwenkachse 61. Über die beiden Abstände 60, 62 wird das gewünschte Übersetzungsverhältnis bestimmt.

[0044] Bei den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen ist der Stellkolbenhub und damit der Hub des Ein/Auslaßventiles 30 unveränderbar.

[0045] Die Fig. 6 und 13 bis 21 zeigen eine Ausführungsform, bei der dieser Ventilhub verändert werden kann. Die Ventilsteuerung hat zwei Piezoelemente 1, 1a, mit denen zwei Stößel 2, 2a betätigt werden, um zwei Ventilelemente 3, 3a zweier Sitzventile 9, 9a zu verschieben. Die beiden Ventilelemente 3, 3a stehen jeweils unter der Kraft wenigstens einer Druckfeder 6, 6a. In die Ventilkammer 4a des Sitzventiles 9a mündet die Druckleitung 7. Bei stromlosem Piezoelement 1a ist die Druckleitung 7 über das geschlossene Ventilelement 3a von der Zuführleitung 10 getrennt, die in den Druckraum 14 mündet. Von der Zuführleitung 10 zweigt eine Verbindungsleitung 63 ab, die in die Ventilkammer 4 des Sitzventiles 9 mündet. Bei nichtbestromtem Piezoelement 1 ist die Ventilkammer 4 mit der Tankleitung 12 verbunden.

[0046] Fig. 6 zeigt die Situation, wenn die beiden Piezoelemente 1, 1a stromlos und damit die Ein/Auslaßventile 30 geschlossen sind. Soll das Ein/Auslaßventil 30 den maximalen Öffnungshub ausführen (Normalhub und Überhub), werden beide Piezoelemente 1, 1a bestromt. Dadurch werden die beiden Stößel 2, 2a verschoben. Mit dem Stößel 2 wird das Ventilelement 3 gegen die Kraft der Feder 6 in seine Schließstellung bewegt, in der es die Tankleitung 12 verschließt. Mit dem Stößel 2a wird das Ventilelement 3a in eine Offenstellung bewegt, so daß das Hydraulikmedium über die Druckleitung 7 und die Ventilkammer 4a in die Zuführleitung 10 strömen kann. Das Hydraulikmedium gelangt dadurch in den Druckraum 14 und verschiebt den Stellkolben 15 nach unten. Über den Stößel 19 und den Tassenstößel 20 wird der Ventilschaft 22 verschoben und auf diese Weise das Ein/Auslaßventil 30 geöffnet. Der Stellkolben 15 wird so weit verschoben, bis er am Boden 29 des Zylinderraums 17 zur Anlage kommt. Damit entspricht der Hub des Stellkolbens 15 und somit des Ventils 30 dem Normalhub zuzüglich einem Überhub.

[0047] Wenn das Motormanagement es erfordert, kann der Stellkolben 15 und damit auch das Ventil 30 lediglich um den normalen oder jeden beliebigen anderen Hub verstellt werden. Hierzu werden beide Piezoelemente 1, 1a bestromt und das Piezoelement 1a nach

einer hubbestimmenden Zeit stromlos gemacht, so daß das Ventilelement 3a durch die Kraft der Druckfeder 6a in seine Schließstellung bewegt wird. Dadurch ist die Druckleitung 7 von der Zuführleitung 10 getrennt. Gleichzeitig bleibt das Piezoelement 1 bestromt und dadurch das Ventil 3 geschlossen und das Volumen im Druckraum 14 gekammert. Das jetzt im Vergleich zum vorstehenden Vorgang geringere Flüssigkeitsvolumen des in den Druckraum eingeströmten Hydraulikmediums bestimmt somit den Hub des Stellkolbens 15 und damit auch den Hub des Ein/Auslaßventiles 30, da das Piezoelement 1 weiterhin bestromt wird und dadurch die Leitung 63 zum Tank 12 geschlossen bleibt. Das im Druckraum 14 befindliche Flüssigkeitsvolumen bleibt dadurch eingeschlossen (gekammert), das Ventil 30 ist weniger weit geöffnet, so daß eine entsprechend kleinere Menge an Kraftstoff-Luft-Gemisch in die Verbrennungskammer des Verbrennungsmotors gelangt.

[0048] Soll das Ein-/Auslaßventil 30 geschlossen werden, wird das Piezoelement 1 stromlos geschaltet. Die Druckfeder 6 hebt das Ventilelement 3 von seinem Ventilsitz 66 ab, wodurch das im Druckraum 14 befindliche Hydraulikmedium über die Zuführleitung 10 und die geöffnete Ventilkammer 4 in die Tankleitung 12 verdrängt werden kann.

[0049] Wie die Fig. 16 und 17 zeigen, liegen das Ventilelement 3 und die Druckfeder 6 in einer Buchse 64, die in einen Einbauraum 65 des Ventilgehäuses 5 eingepreßt ist. Der für das Ventilelement 3 vorgesehene Ventilsitz 66 ist am Einsatzstück 43 vorgesehen, das im wesentlichen gleich ausgebildet ist wie bei der Ausführungsform nach den Fig. 10 und 11. Die Druckfeder 6 hält das Ventilelement 3 bei nichtbestromtem Piezoelement 1 in der Offenstellung, die in Fig. 17 dargestellt ist. Das Einsatzstück 43 wird durch das umgebördelte Ende 67 der Buchse 64 axial gesichert. Eine zentrale Axialbohrung 68 des Einsatzstückes 43 ist durch ein Verschlusselement 69, vorzugsweise eine Kugel, geschlossen.

[0050] Das Ventilelement 3a ist ebenfalls in einer Buchse 70 aufgenommen (Fig. 16), deren unteres Ende 71 umgebördelt ist. Das Ventilelement 3a wird durch die Druckfeder 6a nach oben gegen einen Ventilsitz 72 gedrückt, den der Stößel 2a axial durchdringt und damit eine für den Durchfluß erforderliche Ringfläche 81 erzeugt.

[0051] Die beiden Sitzventile 9, 9a liegen beiderseits des Stellkolbens 15 und achsparallel zu ihm. Dadurch hat das Ventilgehäuse 5 eine nur geringe axiale Höhe.

[0052] Der Zylinderraum 17 ist, wie Fig. 14 zeigt, über die Entlüftungsleitung 18 mit der Atmosphäre verbunden, so daß der Stellkolben 15 zum Öffnen des Ein/Auslaßventils 30 zuverlässig verschoben werden kann.

