



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 035 313 A1 2006.02.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 035 313.1

(22) Anmeldetag: 21.07.2004

(43) Offenlegungstag: 16.02.2006

(51) Int Cl.⁸: F02M 47/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

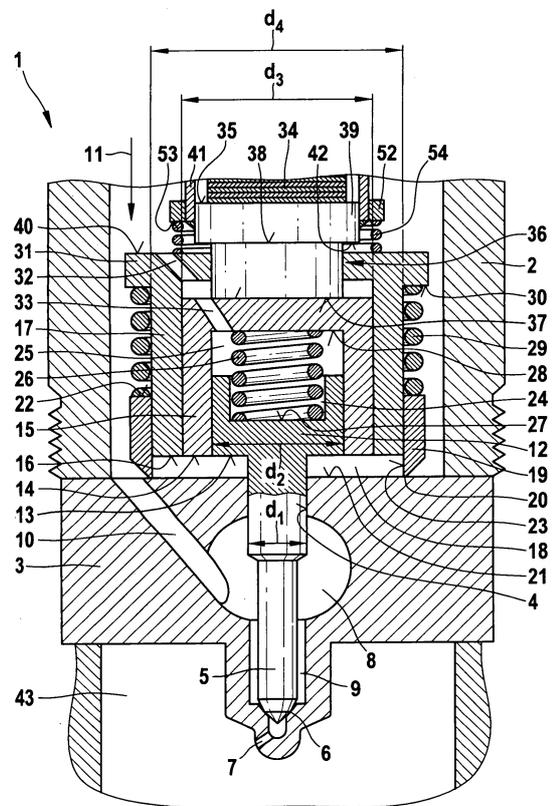
(72) Erfinder:

Boecking, Friedrich, 70499 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Kraftstoffinjektor mit zweistufigem Übersetzer

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Kraftstoffinjektor für eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Düsennadel (5), die mindestens eine Einspritzöffnung (7) verschließt oder freigibt. An einem der mindestens einen Einspritzöffnung (7) entgegengesetzten Ende ist an der Düsennadel (5) eine stufenförmige Erweiterung (12) ausgebildet, durch welche eine in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung (7) weisende Stirnfläche (13) geformt wird. Die Stirnfläche (13) sowie jeweils eine Stirnseite (14) eines ersten Übersetzers (15) und eine Stirnseite (16) eines zweiten Übersetzers (17) begrenzen eine Seite eines Steuer-raums (18), wobei der erste Übersetzer (15) und der zweite Übersetzer (14) mittels eines Aktors (34) in den Steuer-raum hinein- oder aus diesem herausbewegt werden.



Beschreibung

Darstellung der Erfindung

Technisches Gebiet

[0001] Zur Kraftstoffzumessung in Verbrennungskraftmaschinen werden Kraftstoffinjektoren eingesetzt. Insbesondere in selbstzündenden Verbrennungskraftmaschinen mit Hochdruckspeicher wird die Düsennadel zum Öffnen und Verschließen der Einspritzöffnungen hydraulisch gesteuert. Der hierzu erforderliche Hydraulikdruck im Steuerraum wird durch Übersetzer aufgebaut, die von Aktoren angesteuert werden.

Stand der Technik

[0002] Bei Kraftstoffinjektoren, wie sie nach dem Stand der Technik eingesetzt werden, wird ein Steuerventil durch einen Aktor betätigt. Der Aktor ist zum Beispiel ein Piezoaktor oder ein elektromagnetischer Aktor. Durch das Steuerventil wird eine Verbindung von einem unter Druck stehenden Steuerraum in eine Niederdruckleitung geöffnet oder verschlossen. Eine Seite des Steuerraums wird durch eine Stirnfläche der Düsennadel, welche die mindestens eine Einspritzdüse öffnet oder verschließt, begrenzt. Sobald das Steuerventil geöffnet wird, sinkt der Druck im Steuerraum ab. Hierdurch nimmt gleichzeitig die Druckkraft, welche auf die Düsennadel wirkt, ab. Sobald die in entgegengesetzte Richtung wirkende Kraft größer ist als die Druckkraft, die auf die den Steuerraum begrenzende Stirnfläche der Düsennadel wirkt, ist, bewegt sich die Düsennadel in den Steuerraum hinein und gibt so die mindestens eine Einspritzöffnung frei. Zum Verschließen der Einspritzöffnung wird das Steuerventil wieder verschlossen, wodurch der Druck im Steuerraum erneut zunimmt. Sobald die aufgrund des steigenden Drucks zunehmende Druckkraft auf die Stirnfläche der Düsennadel größer ist als die in entgegengesetzte Richtung wirkenden Kräfte auf die Düsennadel, bewegt sich die Düsennadel in Richtung der Einspritzöffnung und verschließt diese.

