



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.05.2002 Patentblatt 2002/18

(51) Int Cl.7: **F02M 45/06**, F02M 59/36,
F02M 59/10

(21) Anmeldenummer: **01123835.9**

(22) Anmeldetag: **05.10.2001**

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

(72) Erfinder:
• **Rembold, Helmut**
70435 Stuttgart (DE)
• **Schmidt, Bruno**
70372 Stuttgart (DE)
• **Krieg, Dietmar**
72669 Unterensingen (DE)
• **Schumacher, Mathias**
71679 Asperg (DE)
• **Mueller, Uwe**
71282 Hemmingen (DE)

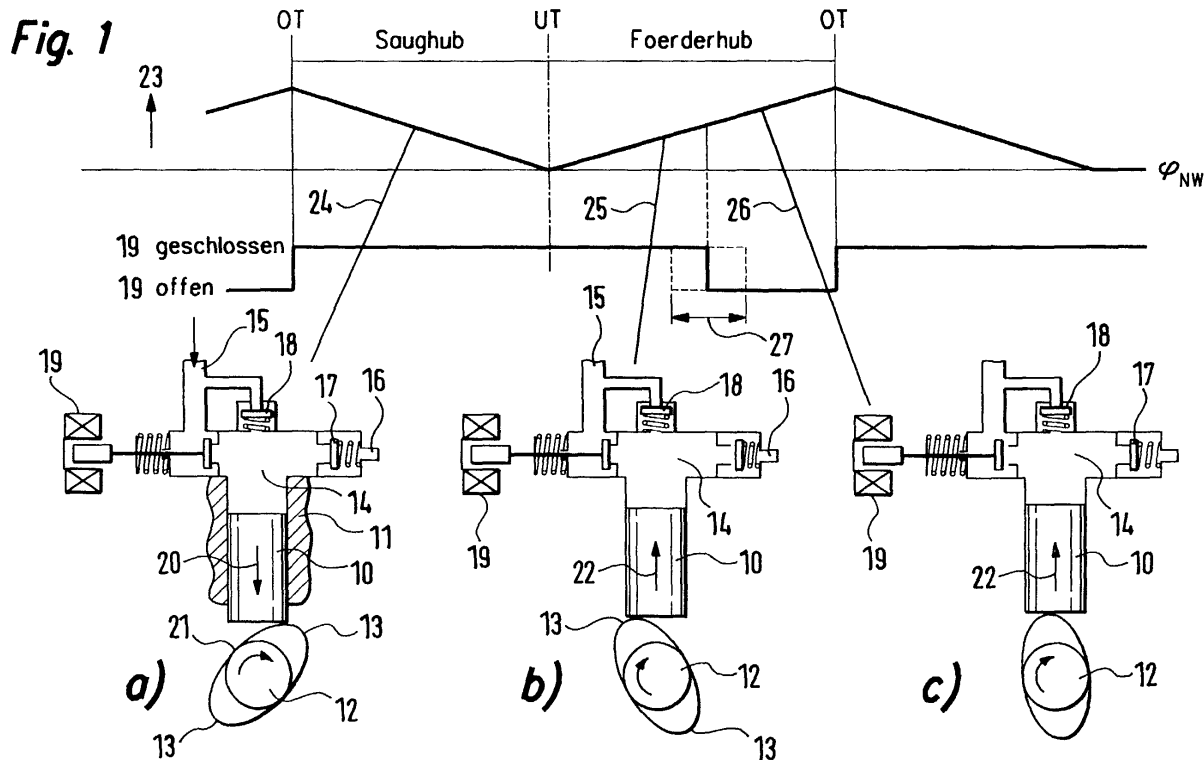
(30) Priorität: **24.10.2000 DE 10052629**

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(54) **Kraftstoffhochdruckpumpe mit veränderlicher Fördermenge**

(57) Es wird eine Kraftstoffhochdruckpumpe vorgeschlagen, die vor allem zum Einsatz in Brennkraftmaschinen mit Benzin-Direkteinspritzung geeignet ist, bei

welcher der Druckstoß beim Öffnen eines Rückschlagventils zwischen Hochdruckleitung und Förderraum der Kraftstoffförderpumpe durch konstruktive Maßnahmen begrenzt wird.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kraftstoffhochdruckpumpe mit veränderlicher Fördermenge für eine Brennkraftmaschine, mit einem von einer Nockenwelle betätigten Kolben, wobei der Kolben Kraftstoff aus einer Niederdruckleitung in einen Förderraum ansaugt und anschließend in eine Hochdruckleitung fördert, und mit einem Förderraum und Hochdruckleitung verbindenden Mengensteuerventil.

[0002] Bei dieser aus der EP 481 964 B2 bekannten Kraftstoffhochdruckpumpe wird die Fördermenge dadurch geregelt, dass das Mengensteuerventil zu Beginn des Förderhubs geschlossen ist und während des Förderhubs geöffnet wird. Aufgrund des Totvolumens im Förderraum hat der Kolben zum Öffnungszeitpunkt des Auslaßventils (Förderbeginn in Hochdruckleitung und Rail) bereits eine hohe Geschwindigkeit. Dies führt aufgrund der zu diesem Zeitpunkt stehenden Flüssigkeitssäule in der Hochdruckleitung, die beschleunigt werden muß, zu einem Druckstoß. Dieser Druckstoß erschwert die exakte Mengenzumessung bei der Einspritzung von Kraftstoff in den Brennraum und führt außerdem zu einer Schwellbeanspruchung der Hochdruckleitung und des Common-Rails. Außerdem sind die mechanischen Belastungen der Kraftstoffhochdruckpumpe und der Nockenwelle wegen der stoßartigen Belastung zu Beginn der Kraftstoffförderung in die Hochdruckleitung sehr hoch.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Kraftstoffhochdruckpumpe mit veränderlicher Fördermenge bereitzustellen, bei der die Druckstöße in der Hochdruckleitung und im Common-Rail gegenüber dem Stand der Technik deutlich reduziert und die mechanischen Beanspruchungen der Kraftstoffhochdruckpumpe verringert werden.