[0053] Zum Öffnen des Ein/Auslaßventils 30 werden beide Piezoelemente 1, 1a bestromt. Die Größe des Hubes des Stellkolbens 15 und damit des Ein/Auslaßventiles 30 hängt davon ab, nach welcher Zeit ab Öffnungsbeginn das Piezoelement 1a nicht mehr bestromt wird

und somit kein Hydraulikmedium mehr in den Druckraum 14 strömen kann. In Abhängigkeit von der Bestromungszeit des Piezoelementes 1a läßt sich somit der Hub des Ein/Auslaßventiles 30 stufenlos steuern.

[0054] Für die Schließbewegung des Ein/Auslaßventiles 30 kann, wie dies anhand der Fig. 3 und 12 erläutert worden ist, eine Dämpfung vorgesehen sein. Sie ist in diesem Fall gleich ausgebildet wie bei diesem Ausführungsbeispiel.

[0055] Bei den beschriebenen Ausführungsbeispielen kann im Gegensatz zu einer Nockenwellensteuerung die Phasenlage bezüglich des Öffnens und Schließens der Ein/Auslaßventile 30 verändert werden. Dies ist dadurch möglich, daß die den Ein/Auslaßventilen 30 zugeordneten Piezoelemente zum gewünschten Zeitpunkt be- oder entstromt werden. Beim Ausführungsbeispiel nach den Fig. 6 und 13 bis 17 kann in der beschriebenen Weise zusätzlich auch die Größe des Öffnungshubes des Ein/Auslaßventiles 30 variiert werden.

[0056] Fig. 18 zeigt Hubkennlinien der anhand des Ausführungsbeispiels nach den Fig. 6 und 14 bis 17 beschriebenen Möglichkeit, den Öffnungshub des Ein/Auslaßventiles 30 zu variieren.

[0057] Fig. 19 zeigt anhand von Kennlinien, daß die Öffnungsdauer des Ein/Auslaßventiles 30 in der beschriebenen Weise verändert werden kann. Aus den Kennlinien in Fig. 20 ergibt sich, daß zusätzlich auch die Phasenlage in der beschriebenen Weise eingestellt werden kann. Fig. 21 schließlich zeigt Kennlinien für das Ausführungsbeispiel nach den Fig. 6 und 13 bis 17, in welchen die drei Einstellmöglichkeiten gemäß den Fig. 18 bis 20 in Kombination angewendet werden können. Dabei können der Ventilhub, die Öffnungsdauer und die Phasenlage verändert werden. Dieses Ausführungsbeispiel stellt eine vollvariable Steuerung der Ein/Auslaßventile 30 dar.

[0058] Die Stößel 2, 2a können direkt durch die Piezoelemente 1, 1a betätigt werden, wie dies schematisch in Fig. 6 dargestellt ist. Es ist aber auch möglich, zwischen dem Stößel 2, 2a und dem Piezoelement 1, 1a jeweils einen Übersetzungshebel 59, 59a vorzusehen, um den Öffnungs- und Schließhub des Ventilelementes 3, 3a bei vorgegebenem Piezohub zu vergrößern. Beim schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 sind die Übersetzungshebel 59, 59a einarmige Hebel. Im Abstand 60 von der Schwenkachse 61, 61a der Hebel 59, 59a greift an ihnen der Stößel 58, 58a entsprechend der Ausführungsform gemäß Fig. 4 an. Am freien Ende der Hebel 59, 59a, das sich im Abstand 62 von der jeweiligen Schwenkachse 61, 61a befindet, greift der Stößel 2, 2a an. Wie beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 liegen die Stößel 2, 58 und 2a, 58a auf einander gegenüberliegenden Seiten des Hebels 59, 59a. Über das Verhältnis der Abstände 60 und 62 zueinander kann das Übersetzungsverhältnis bestimmt werden.

[0059] Bei der Ausführungsform nach Fig. 8 sind die Hebel 33, 33a zweiarmige Hebel, die unterschiedlich lange Hebelarme 86,87 aufweisen. Am kürzeren Hebel-

arm 87 greifen die Stößel 58, 58a der Piezoelemente 1, 1a an. Auf der gleichen Seite der Hebel 33, 33a greifen an den freien Enden der längeren Hebelarme 86 die Stößel 2, 2a an. Über das Verhältnis der Länge der Hebelarme zueinander läßt sich ebenfalls das Übersetzungsverhältnis festlegen.

[0060] Da bei der Ausführungsform nach Fig. 8 die beiden Stößel 2, 58; 2a, 58a auf derselben Seite der Hebel 33, 33a liegen, ergibt sich eine geringe Bauhöhe 73. Die zweiarmigen Hebel 33, 33a liegen, wie dies anhand der Ausführungsform nach den Fig. 13 bis 17 im einzelnen erläutert wird, räumlich versetzt zueinander, so daß das Ventilgehäuse 5 nur entsprechend geringe Abmessungen aufweist.

[0061] Bei der Ausführungsform nach Fig. 7 ist die Bauhöhe größer als beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 8, weil die Piezoelemente 1, 1a mit ihren Stößeln 58, 58a auf der einen und die Stößel 2, 2a mit den Ventilen 9, 9a auf der anderen Seite der Hebel 59, 59a sitzen. In Fig. 7 ist die Bauhöhe der Piezoelemente 1, 1a mit den Stößeln 58, 58a mit 74 und die Bauhöhe der Sitzventile 9, 9a mit den Stößeln 2, 2a und den Schwenkhebeln 59, 59a mit 75 bezeichnet. Es ist erkennbar, daß die Gesamtbauhöhe 74, 75 etwa doppelt so groß ist wie die Gesamtbauhöhe 73 beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 8.

[0062] Bei der Ausführungsform nach den Fig. 6 und 13 bis 17 liegen die beiden zweiarmigen Hebel 33, 33a im Gehäuseraum 34, der durch einen Gehäusedeckel 76 geschlossen ist. Die beiden Hebel 33, 33a sind versetzt zueinander angeordnet und liegen jeweils unter einem spitzen Winkel zu einer Längsmittalebene 77 des Ventilgehäuses 5. In Seitenansicht gesehen liegen die beiden Hebel 33, 33a einander überlappend mit geringem Abstand hintereinander. Die Schwenkachsen 36, 36a liegen parallel zueinander. Am freien Ende des kürzeren Hebelarmes greifen die Stößel 58, 58a der beiden Piezoelemente 1, 1a an. An den freien Enden der längeren Hebelarme liegen die Stößel 2, 2a an, mit denen die Ventilelemente 3, 3a in der beschriebenen Weise betätigt werden.