[0003] Bei Verwendung eines Piezoaktors als Stellglied führt dieser Aufbau des Kraftstoffinjektors dazu, dass bei verschlossenen Einspritzdüsen der Piezoaktor bestromt ist und dabei eine Längenausdehnung erfährt. Lediglich zum Öffnen der Einspritzdüsen wird die Spannung vom Piezoaktor genommen. Der Aktor ist daher im geschlossenen Zustand andauernd bestromt.

[0004] Ein weiterer Nachteil der aus dem Stand der Technik bekannten Kraftstoffinjektoren ist, dass aufgrund der hohen Übersetzung des Aktors zur Düsennadel von 1:4, die Steifigkeit des Injektorsystems insbesondere im unteren Teilhub verringert wird, so dass eine Einspritzverlaufsformung nicht möglich ist.

[0005] Der erfindungsgemäß ausgebildete Kraftstoffinjektor umfasst ein Injektorgehäuse mit einer Bohrung, in welcher eine Düsennadel aufgenommen ist. Die Bohrung erweitert sich in einen Düsenraum, welcher von einem Hochdruckspeicher mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff versorgt wird. Zwischen dem Düsenraum und einem Ventilsitz ist die Düsennadel von einem ringförmigen Spalt umschlossen. Über diesen Spalt gelangt der Kraftstoff bei geöffnetem Einspritzventil zur Einspritzöffnung. Solange die Düsennadel im Ventilsitz steht, ist die Einspritzöffnung verschlossen und es gelangt kein Kraftstoff in den Brennraum. Sobald sich die Düsennadel aus dem Ventilsitz hebt, gelangt unter hohem Druck stehender Brennstoff von dem ringförmigen Spalt zur Einspritzdüse und wird in den Brennraum eingespritzt.

[0006] An dem der Einspritzöffnung entgegengesetzten Ende erweitert sich die Düsennadel unter Ausbildung einer in Richtung der Einspritzöffnung weisenden Stirnfläche. Die Stirnfläche der Düsennadel sowie jeweils eine Stirnseite eines ersten Übersetzers und eine Stirnseite eines zweiten Übersetzers begrenzen eine Seite eines Steuerraums. Eine weitere Begrenzung des Steuerraums wird durch eine Stirnfläche eines unteren Gehäuseteils gebildet. Mittels eines Aktors werden die Stirnfläche des ersten Übersetzers und die Stirnfläche des zweiten Übersetzers in den Steuerraum hinein bewegt oder aus diesem heraus bewegt.

[0007] In einer bevorzugten Ausführungsform wirkt der Aktor auf eine erste Stirnfläche eines Steuerkolbens. Eine zweite Stirnfläche des Steuerkolbens wirkt auf den ersten Übersetzer. Bei einer Bewegung des Aktors in Richtung der Einspritzdüsen wird der Steuerkolben und damit der erste Übersetzer in die gleiche Richtung bewegt. Hierdurch wird die Stirnfläche des ersten Übersetzers in den Steuerraum hinein bewegt, wodurch sich dessen Volumen verringert und damit der Druck im Steuerraum steigt. Aufgrund des zunehmenden Drucks im Steuerraum vergrößert sich die auf die Stirnfläche der Düsennadel wirkende Druckkraft. Sobald die auf die Stirnfläche der Düsennadel wirkende Kraft größer ist als die in entgegengesetzte Richtung wirkende Kraft auf die Düsennadel, hebt sich die Düsennadel aus ihrem Sitz und gibt so die Einspritzöffnung frei.