[0004] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Kraftstoffhochdruckpumpe mit veränderlicher Fördermenge für eine Brennkraftmaschine, mit einem von einer Nockenwelle betätigten Kolben, wobei der Kolben Kraftstoff aus einer Niederdruckleitung in einen Förderraum ansaugt und anschließend in eine Hochdruckleitung fördert, wobei zwischen Förderraum und Niederdruckleitung ein Mengensteuerventil und ein separates Saugventil parallel geschaltet sind und wobei die Regelung der Fördermenge durch Öffnen des Mengensteuerventils während des Förderhubs des Kolbens erfolgt.

Vorteile der Erfindung

[0005] Bei der erfindungsgemäßen Kraftstoffhochdruckpumpe findet zu Beginn des Förderhubs eine Druckerhöhung im Förderraum statt. Sobald die Druckkraft im Förderraum größer ist als die Summe der durch ein Auslaßventil vom Förderraum entkoppelten Druck-

kraft in der Hochdruckleitung und der Federkraft des Auslaßventils, beginnt die Kraftstoffhochdruckpumpe Kraftstoff in die Hochdruckleitung zu fördern. Sobald genügend Kraftstoff in die Hochdruckleitung gefördert wurde, öffnet das Mengensteuerventil, so dass der Druck im Förderraum zusammenbricht und das Auslaßventil zwischen Hochdruckleitung und Förderraum schließt. Da bei der oben beschriebenen Mengenregelung die Druckerhöhung im Förderraum stets ab dem unteren Totpunkt (UT) des Kolbens erfolgt, kann unabhängig von der Drehzahl und dem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine der Druckverlauf im Förderraum und damit auch in der Hochdruckleitung so gestaltet werden, dass die Druckstöße in der Hochdruckleitung und im Common-Rail und die stoßartigen Belastungen der Kraftstoffhochdruckpumpe verringert werden. Die Höhe des Druckstoßes hängt dabei von der Geschwindigkeit des Nockens zum Öffnungszeitpunkt des Auslaßventils ab.

[0006] In einer Variante der Erfindung ist vorgesehen, dass jeder Nocken der Nockenwelle mindestens einen ersten Drehwinkelbereich, einen zweiten Drehwinkelbereich und einen dritten Drehwinkelbereich aufweist, wobei der untere Totpunkt (UT) des Kolbens innerhalb des ersten Drehwinkelbereichs liegt, dass der Kolben nach Erreichen des UT durch den Kolben im ersten Drehwinkelbereich eine positive Beschleunigung erfährt, dass innerhalb des zweiten Drehwinkelbereichs die auf die Drehzahl bezogene Hubgeschwindigkeit V_H/ω des Kolbens annähernd konstant ist, dass das Auslaßventil der Hochdruckpumpe öffnet, während der Nocken den zweiten Drehwinkelbereich durchläuft und dass innerhalb des dritten Drehwinkelbereichs die Hubgeschwindigkeit des Kolbens bis zum Erreichen eines Maximalwerts zunimmt.

[0007] Der zweite Drehwinkelbereich mit einer annähernd konstanten, möglichst geringen Hubgeschwindigkeit V_H/ω hat den Vorteil, dass, unabhängig von der Fördermenge, d. h. dem Zeitpunkt, zu dem das Auslaßventil öffnet, die Hubgeschwindigkeit V_H im Wesentlichen nur von der Drehzahl der Nockenwelle abhängt. Damit ist es möglich, durch die Wahl einer niedrigen Hubgeschwindigkeit selbst bei maximaler Drehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe und maximalem Druck in der Hochdruckleitung, den Druckstoß p_s auf ein zulässiges Maß zu begrenzen. Dadurch kann die Einspritzmenge mit größerer Genauigkeit gesteuert werden und es verringern sich die o.g. Schwellbeanspruchungen und stoßartigen Belastungen.

[0008] Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Beschleunigung des Kolbens im ersten Drehwinkelbereich bei der zulässigen Höchstdrehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe im Wesentlichen durch die Massenkräfte des Kolbens begrenzt, so dass der erste Drehwinkelbereich so klein wie möglich gehalten werden kann. Dies erlaubt es, den zweiten Drehwinkelbereich entsprechend größer auszulegen. Da zu Beginn des Förderhubs der Kolben nur eine Druckerhöhung

des Kraftstoffs im Förderraum bewirkt und nicht gegen den Druck in der Hochdruckleitung Druckerhöhungsarbeit leisten muss, kann die Beschleunigung des Kolbens im ersten Drehwinkelbereich einen sehr hohen Wert annehmen.