[0063] Die beiden Piezoelemente 1, 1a liegen in getrennten Gehäuseräumen 78, 79 (Fig. 15). Im Bereich zwischen den beiden Gehäuseräumen 78, 79 befindet sich der Zylinderraum 17 mit dem Kolben 15. Durch das Verhältnis der Länge der Hebelarme des jeweiligen Hebels 33, 33a wird das Übersetzungsverhältnis bestimmt. Auf diese Weise kann sehr einfach der geringe Bewegungsweg des piezoseitigen Stößels 58, 58a in den erforderlichen Verstellweg des Stößels 2, 2a übersetzt werden, um das jeweilige Ventilelement 3, 3a zuverlässig mit dem erforderlichen Hub in die entsprechende Offen- bzw. Schließstellung zu verschieben.

Patentansprüche

1. Ventilsteuerung für Ein- und Auslaßventile von Ver-

brennungsmotoren, mit mindestens einem Stellelement, mit dem das Ein/Auslaßventil geöffnet und geschlossen wird,

dadurch gekennzeichnet, daß die Ventilsteuerung wenigstens ein Piezoelement (1, 1', 1a) aufweist, mit dem wenigstens ein Ventilelement (3, 3a) betätigt wird, das den Zu- und Abfluß eines Druckmediums zu mindestens einem Stellkolben (15) steuert, der mittels des Druckmediums gegen eine Gegenkraft zum Öffnen des Ein/Auslaßventiles (30) verschiebbar ist.

2. Ventilsteuerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ventilelement (3, 3a) Teil eines Sitzventiles (9, 9', 9a) ist, das den Zufluß des Druckmediums von einer Druckleitung (7) zum Stellkolben (15) steuert.

3. Ventilsteuerung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Sitzventil (9, 9') über eine vorteilhaft mit einer Tankleitung (12) leitungsverbundene Zuführleitung (10) mit einem Druckraum (14) verbindbar ist, der durch den Stellkolben (15) begrenzt ist, und daß vorzugsweise die Zuführleitung (10) und/oder die Tankleitung (12) mit einer Drosselstelle (11, 13) versehen sind.

4. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Stellkolben (15) über einen Stößel (19) mit einem vorteilhaft über einen Tassenstößel (20) mit dem Stößel (19) zusammenwirkenden Ventilschaft (22) des Ein/Auslaßventils (30) zusammenwirkt.

5. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der dem Druckraum (14) gegenüberliegende Zylinderraum (17) über die Verbindung (18) mit der Atmosphäre verbunden ist.

6. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführleitung (10) über wenigstens ein Sitzventil (9, 9') mit der Tankleitung (12) verbindbar ist.

7. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung des Stellkolbens (15) in wenigstens einer, vorzugsweise in beiden Endlagen gedämpft ist.

8. Ventilsteuerung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Stellkolben (15) in wenigstens einer, vorzugsweise in beiden Stirnflächen (16, 28) wenigstens einen Drosselquerschnitt (48, 49), vorzugsweise eine diametral verlaufende Vertiefung, aufweist, und daß vorteilhaft dem Drosselquerschnitt (48, 49) ein vorzugsweise mit der Tankleitung (12) verbindbarer Ringkanal (50, 52) in der Wandung des Stellkolbeneinbaurau-

mes (51) zugeordnet ist.

9. Ventilsteuerung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei Überfahren einer Steuerkante (56, 57) des Ringkanals (50, 52) durch die Stirnfläche (16, 28) des Stellkolbens (15) entsprechend dem abnehmenden Durchlaßquerschnitt ein der Bewegung des Stellkolbens (15) entgegengerichteter Druck im Druckraum (14) bzw. im Zylinderraum (17) aufgebaut wird, die vorteilhaft gegen die Tankleitung (12) durch ein Rückschlagventil (47, 55) verschließbar sind.
10. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Piezoelement (1, 1', 1a) und dem mit dem Ventilelement (3, 3', 3a) zusammenwirkenden Stößel (2, 2', 2a) ein vorteilhaft als schwenkbarer Hebel ausgebildeter Übersetzer (33, 33'; 59, 59a) vorgesehen ist.
11. Ventilsteuerung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Hebel (33, 33') zweiarmig ausgebildet ist, wobei vorteilhaft das Piezoelement (1, 1a) und der Stößel (2, 2a) auf derselben Seite an jeweils einem Arm des Hebels (33, 33a) angreifen.
12. Ventilsteuerung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Hebel (59, 59a) einarmig ausgebildet ist, wobei vorteilhaft das Piezoelement (1, 1a) und der Stößel (2, 2a) auf gegenüberliegenden Seiten am Hebel (59, 59a) angreifen.
13. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Piezoelemente (1, 1a) vorgesehen sind, mit denen zwei Sitzventile (9, 9a) betätigbar sind, die vorzugsweise an eine gemeinsame Zuführleitung (10) für Druckmedium angeschlossen sind, die in den Druckraum (14) mündet.
14. Ventilsteuerung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei stromlosen Piezoelementen (1, 1a) das eine Sitzventil (9) geöffnet und das andere Sitzventil (9a) geschlossen ist, und daß vorzugsweise das Ventilelement (3) des geöffneten Sitzventils (9) durch den Stößel (2) des einen Piezoelementes (1) bei dessen Bestromung in seine Schließstellung verstellbar ist, in der die Zuführleitung (10) von der Tankleitung (12) getrennt ist.
15. Ventilsteuerung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Ventilelement (3a) des geschlossenen Sitzventils (9a) durch den Stößel (2a) des anderen Piezoelementes (1a) bei dessen Bestromung in seine Offenstellung verstellbar ist, in der die Druckleitung (7) mit der in den Druckraum (14) mündenden Zuführleitung (10) verbunden ist.
16. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei zeitlich ausreichender Bestromung beider Piezoelemente (1, 1a) der Stellkolben (15) und damit das angetriebene Ein/Auslaßventil (30) seinen maximalen Hub ausführt und dort gehalten werden kann.
17. Ventilsteuerung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß zum Halten des Stellkolbens (15) in der maximalen Offenstellung beide Sitzventile (9, 9a) geschlossen werden.
18. Ventilsteuerung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß zum Halten des Stellkolbens (15) in der maximalen Offenstellung das eine Sitzventil (9) geschlossen und das andere Sitzventil (9a) geöffnet wird.
19. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei zeitlich kürzerer Bestromung der beiden Piezoelemente (1, 1a) der Stellkolben (15) einen im Vergleich zum Maximalhub kleineren Hub ausführt, und daß vorteilhaft zum Halten des Stellkolbens (15) bei verringertem Öffnungshub beide Sitzventile (9, 9a) geschlossen werden.
20. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Piezoelemente (1, 1a) über jeweils einen Übersetzer (33, 33a), vorzugsweise einen zweiarmigen Hebel, mit den Stößeln (2, 2a) zusammenwirken.
21. Ventilsteuerung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Übersetzer (33, 33a), in Richtung ihrer Schwenkachsen (36, 36a) gesehen, einander überlappend angeordnet sind.
22. Ventilsteuerung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Übersetzer (33, 33a) in Reihe liegen
23. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Übersetzer (33, 33a) parallel zueinander und vorteilhaft unter einem spitzen Winkel zu einer Längsmittlebene (77) eines Ventilgehäuses (5) liegen.