[0008] Bei weiterer Bewegung des Aktors in Richtung der Einspritzöffnungen schlägt der zweite Übersetzer an eine Rippe am Steuerkolben an und wird so ebenfalls in den Steuerraum hinein bewegt. Hierdurch steigt der Druck im Steuerraum weiter an, wodurch die Düsennadel weiter geöffnet wird. Die Bewegung des Steuerkolbens führt dazu, dass ein als Druckfeder ausgebildetes Federelement, welches

die Rippe des Steuerkolbens umschließt und sich mit einer Seite gegen eine an der Rippe des Steuerkolbens angeordnete Anlagefläche und mit der anderen Seite gegen den zweiten Übersetzer abstützt, zusammengedrückt wird.

[0009] Zum Verschließen der Einspritzöffnung wird der Aktor wieder in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Hierdurch bewegt sich der Steuerkolben von der Einspritzöffnung weg, wodurch der erste und der zweite Übersetzer aus dem Steuerraum herausbewegt werden. Dies führt zu einer Vergrößerung des Volumens des Steuerraums und damit zu einer Abnahme des Drucks, was wiederum zu einer Bewegung der Düsennadel in den Steuerraum und damit zum Schließen der Einspritzöffnungen führt. Während der Bewegung des Steuerkolbens von der Einspritzöffnung weg, wird das die Rippe am Steuerkolben umschließende Federelement entlastet. Die Bewegung des zweiten Übersetzters wird beendet, sobald die auf den zweiten Übersetzer wirkenden Druck- und Federkräfte ausgeglichen sind. Die Bewegung des ersten Übersetzters ist beendet, sobald der Aktor nicht mehr bewegt wird.

[0010] Ein fester Anschlag zur Beendigung der Bewegung des zweiten Übersetzters hat den Nachteil, dass aufgrund von Temperaturschwankungen auftretende Dichteunterschiede nicht ausgeglichen werden können. So führt bei einem konstanten Volumen des Steuerraumes eine Dichtezunahme zu einem Druckabfall und eine Dichteabnahme zu einer Druckzunahme im Steuerraum. Hieraus resultieren aufgrund der unterschiedlichen aufzuwendenden Kräfte zum Öffnen und Schließen der Düsennadel unerwünschte Änderungen im Einspritzverhalten.

[0011] Dadurch, dass zunächst der erste Übersetzer in den Steuerraum einfährt, wird die Einspritzöffnung mit hoher Steifigkeit bei kleiner Übersetzung schnell und präzise geöffnet. Sobald der erste Übersetzer und der zweite Übersetzer in den Steuerraum eingefahren werden, nimmt die Übersetzung zu. Dies führt dazu, dass bei kleinem Aktorhub ein großer Öffnungsweg erreicht wird.

[0012] Durch die Abstimmung, zu welchem Zeitpunkt der zweite Übersetzer während des Öffnungs- bzw. Schließvorgangs in den Steuerraum ein- bzw. ausfährt, kann eine gute Einspritzverlaufsformung erreicht werden. Das heißt, dass der Einspritzverlauf an den Betrieb der Verbrennungskraftmaschine angepasst werden kann und so der Kraftstoffverbrauch gesenkt bzw. die Leistung erhöht werden kann.

[0013] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Düsennadel, der erste Übersetzer und der zweite Übersetzer rotationssymmetrisch ausgebildet, wobei der erste Übersetzer das erweiterte Ende der Düsennadel umschließt und der erste Übersetzer vom zwei-

ten Übersetzer umschlossen ist.

[0014] In einer Ausführungsform ist in dem erweiterten Ende der Düsennadel auf der der Einspritzöffnung abgewandten Seite eine topfförmige Ausnehmung ausgebildet. In der topfförmigen Ausnehmung ist ein Federelement, welches vorzugsweise als Spiralfeder ausgebildet ist, aufgenommen, welches sich mit einer Seite gegen den Boden der topfförmigen Ausnehmung und mit der anderen Seite gegen den ersten Übersetzer abstützt. Bei geschlossener Einspritzöffnung ist die Federkraft des Federelements größer als die Druckkraft, die auf die Stirnfläche, die zum Steuerraum hinweist, wirkt, so dass die Düsennadel aufgrund der Federkraft in den Ventilsitz gestellt wird. Sobald die Druckkraft, die auf die Stirnfläche, die zum Steuerraum hinweist, wirkt, größer ist, als die Federkraft des Federelements, hebt sich die Düsennadel aus ihrem Sitz und gibt so die Einspritzöffnung frei.