[0009] In weiterer Ergänzung der Erfindung erfährt der Kolben im zweiten Drehwinkelbereich bei der zulässigen Höchstdrehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe keine oder eine gegenüber der Beschleunigung im ersten Drehwinkelbereich geringere positive Beschleunigung. Gegenüber konstanter Hubgeschwindigkeit V_H/ω kann mittels einer geringen positiven Beschleunigung - vorausgesetzt die zulässigen Druckstöße p_s in der Hochdruckleitung werden nicht überschritten - auch im zweiten Drehwinkelbereich die Hubgeschwindigkeit des Kolbens zunehmen und somit innerhalb eines kleineren Drehwinkelbereichs der gleiche Förderhub erreicht werden. Durch diese Maßnahme kann die maximale Hubgeschwindigkeit des Kolbens verringert werden, was bei hohen Drehzahlen der Kraftstoffhochdruckpumpe zu einer Verringerung der Strömungsverluste am Mengensteuerventil beim Absteuern führt und dadurch den Pumpenwirkungsgrad erhöht.

[0010] Bei einer weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Kraftstoffhochdruckpumpe wird die Beschleunigung des Kolbens im dritten Drehwinkelbereich bei der zulässigen Höchstdrehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe durch den maximal zulässigen Druck begrenzt, so dass einerseits die maximale Kolbengeschwindigkeit im Förderhub so schnell wie möglich erreicht wird und andererseits keine unzulässigen Beanspruchungen der Kraftstoffhochdruckpumpe auftreten. Im dritten Drehwinkelbereich muss der Kolben gegen den Druck in der Hochdruckleitung Arbeit verrichten.

[0011] Bei einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist weiter vorgesehen, dass jeder Nocken einen vierten, einen fünften und einen sechsten Drehwinkelbereich aufweist, dass der obere Totpunkt (OT) des Kolbens zwischen viertem Drehwinkelbereich und fünftem Drehwinkelbereich liegt, dass die positive Beschleunigung des Kolbens im vierten Drehwinkelbereich negativ wird, dass der Kolben im fünften Drehwinkelbereich eine negative Beschleunigung erfährt, und dass innerhalb des sechsten Drehwinkelbereichs die Hubgeschwindigkeit des Kolbens negativ und annähernd konstant ist. Dadurch wird der Saughub mit geringer mechanischer Beanspruchung der Kraftstoffpumpe und geringer Kavitationswirkung ermöglicht. Dieser Vorteil wird nochmals erhöht, wenn die Änderung der Geschwindigkeit des Kolbens im vierten und im fünften Drehwinkelbereich annähernd konstant ist.

[0012] Bei einer Ausführungsform der Kraftstoffhochdruckpumpe ist das Mengensteuerventil ein stromlos geöffnetes Magnetventil, so dass unzulässige Drücke in der Kraftstoffförderpumpe auch bei Ausfall des Mengensteuerventils oder dessen Ansteuerung verhindert werden.

[0013] Bei einer weiteren Ergänzung der Erfindung

nimmt beim Übergang vom sechsten Drehwinkelbereich in den ersten Drehwinkelbereich die Sauggeschwindigkeit langsam ab, so dass die Überströmverluste durch zu spätes Schließen des Einlassventils verringert werden.

[0014] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar.

Zeichnungen

[0015] Es zeigen:

15 Fig. 1: eine schematische Darstellung einer Kraftstoffhochdruckpumpe in drei verschiedenen Betriebszuständen mit einem Hub-Drehwinkel-Diagramm;

20 Fig. 2: die Kontur eines erfindungsgemäßen Nockens und

Fig. 3: den Verlauf von Nockenhub, Nockengeschwindigkeit und Beschleunigung, Auslaßventilhub, Förderraumdruck und Zustand des Mengensteuerungsventils über dem Drehwinkel der Nockenwelle.

[0016] In Fig. 1 ist eine aus einem Kolben 10, der in einem Zylinder 11 geführt und von einer Nockenwelle 12 mit zwei Nocken 13 angetrieben wird, bestehende Einspritzpumpe schematisch dargestellt. Der Kolben 10 begrenzt einen Förderraum 14, in den eine Niederdruckleitung 15 und eine Hochdruckleitung 16 münden. Zwischen Hochdruckleitung 16 und Förderraum 14 ist ein Auslaßventil 17 vorgesehen, welches ein Rückströmen des in der Hochdruckleitung 16 befindlichen Kraftstoffs in den Förderraum 14 verhindert. Die Hochdruckleitung 16 kann in ein nicht dargestelltes Common-Rail münden oder direkt mit Injektoren oder Einspritzdüsen verbunden sein.

[0017] Der in der Niederdruckleitung 15 anstehende Kraftstoff kann über ein Saugventil 18 in den Förderraum 14 gesaugt werden, wenn sich der Kolben 10, wie in Fig. 1a dargestellt, nach unten bewegt und somit den Förderraum 14 vergrößert. Alternativ kann über ein Mengensteuerventil 19 eine hydraulische Verbindung zwischen Förderraum 14 und Niederdruckleitung 15 hergestellt werden. In Fig. 1a ist das als Magnetventil ausgebildete Mengensteuerventil 19 geschlossen. Wenn sich der Kolben 10 von einem in Fig. 1a nicht eingezeichneten oberen Totpunkt (OT) in Richtung des Pfeils 20 zum unteren Totpunkt (UT), der ebenfalls in Fig. 1a nicht dargestellt ist, bewegt, strömt Kraftstoff von der Niederdruckleitung 15 über das Saugventil 18 in den Förderraum 14. Das Mengensteuerventil 19 ist während des Saughubs geschlossen. Sobald die Nockenwelle 12 sich soweit gedreht hat, dass der Punkt 21 den Kol-

ben 10 berührt, ist der UT erreicht. Anschließend beginnt der Förderhub.