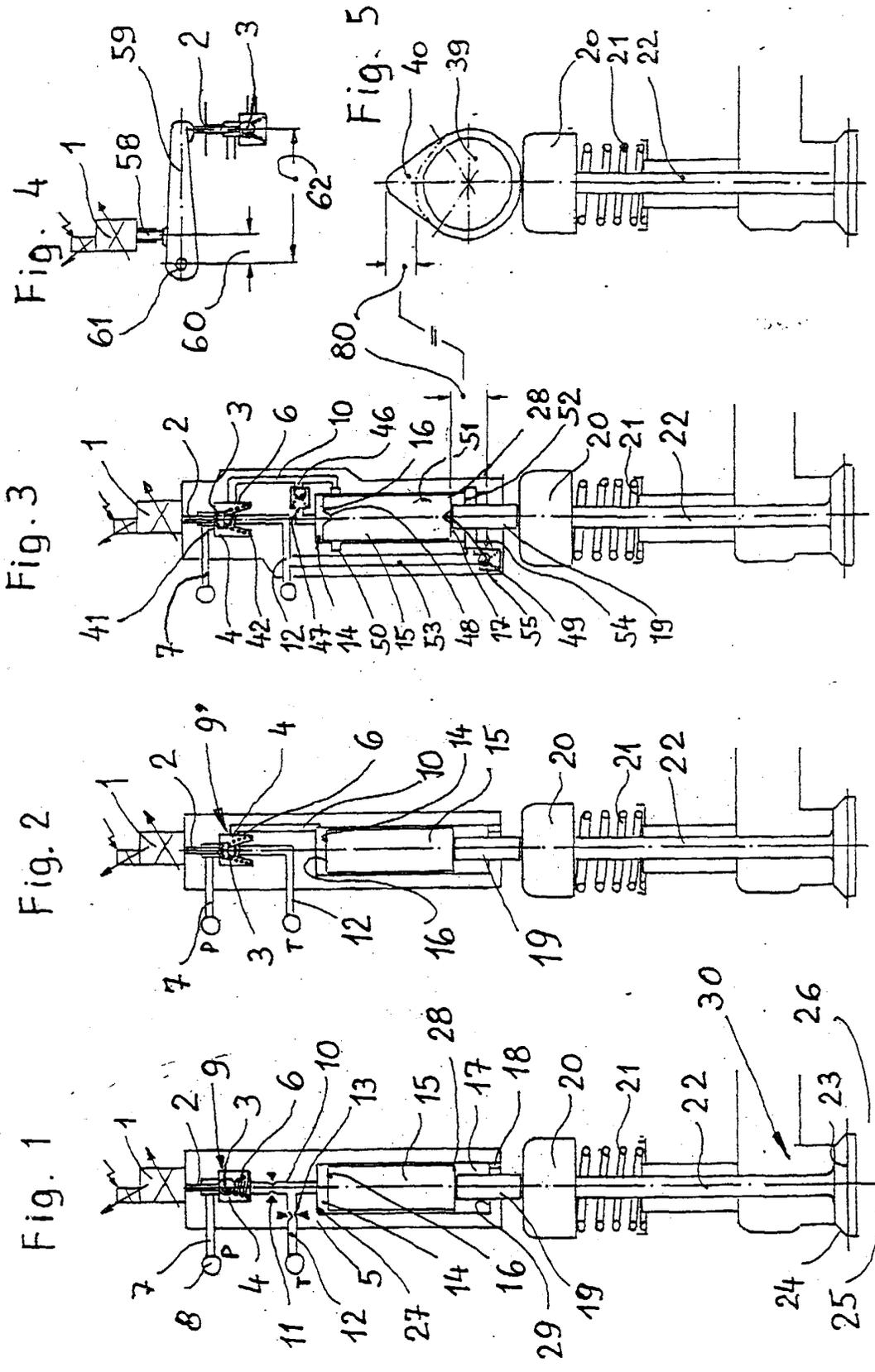
24. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 2 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Sitzventil (9') ein Wechselventil ist. 5
25. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß das vorteilhaft aus einer Kugel gefertigte Ventilelement (3, 3a) einen vorzugsweise teilkugelförmig oder konisch ausgebildeten Sitzteil (83) aufweist, von dem ein im Querschnitt kleinerer Ansatz (84) absteht. 10
26. Ventilsteuerung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckfeder (6, 6a) auf den sich vorteilhaft vom Sitzteil (83) aus konisch erweiternden Ansatz (84) des Ventilelementes (3, 3a) aufgeschoben ist. 15
27. Ventilsteuerung nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß am Übergang vom Ansatz (84) in den Sitzteil (83) der Durchmesserunterschied der doppelten Drahtstärke der Druckfeder (6, 6a) entspricht. 20
28. Ventilsteuerung nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß am freien Ende des Ansatzes (84) ein weiterer, vorzugsweise teilkugelförmig oder konisch ausgebildeter Sitzteil (85) vorgesehen ist. 25 30
29. Ventilsteuerung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Sitzteil (85) kleineren Sitzdurchmesser hat als der andere Sitzteil (83). 35