[0015] In einer Ausführungsform ist der zweite Übersetzer von einem ringförmigen Element umschlossen, welches mit einer Beißkante in das untere Gehäuseteil gestellt ist. Das ringförmige Element bildet mit der Innenseite die seitliche Begrenzung des Steuerraums. Weiterhin ist der zweite Übersetzer von einem als Druckfeder ausgebildeten Federelement umschlossen, welches sich mit einer Seite gegen eine der Beißkante gegenüber liegende Stirnfläche des ringförmigen Elements und mit der zweiten Seite gegen eine Rippe am zweiten Übersetzer abstützt. Sobald der zweite Übersetzer in den Steuerraum hineinbewegt wird, wird das Federelement zusammengepresst, wodurch die Federkraft zunimmt. Sobald der Steuerkolben wieder zurückbewegt wird, wird der zweite Übersetzer aufgrund der Federkraft des Federelements wieder aus dem Steuerraum herausbewegt.

Ausführungsbeispiel

Zeichnung

[0016] Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer Zeichnung näher beschrieben.

[0017] Es zeigt:

[0018] [Fig. 1](#) einen Schnitt durch einen erfindungsgemäß ausgebildeten Kraftstoffinjektor,

[0019] [Fig. 2](#) den zeitlichen Verlauf des Aktorhubs und des Nadelhubs eines erfindungsgemäß ausgebildeten Kraftstoffinjektors.

Ausführungsvarianten

[0020] [Fig. 1](#) zeigt einen Schnitt durch einen erfindungsgemäß ausgebildeten Kraftstoffinjektor.

[0021] Ein Kraftstoffinjektor **1** umfasst ein oberes Gehäuseteil **2** und ein unteres Gehäuseteil **3**. Im unteren Gehäuseteil **3** ist eine Bohrung **4** ausgeführt, in welcher eine Düsennadel **5** geführt ist. Mittels der Düsennadel **5** wird mindestens eine Einspritzöffnung **7** freigegeben oder verschlossen. Zum Verschließen der mindestens einen Einspritzöffnung **7** wird die Düsennadel **5** in einen Ventilsitz **6** gestellt. Sobald sich die Düsennadel **5** aus dem Ventilsitz **6** hebt, ist eine Verbindung von einem Düsenraum **8** über einen Ringspalt **9** zur Einspritzöffnung **7** freigegeben, über welche der Kraftstoff strömt. In den Düsenraum **8** gelangt der Kraftstoff über eine Hochdruckleitung **10**, welche mit einem ähnlich dargestellten Kraftstoffhochdruckspeicher verbunden ist. Die Zufuhr des Kraftstoffs vom Kraftstoffhochdruckspeicher zur Hochdruckleitung **10** ist mit dem Pfeil **11** markiert.

[0022] An dem der mindestens einen Einspritzöffnung **7** entgegengesetzten Ende ist an der Düsennadel **5** eine stufenförmige Erweiterung **12** ausgebildet. Die stufenförmige Erweiterung **12** weist an ihrem der mindestens einen Einspritzöffnung **7** zuweisenden Ende eine Stirnfläche **13** auf, welches mit einer Stirnseite **14** eines ersten Übersetzers **15** und einer Stirnseite **16** eines zweiten Übersetzers **17** eine Seite eines Steuerraums **18** begrenzt. In der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform umschließt der erste Übersetzer **15** die stufenförmige Erweiterung **12** der Düsennadel **5**. Gleichzeitig ist der erste Übersetzer **12** vom zweiten Übersetzer **17** umschlossen.

[0023] Der zweite Übersetzer **17** ist von einem ringförmigen Element **19** umschlossen, welches mit einer Beißkante **20** an eine obere Stirnfläche **21** des unteren Gehäuseteils **3** angestellt ist. Durch Ausüben einer Druckkraft auf eine der Beißkante **20** gegenüber liegende Stirnfläche **22** des ringförmigen Elements **19** ist das ringförmige Element **19** flüssigkeitsdicht mit der oberen Stirnfläche **21** des unteren Gehäuseteils **3** verbunden.

[0024] Neben der Stirnfläche **13** der stufenförmigen Erweiterung **12** der Düsennadel **5**, der Stirnseite **14** des ersten Übersetzers **15** und der Stirnseite **16** des zweiten Übersetzers **17** ist der Steuerraum **18** durch die Innenseite **23** des ringförmigen Elements **19** und die obere Stirnfläche **21** des unteren Gehäuseteils **3** begrenzt.