[0018] Beim Durchgang des Kolbens 10 durch den UT herrscht im Förderraum 14 und in der Niederdruckleitung 15 der gleiche Druck, so dass das federbelastete Saugventil 18 schließt. Sobald sich der Kolben 10 in Richtung des Pfeils 22 (Fig. 1b) nach oben bewegt, erhöht sich der Druck im Förderraum 14. Wenn die Druckkraft im Förderraum 14 größer als die Summe der Hochdruckleitung 16 anstehende Druckkraft und der Federkraft des Auslaßventils 17 ist, öffnet das Auslaßventil 17 und die Förderung von Kraftstoff in die Hochdruckleitung 16 beginnt. Dieser Zustand ist in der Fig. 1b dargestellt. Das Saugventil 18 und das Mengensteuerventil 19 sind geschlossen.

[0019] Wenn ausreichend Kraftstoff aus dem Förderraum 14 in die Hochdruckleitung 16 gefördert wurde, wird das Mengensteuerventil 19 geöffnet. Dadurch bricht der Druck im Förderraum 14 zusammen und das Auslaßventil 17 schließt. Damit ist die Förderung von Kraftstoff aus dem Förderraum 14 in die Hochdruckleitung 16 beendet. Bis zum Erreichen des OT fördert der Kolben 10 Kraftstoff aus dem Förderraum 14 in die Niederdruckleitung 15. Wegen des geringen Drucks in der Niederdruckleitung 15 ist die Förderarbeit des Kolbens 10 in diesem Schaltzustand (Fig. 1c) sehr gering.

[0020] In der oberen Hälfte von Fig. 1 ist der Hub 23 des Kolbens 10 über den Drehwinkel ϕ_{NW} der Nockenwelle 12 schematisch dargestellt. Die in der Figur 1a, 1b und 1c dargestellten Zustände sind durch Linien 24, 25 und 26 den entsprechenden Abschnitten in dem o. g. Diagramm zugeordnet. In dem Diagramm von Fig. 1 ist auch die Schaltstellung des Mengensteuerventils 19 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass durch das Öffnen des geschlossenen Mengensteuerventils 19 die Förderung von Kraftstoff in die Hochdruckleitung 16 beendet wird.

[0021] Abhängig vom Lastzustand der Brennkraftmaschine, welche mit der erfindungsgemäßen Kraftstoffhochdruckpumpe ausgerüstet ist, kann das Öffnen des Mengensteuerventils 19 wie dargestellt innerhalb eines Bereichs 27 zwischen UT und OT variiert werden.

[0022] Die Nockenwelle 12 weist zwei Nocken 13 auf, so dass mit einer Nockenwellenumdrehung je zwei Saug- und Förderhübe vom Kolben 10 ausgeführt werden.

[0023] In Fig. 2 ist die Nockenwelle 12 etwas detaillierter dargestellt. Die Kontur des Nockens 13 wurde in sechs Drehwinkelbereiche 1 bis 6 unterteilt, die nachfolgend anhand der Fig. 3 im Detail beschrieben werden.

[0024] Fig. 3a zeigt den Hub 23 des Nockens 13 in radialer Richtung und damit auch des Kolbens 10 über dem Drehwinkel ϕ_{NW} der Nockenwelle 12. In der Fig. 3b ist die Geschwindigkeit v_R des Nockens 13 in radialer Richtung aufgetragen. Die Geschwindigkeit v_R entspricht der Geschwindigkeit des Kolbens 10. In Fig. 3c ist die Beschleunigung a des Kolbens 10 über dem

Drehwinkel ϕ_{NW} der Nockenwelle 12 dargestellt. In Fig. 3d ist die Stellung des Auslaßventils 18 dargestellt. Die Fig. 3e zeigt den Verlauf des Drucks p_F im Förderraum 14 über dem Drehwinkel ϕ_{NW} , während in der Fig. 3f die Schaltstellung des Mengensteuerventils 19 dargestellt ist.

[0025] Ausgehend von UT steigt der Druck p_F im Förderraum steil an. Nach dem Öffnen des Auslaßventils 17 wird die Flüssigkeitssäule in der Leitung zwischen Kraftstoffhochdruckpumpe und Rail entsprechend der Nockengeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Überströmens schlagartig beschleunigt. Mit steigenden Drehzahlen stellt sich dadurch eine Drucküberhöhung im Förderraum 14 ein. Diese Drucküberhöhung erreicht ein Maximum, das in Fig. 3e mit p_s gekennzeichnet ist, und läuft nachdem das Auslaßventil 17 geöffnet hat als Druckstoß durch die Hochdruckleitung 16. Wenn dieser Druckstoß den Common-Rail, eine Einspritzdüse oder einen Injektor erreicht, kann dies zu ungenauen Kraftstoffzumessungen bei der Einspritzung führen. Außerdem führt die Drucküberhöhung zu einer starken Belastung des Nockenanstriebs der Pumpe. Deshalb soll die Drucküberhöhung im Förderraum 14 gegenüber dem in der Hochdruckleitung 15 herrschenden Raildruck p_{CR} so gering wie möglich ausfallen. D. h., die Differenz zwischen p_s und p_{CR} soll möglichst klein ausfallen. Dieses Ziel kann mit der nachfolgend beschriebenen Gestaltung des Nockens 13 erreicht werden.