40

45

50

55



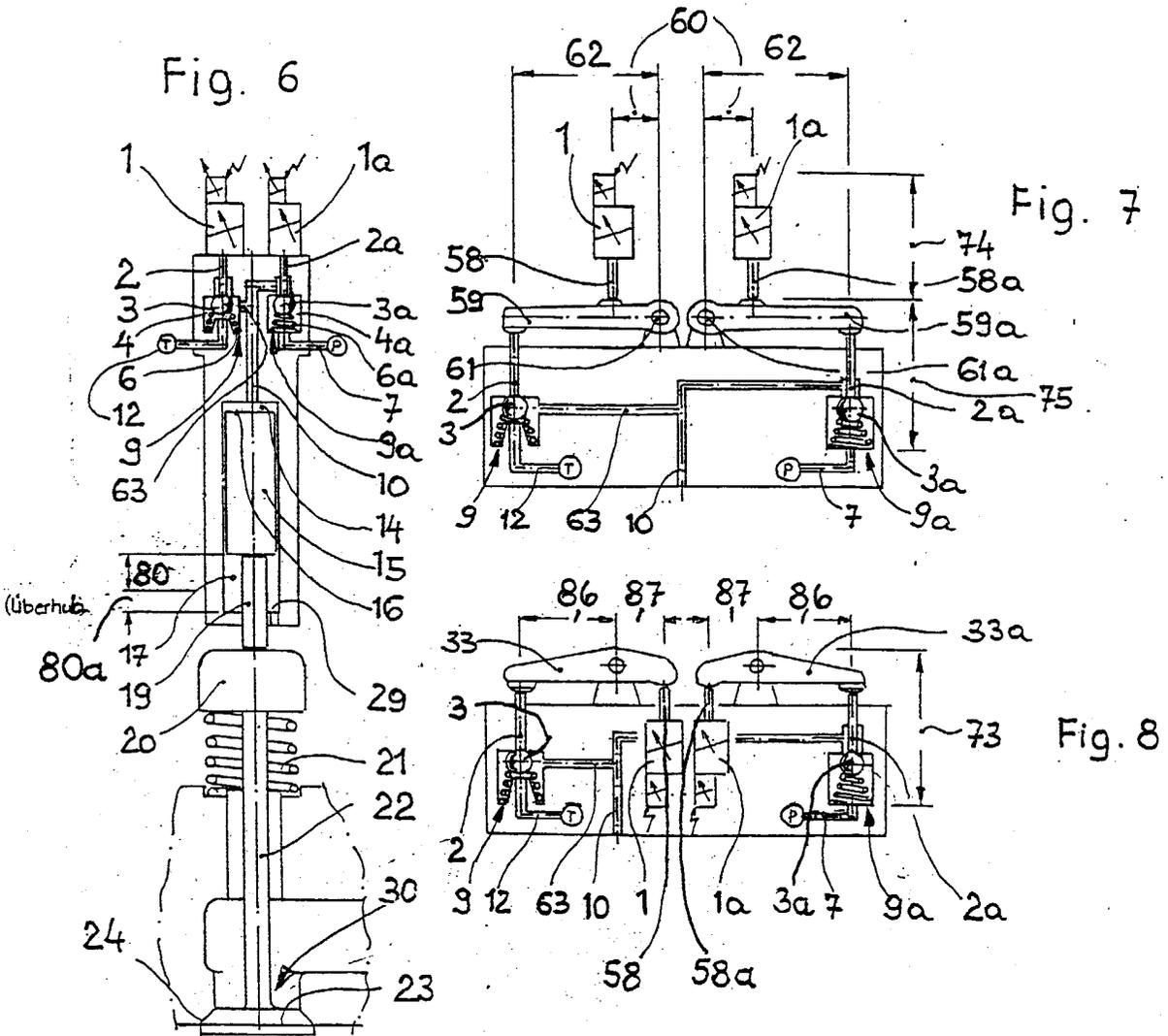


Fig. 9

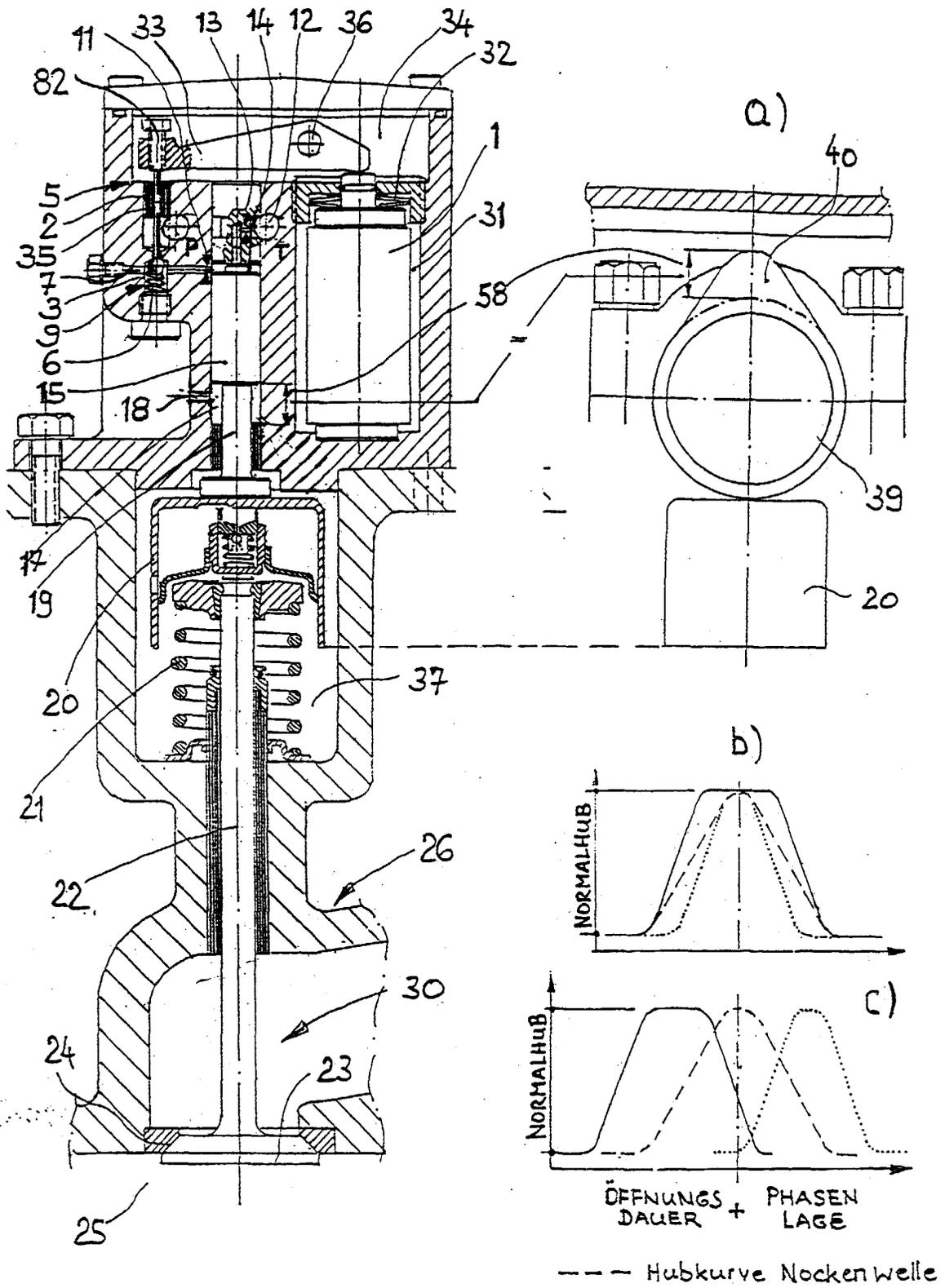