[0025] In der stufenförmigen Erweiterung **12** der Düsennadel **5** ist auf der der mindestens einen Einspritzöffnung **7** abgewandten Seite eine topfförmige Ausnehmung **24** ausgebildet. Die stufenförmige Erweiterung **12** der Düsennadel **5** mitsamt der topfförmigen Ausnehmung **24** und der erste Übersetzer **15** umschließen einen zweiten Steuerraum **25**. Im zweiten Steuerraum **25** ist ein erstes Federelement **26** aufgenommen, welches sich mit einer Seite gegen den Boden **27** der topfförmigen Ausnehmung **24** und mit der

zweiten Seite gegen den ersten Übersetzer **15** abstützt. In der hier dargestellten Ausführungsform ist der erste Übersetzer **15** topfförmig ausgebildet, so dass sich das erste Federelement **26** gegen den Boden **28** des topfförmig ausgebildeten ersten Übersetzers **15** abstützt. Das erste Federelement **26** ist vorzugsweise eine als Druckfeder arbeitende Spiralfeder, es ist aber auch jede andere, dem Fachmann bekannte Druckfedervariante einsetzbar.

[0026] Der zweite Übersetzer **17** ist von einem zweiten Federelement **29** umgeben. Das zweite Federelement **29** stützt sich mit einer Seite gegen die Stirnfläche **22** des ringförmigen Elements **19** und mit der zweiten Seite gegen eine Stirnfläche **30** einer Rippe **31** ab, die an dem der mindestens einen Einspritzöffnung **7** abgewandten Ende des zweiten Übersetzers **17** ausgebildet ist.

[0027] Über einen Bypass **32** im Boden des in der hier dargestellten Ausführungsform topfförmig ausgebildeten zweiten Übersetzers **17** und einen weiteren Bypass **33** im Boden des in dieser Ausführungsform ebenfalls topfförmig ausgebildeten ersten Übersetzers **15** wird der zweite Steuerraum **25** mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff versorgt. Bei einer Bewegung mit der Düsennadel **5** in den zweiten Steuerraum **25**, wodurch sich dessen Volumen verringert, kann Kraftstoff aus dem Steuerraum **25** über den Bypass **32**, **33** herausströmen, so dass der Druck im zweiten Steuerraum **25** konstant bleibt.

[0028] Zur Steuerung der Düsennadel **5** ist im Kraftstoffinjektor **1** ein Aktor **34** angeordnet. Der Aktor **34** ist vorzugsweise ein Piezoaktor. Der Aktor **34** wirkt auf eine obere Stirnfläche **35** eines Steuerkolbens **36**. Mit einer unteren Stirnfläche **37** wirkt der Steuerkolben **36** auf eine obere Stirnfläche **38** des ersten Übersetzers **15**. Mit einer Stirnfläche **42** einer Rippe **39**, welche den Steuerkolben **36** umschließt, wirkt dieser auf eine obere Stirnfläche **40** des zweiten Übersetzers **17**.

[0029] Zur Unterstützung der Bewegungen des Steuerkolbens **36** ist an der Rippe **39** eine Rohrfeder **41** formschlüssig angebracht.

[0030] An die Rohrfeder **41** schließt sich in der hier dargestellten Ausführungsform eine Rippe **52** mit einer Anlagefläche **53** an, gegen welche sich ein als Druckfeder ausgebildetes drittes Federelement **54** mit einer Seite abstützt. Mit der anderen Seite stützt sich das dritte Federelement **54** gegen den zweiten Übersetzer **17** ab. In der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform umschließt das Federelement **54** den Steuerkolben **36**. Das Federelement **54** ist vorzugsweise eine Spiralfeder, es kann aber auch jede weitere, dem Fachmann bekannte Druckfedervariante als Federelement **54** eingesetzt werden.