[0026] Abhängig vom Druck p_{CR} in der Hochdruckleitung 16 öffnet das Auslaßventil 17 früher oder später. Wegen der volumetrischen Verluste zwischen Kolben 10 und Zylinder 11 sowie der Kompressibilität des im Förderraum befindlichen Kraftstoffs und der Elastizität der den Förderraum 14 umgebenden, in Fig. 1 nicht dargestellten Wandung der Einspritzpumpe ist ein gewisser Förderhub notwendig, um im Förderraum 14 einen Druck aufzubauen. In Kenntnis der Eigenschaften einer konkreten Kraftstoffhochdruckpumpe kann somit ein Drehwinkelbereich angegeben werden innerhalb dessen das Auslaßventil 17 auf keinen Fall öffnet. In Fig. 3a ist dieser Drehwinkelbereich mit 1 bezeichnet.

[0027] Der Drehwinkelbereich 1 ist umso kleiner, je geringer der Druck p_{CR} in der Hochdruckleitung ist und je kleiner das Volumen des Förderraums 14 und je größer die Elastizität der den Förderraum 14 umgebenden Wandung sind.

[0028] Das Auslaßventil 17 öffnet unabhängig von der Drehzahl, bei sonst gleichen Randbedingungen, am spätesten, wenn der in der Hochdruckleitung 16 anstehende Druck p_{CR} dem maximal zulässigen Betriebsdrucks des Common-Rails entspricht. D. h. für jede Kraftstoffhochdruckpumpe lässt sich abhängig von den o. g. Parametern ein zweiter Drehwinkelbereich 2 angeben, innerhalb dessen das Auslaßventil 17 öffnet.

[0029] Um zu verhindern, dass die erwähnten Druckstöße vor allem bei hohen Drehzahlen und hohem Druck p_{CR} unzulässig hoch werden, ist vorgesehen, dass die Geschwindigkeit des Kolbenhubs v_R im zwei-

ten Drehwinkelbereich 2 konstant ist. Dieses Plateau ist in der Fig. 3b deutlich zu erkennen. Sobald der zweite Drehwinkelbereich 2 durchlaufen wurde, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbenhubs bis zum Erreichen eines Maximum $v_{\max}$ zu.

[0030] Die Beschleunigung a im dritten Drehwinkelbereich 3 wird so gewählt, dass nach Erreichen der maximal zulässigen Geschwindigkeit und nach dem Übergang in einen vierten Bereich die maximale negative Beschleunigung so ausfällt, dass an der Kontaktstelle zwischen Nocken 13 und Kolben 11 bei dem höchsten zulässigen Druck P_{CR} die zulässige Hertz'sche Pressung nicht überschritten wird. Dabei sind die Druckkräfte, die auf den Kolben 10 wirken, und die Trägheitskräfte zu berücksichtigen.

[0031] Nach Erreichen der Höchstgeschwindigkeit $v_{\max}$ beginnt ein vierter Drehwinkelbereich 4, der dadurch gekennzeichnet ist, dass die Beschleunigung a negativ wird. Der Wert der Beschleunigung wird durch die maximal zulässige Hertz'sche Pressung begrenzt. Während nahezu des gesamten vierten Drehwinkelbereichs 4 und eines daran anschließenden fünften Drehwinkelbereichs 5 ist die Beschleunigung a konstant negativ, was bedeutet, dass die Geschwindigkeit des Kolbens 10 abnimmt. Mit Erreichen des OT wird die Geschwindigkeit negativ, d. h. der Saughub beginnt. Am Ende des fünften Drehwinkelbereichs 5 hat der Kolben 10 eine bestimmte negative Geschwindigkeit, die er über einen sechsten Drehwinkelbereich 6 konstant beibehält. Im fünften Drehwinkelbereich und im sechsten Drehwinkelbereich erfolgt das Ansaugen von Kraftstoff aus der Niederdruckleitung 15 in den Förderraum 14. An den sechsten Drehwinkelbereich 6 schließt sich wieder ein erster Drehwinkelbereich 1 an. Der Drehwinkelbereich 1 ist dadurch gekennzeichnet, dass die Beschleunigung a des Kolbens 10 so groß wie möglich gewählt ist. Begrenzt wird die mögliche Beschleunigung im Wesentlichen durch die Massenkräfte des Kolbens 10, da im Bereich des UT vom Förderraum auf den Kolben 10 wirkenden hydraulischen Kräfte vergleichsweise gering sind. Aus diesem Grund ist die maximale Beschleunigung im ersten Drehwinkelbereich deutlich größer als die maximale Beschleunigung im dritten Drehwinkelbereich 3.

[0032] Dadurch, dass die Beschleunigung A des Kolbens 10 im ersten Drehwinkelbereich 1 maximiert wird, kann der zweite Drehwinkelbereich 2 entsprechend größer ausfallen. In einer alternativen Ausgestaltung kann anstelle einer konstanten Geschwindigkeit des Kolbens 10 im zweiten Drehwinkelbereich 2 auch eine leichte Beschleunigung des Kolbens 10 erfolgen. Voraussetzung ist allerdings, dass in allen Betriebszuständen die Druckspitze p_s beim Öffnen des Auslaßventils 17 nicht unzulässig hoch wird. Im dritten Drehwinkelbereich 3 empfiehlt es sich, die Beschleunigung a des Kolbens 10 so groß wie möglich zu wählen, um die erforderliche Fördermenge mit einer möglichst geringen maximalen Geschwindigkeit $v_{\max}$ des Kolbens 10 zu erreichen. Je

geringer die maximale Geschwindigkeit $v_{\max}$ des Kolbens 10 ist, desto geringer sind die Strömungsverluste beim Absteuern durch das Mengensteuerventil 19. Damit wird der Wirkungsgrad der Kraftstoffhochdruckpumpe verbessert.