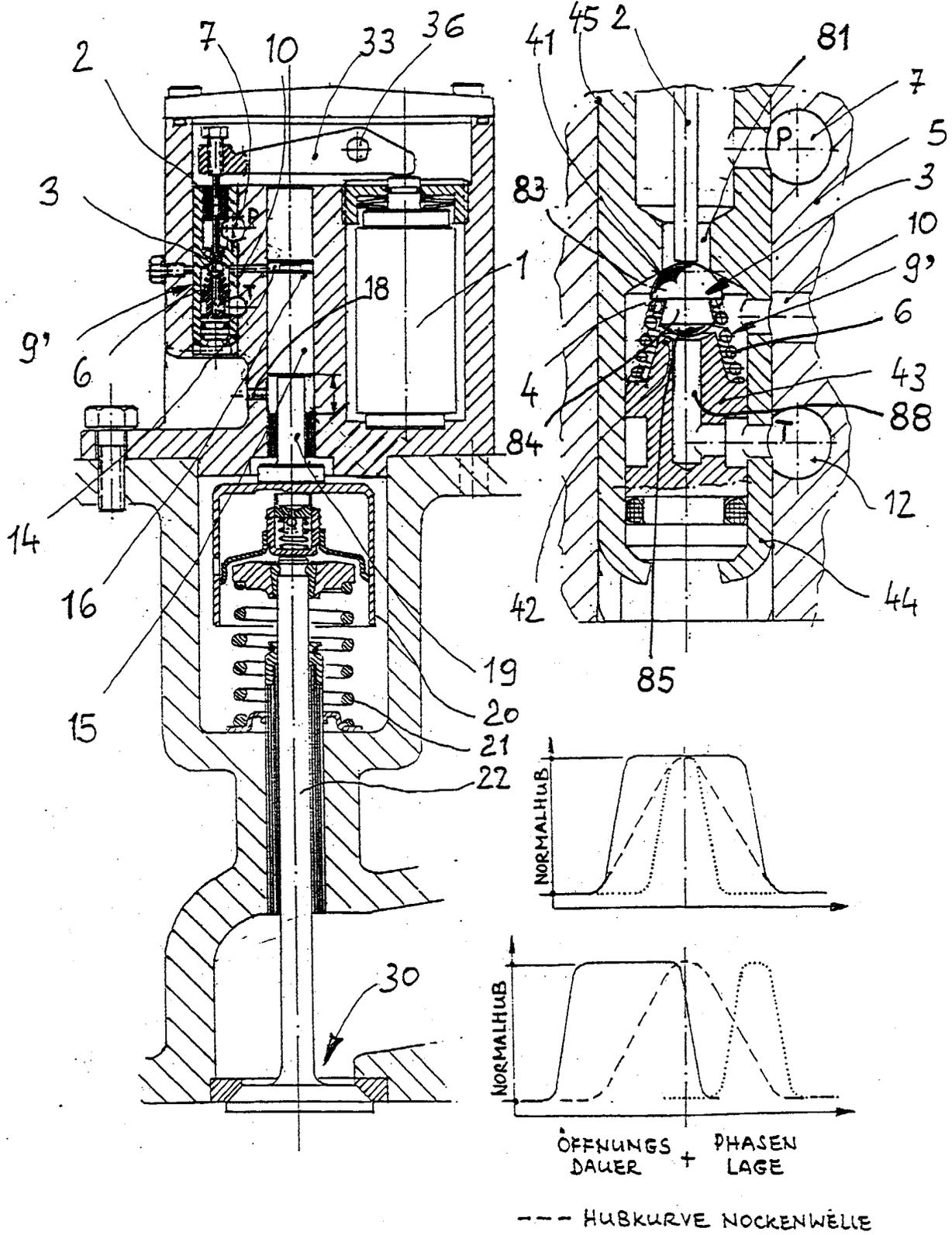
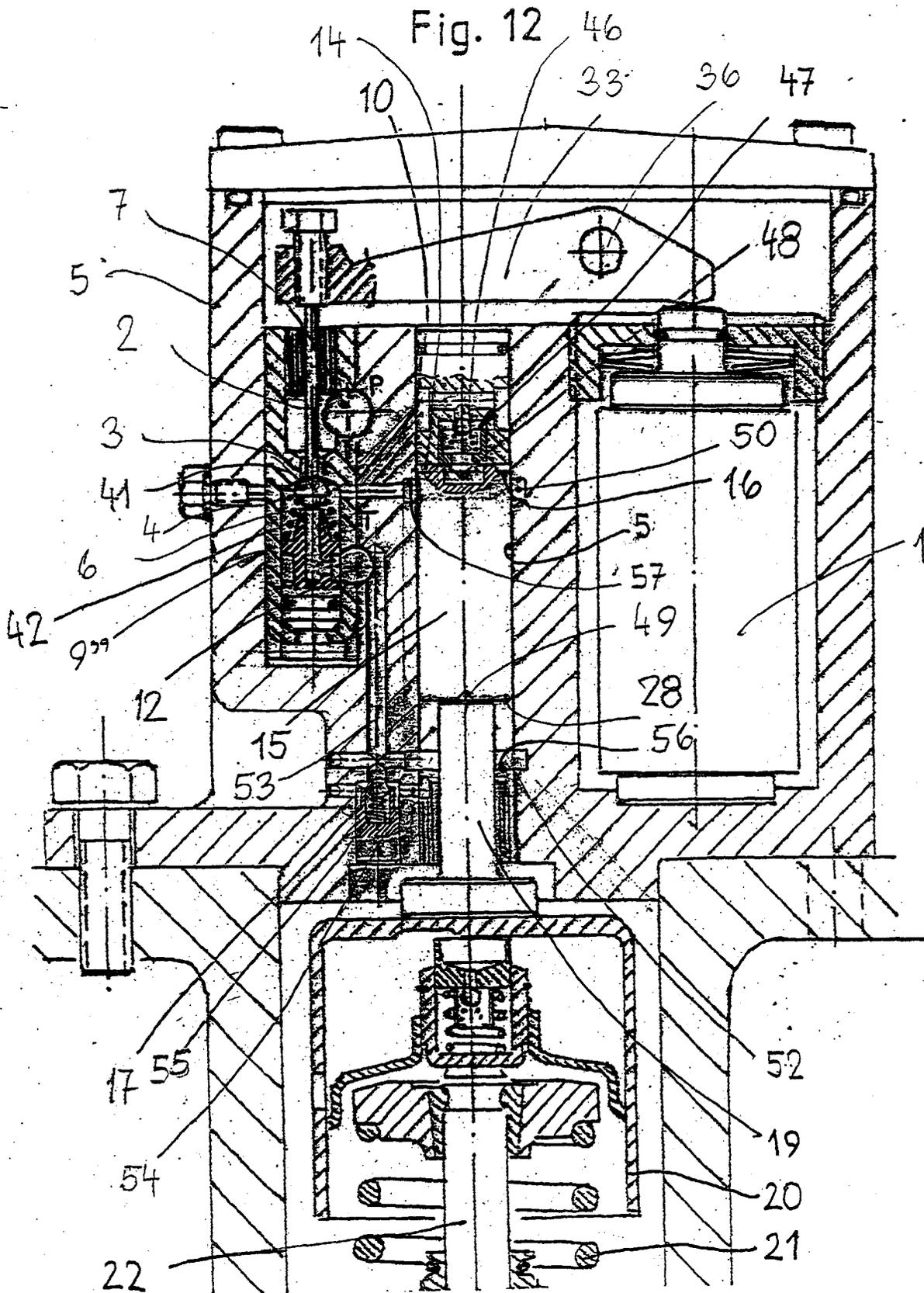