[0031] Zum Öffnen der mindestens einen Einspritzöffnung **7** wird der Aktor **34** bestromt. Hierdurch erfährt der Aktor **34** eine Längenausdehnung in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung **7**. Aufgrund der Längenausdehnung des Aktors **34** wird der Steuerkolben **36** und damit der erste Übersetzer **15** in Richtung der Einspritzöffnung bewegt. Die Bewegung des ersten Übersetzers **15** in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung **7** führt dazu, dass die Stirnseite **14** des ersten Übersetzers **15** in den Steuerraum **18** hineinbewegt wird. Hierdurch verkleinert sich das Volumen des Steuerraums **18**. Aufgrund von Leckageströmungen zwischen dem ersten Übersetzer **15** und dem zweiten Übersetzer **17** sowie dem ersten Übersetzer **15** und der stufenförmigen Erweiterung **12** der Düsennadel **5** sowie durch Leckageströmungen entlang der Bohrung **4**, in welche die Düsennadel **5** geführt ist, ist der Steuerraum **18** mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff gefüllt. Durch die Verringerung des Volumens des Steuerraums **18** erhöht sich der Druck im Steuerraum **18**. Aufgrund des steigenden Drucks im Steuerraum **18** nimmt die auf die Stirnfläche **13** der stufenförmigen Erweiterung **12** wirkende Druckkraft zu. Sobald die auf die Stirnfläche **13** wirkende Druckkraft größer ist als die im zweiten Steuerraum **25** auf die stufenförmige Erweiterung **12** der Düsennadel **5** wirkenden Druckkräfte und die Federkraft des ersten Federelements **26**, bewegt sich die Düsennadel **5** in Richtung des Steuerkolbens **36**. Hierdurch hebt sich die Düsennadel **5** aus dem Ventilsitz **6** und gibt so die mindestens eine Einspritzöffnung **7** frei. Der Einspritzvorgang beginnt.

[0032] Durch die Längenausdehnung des Aktors **34** und die zunächst konstante Position des zweiten Übersetzers **17** wird das den Steuerkolben **36** umschließende dritte Federelement **54** zusammengedrückt, bis die Stirnfläche **42** der Rippe **39** am Steuerkolben **36** an der oberen Stirnfläche **40** des zweiten Übersetzers **17** anschlägt. Bei einer weiteren Längenausdehnung des Aktors **34** bewegt dieser über den Steuerkolben **36** den zweiten Übersetzer **17** ebenfalls in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung **7**. Sobald die obere Stirnfläche **40** des zweiten Übersetzers **17** an die Stirnfläche **42** der Rippe **39** angeschlagen ist, werden sowohl der erste Übersetzer **15** als auch der zweite Übersetzer **17** in den Steuerraum **18** hineinbewegt. Dies führt zu einer weiteren Verringerung des Volumens und damit einer weiteren Druckerhöhung im Steuerraum **18**. Dies führt zu einer weiteren Bewegung der Düsennadel **5** in Richtung des Steuerkolbens **36** und damit zu einer weiteren Zunahme des Durchflussquerschnitts am Ventilsitz **6**.

[0033] Beim Öffnen der Düsennadel **5** wird das erste Federelement **26** zusammengedrückt. Je kleiner der Abstand zwischen dem Boden **27** der topfförmigen Ausnehmung **24** und dem Boden **28** des ersten Übersetzers **15** ist, um so größer ist die Kraft, die aufgewendet werden muss, um das erste Federelement

26 weiter zusammenzudrücken. Die Bewegung der Düsennadel **5** in Richtung des Steuerkolbens **36** ist spätestens dann beendet, wenn das Federelement **26** nicht weiter zusammengedrückt werden kann.

[0034] Bei der hier dargestellten Ausführungsform mit rotationssymmetrisch ausgebildeter Düsennadel **5** und ebenfalls rotationssymmetrisch ausgebildetem ersten Übersetzer **15** und zweiten Übersetzer **17** berechnet sich das Übersetzungsverhältnis, solange nur der erste Übersetzer **15** bewegt wird, aus der Differenz des Durchmessers d_1 der Düsennadel **5** im Bereich der Bohrung **4** und des Durchmessers d_2 der Düsennadel **5** im Bereich der stufenförmigen Erweiterung **12** zur Differenz des Außendurchmessers d_3 des ersten Übersetzers **15** und des Durchmessers d_2 der stufenförmigen Erweiterung **12**. Das Übersetzungsverhältnis $d_2 - d_1 : d_3 - d_2$ liegt dabei im Bereich von $1 : 1$ bis $1 : 1,5$. Aufgrund dieser kleinen Übersetzung wird die Düsennadel **5** mit hoher Steifigkeit schnell und präzise geöffnet.