[0033] Die oben gemachten Ausführungen betreffend die Gestaltung der Kontur des Nockens 13 vom ersten Drehwinkelbereich 1 bis zum sechsten Drehwinkelbereich 6 sind grundsätzlich auf alle erfindungsgemäßen Kraftstoffhochdruckpumpen anwendbar. Die konkrete Ausgestaltung der Kontur des Nockens 13 kann jedoch nur in Kenntnis der erforderlichen Betriebsdrücke P_{CR} im Common-Rail, der Drehzahlen der Kraftstoffhochdruckpumpe, der Kompressibilität des Kraftstoffs, der Elastizität der den Förderraum 13 umgebenden Wänden und anderer Einflussgrößen erfolgen. Dies ist jedoch einem Fachmann auf dem Gebiet der Kraftstoffhochdruckpumpen mit Hilfe von Simulationsrechnungen oder anderer Hilfsmitteln möglich. Die erfindungsgemäße Kraftstoffhochdruckpumpe ist besonders zum Einsatz in Brennkraftmaschinen mit Benzin-Direkteinspritzung geeignet.

Alle in der Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen beschriebenen Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Patentansprüche

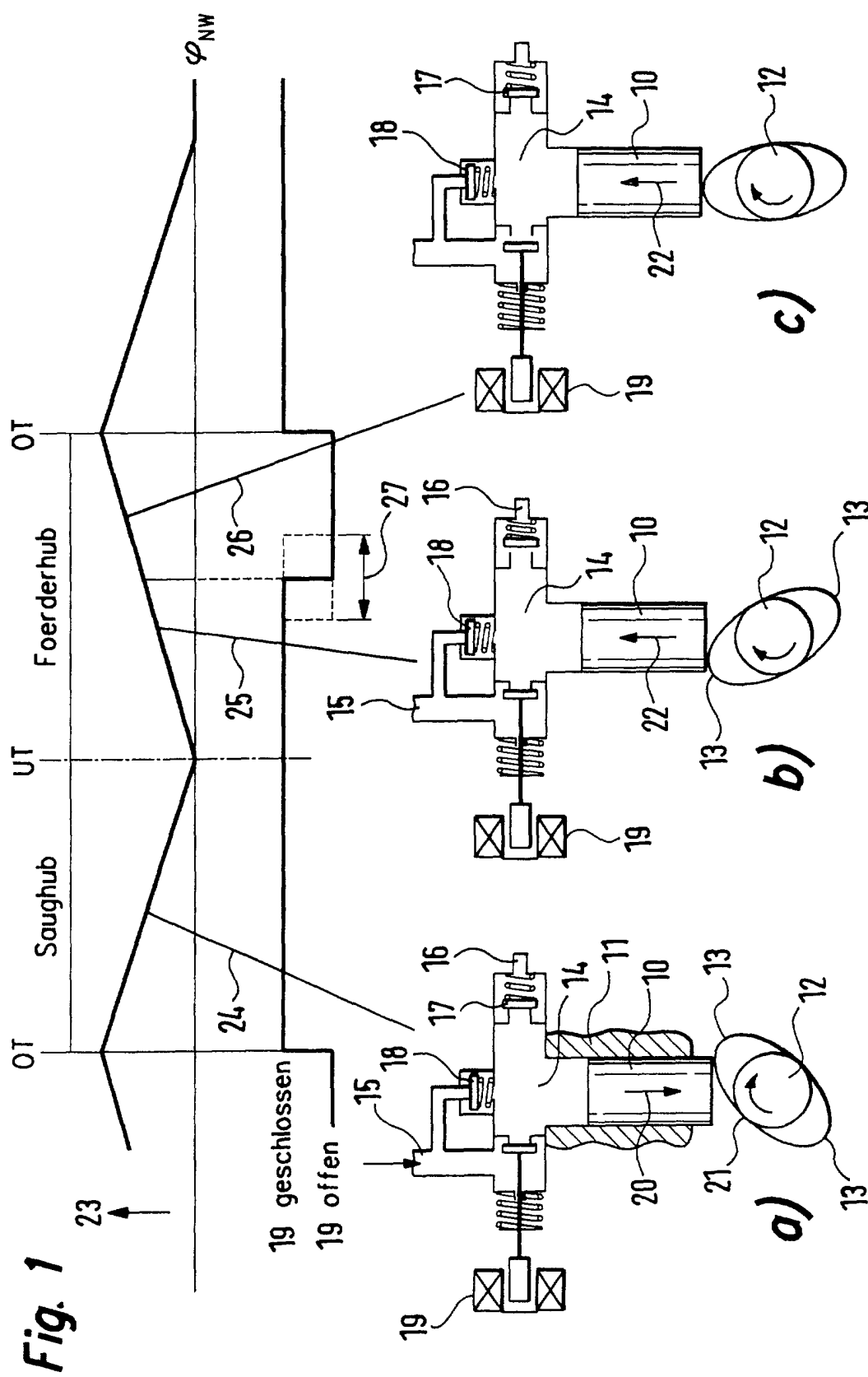
1. Kraftstoffhochdruckpumpe mit veränderlicher Fördermenge für eine Brennkraftmaschine, mit einem von einer Nockenwelle (12) betätigten Kolben (10), wobei der Kolben (10) Kraftstoff aus einer Niederdruck-Leitung (15) in einen Förderraum (14) ansaugt und anschließend in eine Hochdruck-Leitung (16) fördert, und mit einem Förderraum (14) und Niederdruckleitung (15) verbindenden Mengensteuerventil (19), **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Niederdruck-Leitung (15) und Förderraum (14) ein separates Saugventil (18) angeordnet ist, und dass die Regelung der Fördermenge durch Öffnen des Mengensteuerventils (19) während des Förderhubs des Kolbens (10) erfolgt.
2. Kraftstoffhochdruckpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Nocken (13) der Nockenwelle (12) mindestens einen ersten Drehwinkelbereich (1), einen zweiten Drehwinkelbereich (2) und einen dritten Drehwinkelbereich (3) aufweist, wobei der UT des Kolbens (23) innerhalb des ersten Drehwinkelbereichs (1) liegt, dass der Kolben (10) nach Erreichen des UT durch den Nocken (13) im ersten Drehwinkelbereich (1) eine positive Beschleunigung erfährt, dass innerhalb des zweiten Drehwinkelbereichs (2) die Hubgeschwindigkeit (v_R) des Kolbens (10) annähernd konstant ist, dass das Mengensteuerventil (19) öffnet wäh-