Fig. 10

Fig. 11





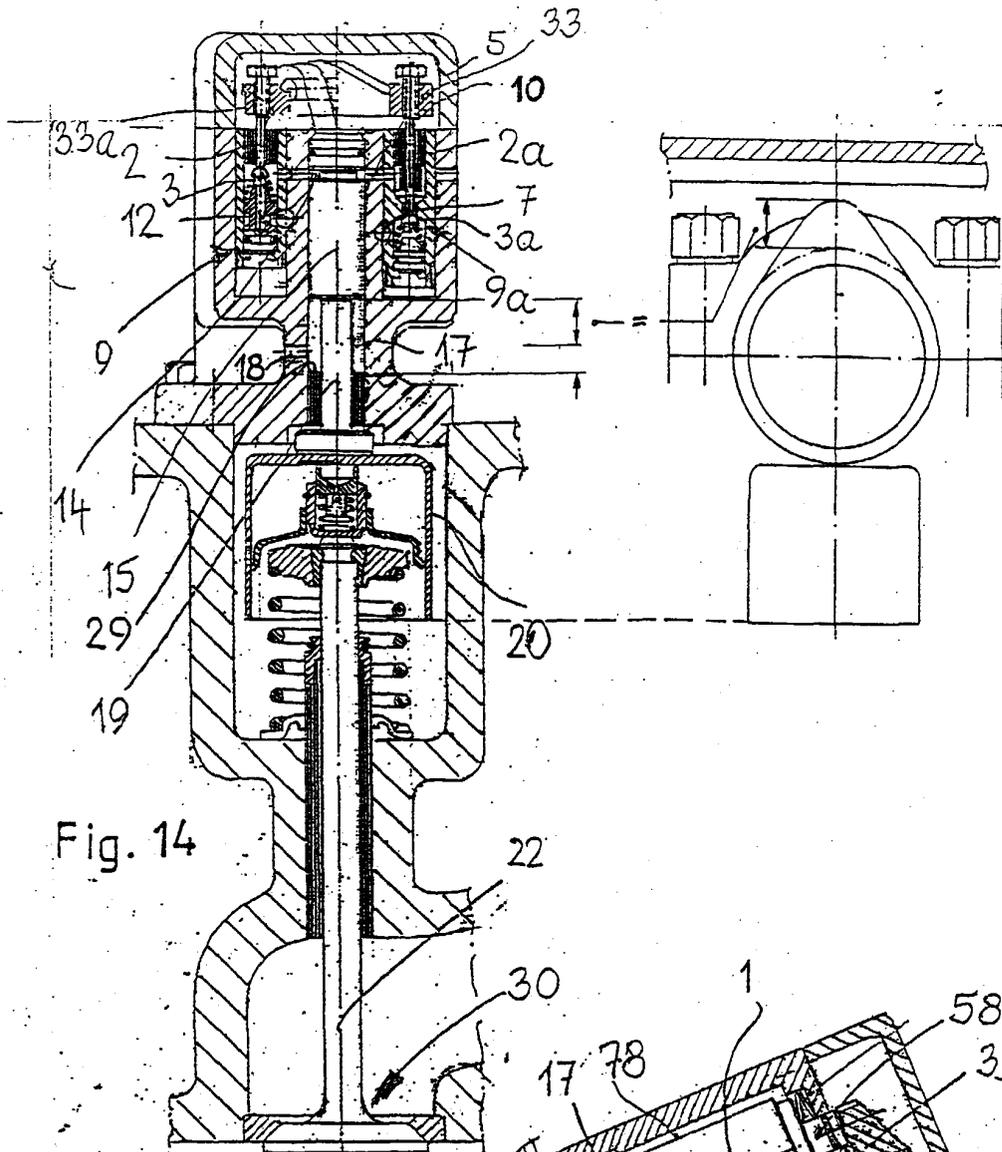


Fig. 14

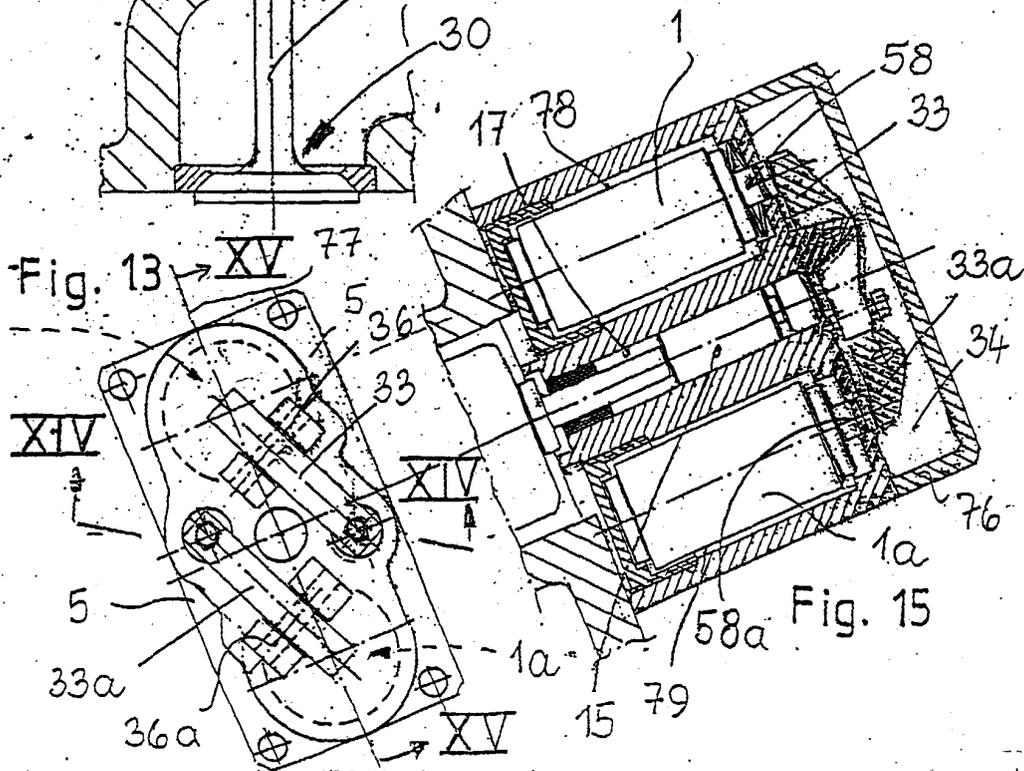


Fig. 13

Fig. 15

Fig. 17

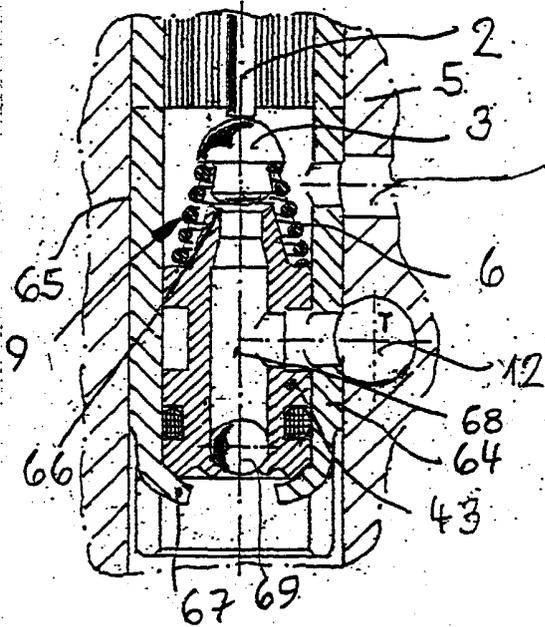


Fig. 16

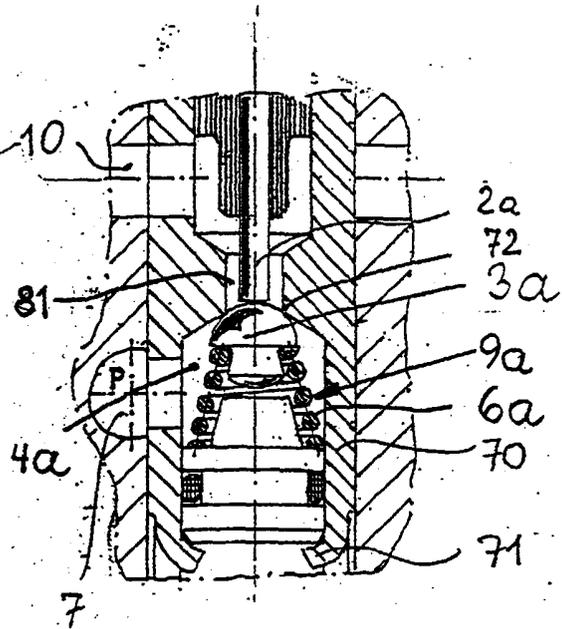


Fig. 18