[0035] Sobald auch der zweite Übersetzer **17** mit in den Steuerraum **18** hineinbewegt wird, berechnet sich das Übersetzungsverhältnis aus der Differenz des Durchmessers d_2 der stufenförmigen Erweiterung **12** und des Durchmessers d_1 der Düsennadel **5** im Bereich der Bohrung **4** zur Differenz des Außendurchmessers d_4 des zweiten Übersetzers **17** und des Durchmessers d_2 der stufenförmigen Erweiterung **12**. Die Übersetzung $d_2 - d_1 : d_4 - d_2$ liegt dabei im Bereich von $1 : 4$ bis $1 : 7$. Aufgrund der hohen Übersetzung führt bereits eine kleine Bewegung des ersten Übersetzers **15** und des zweiten Übersetzers **17** in den Steuerraum **18** zu einer starken Druckerhöhung und zu einer großen Bewegung der Düsennadel **5**. Aus diesem Grund reicht bereits ein kleiner Hub des Aktors **34**, um die Düsennadel **5** weit zu öffnen. Aufgrund der durch die Öffnung der Düsennadel **5** zunehmenden Federkraft im ersten Federelement **26** nimmt mit zunehmender Öffnung der Düsennadel **5** die Öffnungsgeschwindigkeit ab.

[0036] Durch die Verwendung des ersten Übersetzers **15** und des zweiten Übersetzers **17** zur Öffnung der mindestens einen Einspritzöffnung **7** kann durch die Einstellung des Zeitpunkts, zu welchem der zweite Übersetzer **17** bewegt wird, der Einspritzverlauf optimal an die Verbrennung im Brennraum **43** angepasst werden. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Aufbaus des Kraftstoffinjektors **1** mit den zwei Übersetzern **15**, **17** ist, dass durch die Bewegung der Übersetzer **15**, **17** in den Steuerraum **18** hinein zum Öffnen der mindestens einen Einspritzöffnung **7** der Aktor **34** zum Öffnen mit Spannung versorgt wird und zum Schließen die Spannung vom Aktor **34** genommen wird.

[0037] Zum Schließen der mindestens einen Einspritzöffnung **7** wird die Spannung vom Aktor **34** ge-

nommen. Hierdurch verkürzt sich der Aktor **34** durch Zusammenziehen des Piezokristallstapels und der Steuerkolben **36** wird, unterstützt von der Rohrfeder **41**, in Richtung von der mindestens einen Einspritzöffnung **7** wegbewegt. Hierdurch bewegen sich zunächst sowohl der erste Übersetzer **15** als auch der zweite Übersetzer **17** aus dem Steuerraum **18** heraus. Dies führt zu einer Vergrößerung des Volumens im Steuerraum **18** und damit zu einer Druckabnahme. Die Druckabnahme im Steuerraum **18** führt wiederum dazu, dass die Druckkraft, die auf die Stirnfläche **13** der stufenförmigen Erweiterung **12** der Düsennadel **5** wirkt, abnimmt. Sobald die Druckkraft auf die Stirnfläche **13** der stufenförmigen Erweiterung **12** kleiner ist als die Druckkraft auf die stufenförmige Erweiterung im Steuerraum **25** und die Druckkraft des ersten Federelements **26** bewegt sich die Düsennadel **5** in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung **7**. Die Bewegung des zweiten Übersetzers **17** in Richtung des Aktors **34** wird durch das zweite Federelement **29** unterstützt. Beim Öffnen der mindestens einen Einspritzöffnung **7** wird das zweite Federelement **29** durch die Bewegung des zweiten Übersetzers **17** in den Steuerraum **18** hinein zusammengedrückt. Dadurch nimmt die Federkraft, die auf die Stirnfläche **30** der Rippe **31** am zweiten Übersetzer **17** und die Stirnfläche **22** des ringförmigen Elements **19** wirkt, zu. Diese Federkraft des zweiten Federelements **29** wirkt bei Verschließen der mindestens einen Einspritzöffnung auf die Stirnfläche **30** der Rippe **31** und unterstützt so die Bewegung des zweiten Übersetzers **17** in Richtung des Aktors **34**. Das Federelement **29** ist vorzugsweise eine als Spiralfeder ausgebildete Druckfeder. Es ist aber auch jede weitere, dem Fachmann bekannte Druckfedervariante als Federelement **29** einsetzbar. Bei weiterer Verkürzung des Aktors **34** und damit Bewegung des Steuerkolbens **36** in Richtung des Aktors **34** durch Zurücknahme der Bestromung und dem daraus resultierenden Zusammenziehen des Piezokristallstapels des Aktors **34** wird das dritte Federelement **54** wieder entlastet. Die Bewegung des zweiten Übersetzers **17** wird an der Ausgangsposition durch Kräfteausgleich der auf die Stirnflächen **16**, **40** wirkenden Druckkräfte und der Federkräfte des zweiten Federelements **29** und des dritten Federelements **54** gestoppt.