rend die Nocke (13) den zweiten Drehwinkelbereich durchläuft, und dass innerhalb des dritten Drehwinkelbereichs (3) die Hubgeschwindigkeit (v_R) des Kolbens (10) bis zum Erreichen eines Maximalwerts (v_{MAX}) zunimmt.

3. Kraftstoffhochdruckpumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigung des Kolbens (10) im ersten Drehwinkelbereich (1) bei der zulässigen Höchstdrehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe im Wesentlichen durch die Massenkräfte des Kolbens (10) begrenzt wird. 5
4. Kraftstoffhochdruckpumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kolben (10) im zweiten Drehwinkelbereich (2) bei der zulässigen Höchstdrehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe einen gegenüber der Beschleunigung im ersten Drehwinkelbereich (1) geringere positive Beschleunigung erfährt. 10 15 20
5. Kraftstoffhochdruckpumpe nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigung des Kolbens (10) im vierten Drehwinkelbereich (4) bei der zulässigen Höchstdrehzahl der Kraftstoffhochdruckpumpe von der maximal zulässigen Hertz'schen Pressung an der Kontaktstelle zwischen Nocken (13) und Kolben (10) begrenzt wird. 25 30
6. Kraftstoffhochdruckpumpe nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Nocken (13) einen vierten Drehwinkelbereich (4), einen fünften Drehwinkelbereich (5) und einen sechsten Drehwinkelbereich (6) aufweist, dass der OT des Kolbens (10) zwischen viertem Drehwinkelbereich (4) und fünftem Drehwinkelbereich (5) liegt, dass die positive Beschleunigung des Kolbens (10) durch den Nocken (13) im vierten Drehwinkelbereich (4) auf Null verringert wird, dass der Kolben (10) durch den Nocken (13) im fünften Drehwinkelbereich (5) eine negative Beschleunigung erfährt, und dass innerhalb des sechsten Drehwinkelbereichs (6) die Hubgeschwindigkeit (v_R) des Kolbens (10) negativ und annähernd konstant ist. 35 40 45
7. Kraftstoffhochdruckpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Änderung der Geschwindigkeit des Kolbens (10) im vierten und im fünften Drehwinkelbereich (4, 5) annähernd konstant ist. 50
8. Kraftstoffhochdruckpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mengensteuerventil (18) ein stromlos geöffnetes Magnetventil ist. 55
9. Kraftstoffhochdruckpumpe nach einem der vorher-

gehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mengensteuerventil (19) von einem Steuergerät in Abhängigkeit der Drehzahl, der Last, der Temperatur der Brennkraftmaschine, der Spannung des Bordnetzes und der Temperatur der Ansaugluft und des Drucks im Common-Rail geregelt wird.

10. Kraftstoffhochdruckpumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor dem Übergang vom sechsten Drehwinkelbereich (6) in den ersten Drehwinkelbereich (1) die Sauggeschwindigkeit langsam abnimmt.