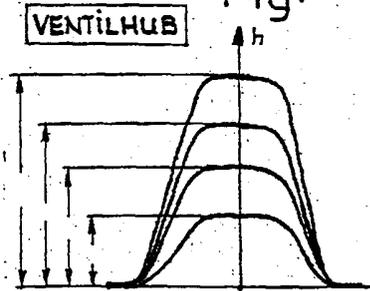


Fig. 19

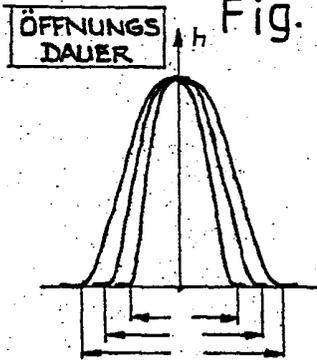


Fig. 20

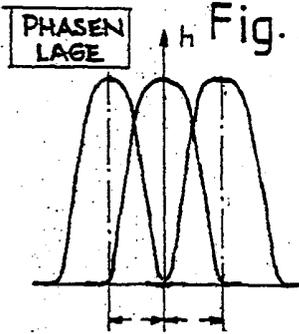
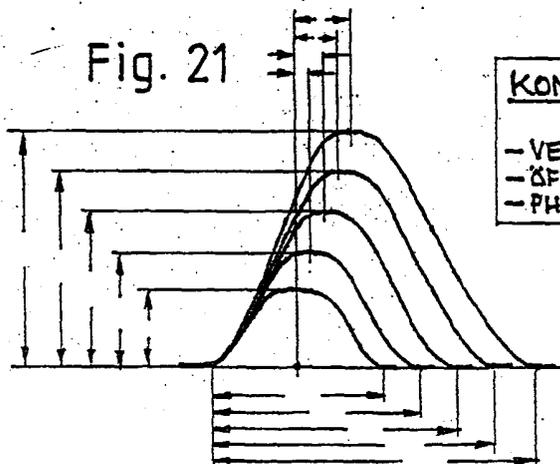


Fig. 21



KOMBINATION VON
 - VENTILHUB
 - ÖFFNUNGSDAUER
 - PHASENLAGE