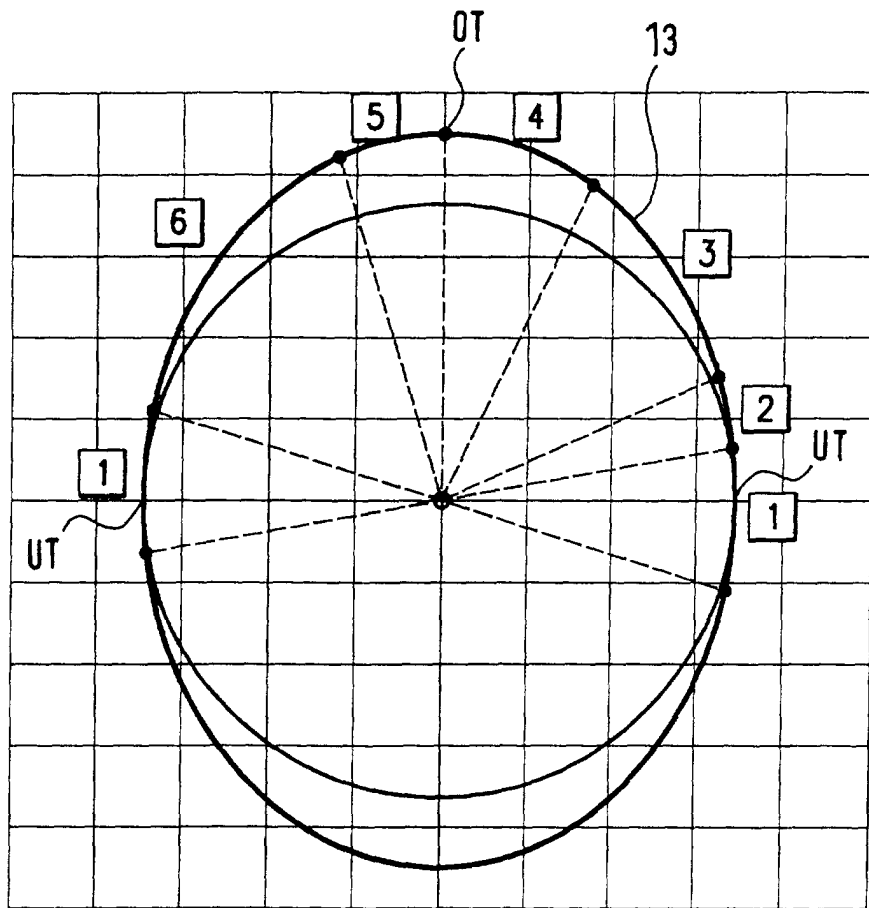


Fig. 2

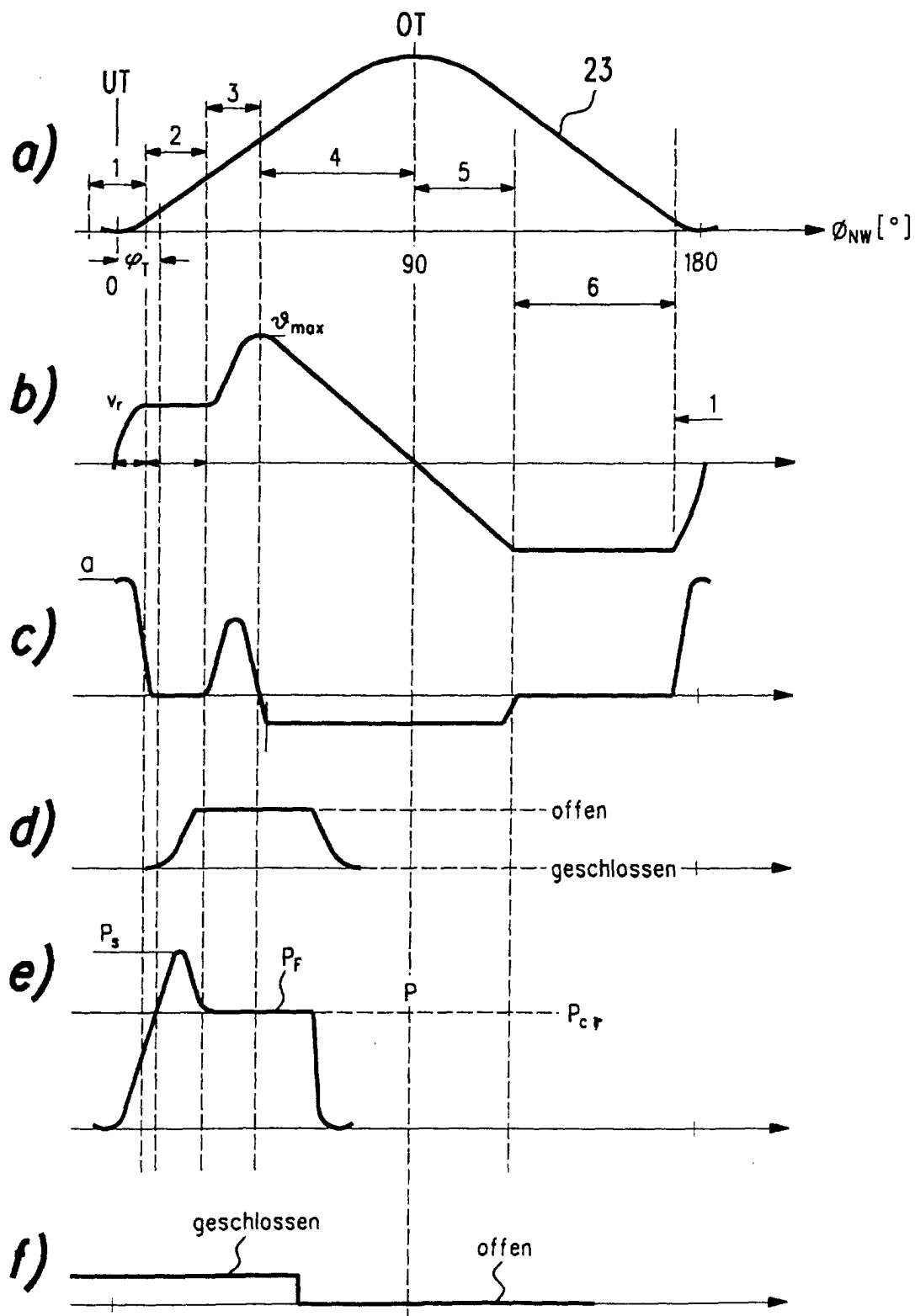


Fig. 3