[0038] Durch die weitere Bewegung des Steuerkolbens **36** in Richtung des Aktors **34** bewegt sich der erste Übersetzer **15** unterstützt durch die Federkraft des ersten Federelements **26** ebenfalls weiter in Richtung des Aktors **34**. Hierdurch bewegt sich die Stirnseite **14** des ersten Übersetzers **15** weiter aus dem Steuerraum **18** heraus, was zu einer Vergrößerung des Volumens des Steuerraums **18** und damit zu einer Druckabnahme im Steuerraum **18** führt. Die weitere Druckabnahme im Steuerraum **18** führt zu einer weiteren Bewegung der Düsennadel **5** in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung **7**, bis die Düsennadel **5** in den Ventilsitz gestellt ist und so die

mindestens eine Einspritzöffnung **7** verschlossen ist.

[0039] In [Fig. 2](#) sind der zeitliche Verlauf des Aktorhubs und der zeitliche Verlauf des Öffnungshubs der Düsennadel dargestellt.

[0040] In dem Diagramm in [Fig. 2](#) ist auf der Abszisse die Zeit t und auf der Ordinate der Hub h aufgetragen. Um den Einspritzvorgang zu starten, wird der Aktor **34** bestromt. Sobald auf den Aktor **34** eine Spannung gegeben wird, beginnt dessen Piezokristallstapel sich auszudehnen. Mit Beginn der Ausdehnung des Aktors **34** bis zum Zeitpunkt t_1 wird der erste Übersetzer **15** in den Steuerraum **18** hineinbewegt. Zum Zeitpunkt t_1 schlägt die Stirnfläche **42** der Rippe **39** an der oberen Stirnfläche **40** des zweiten Übersetzers **17** an und beginnt diesen ebenfalls in Richtung des Steuerraums **18** zu bewegen. Die Längenzunahme des Aktors **34** ist mit Bezugszeichen **44** gekennzeichnet. Sobald der Aktor **34** seine maximale Länge erreicht hat und weiterhin bestromt bleibt, ändert er seine Länge nicht mehr. Der Zeitraum des maximalen Hubs des Aktors **34** ist mit Bezugszeichen **45** gekennzeichnet. Um den Einspritzvorgang zu beenden, wird die Spannung am Aktor **34** zurückgenommen. Hierdurch verkürzt sich dessen Piezokristallstapel wieder auf die ursprüngliche Länge. Dies ist im Diagramm in [Fig. 2](#) durch den Kurvenabschnitt **46** dargestellt. Etwas zeitversetzt zum Beginn der Bestromung des Aktors **34** beginnt sich die Düsennadel **5** aus dem Ventilsitz **6** zu heben. Die schnelle Öffnungsbewegung der Düsennadel **5** ist durch den Kurvenabschnitt **47** dargestellt. Sobald zum Zeitpunkt t_1 der zweite Übersetzer **17** mit in den Steuerraum **18** hineinbewegt wird, nimmt die Öffnungsgeschwindigkeit der Düsennadel **5** ab. Dies zeigt sich durch den flacheren Kurvenverlauf **48**. Die Abnahme der Öffnungsgeschwindigkeit resultiert aus der zunehmenden Kraft, die auf den Aktor **34** wirkt. Diese bewirkt, dass die Geschwindigkeit, mit der sich die Piezokristalle ausdehnen, abnimmt.

[0041] Der Öffnungsvorgang der Düsennadel **5** wird durch die Kompression des ersten Federelements **26** oder durch Anschlagen an einen hier nicht dargestellten Anschlag gestoppt. Aus diesem Grund ändert sich wie mit Bezugszeichen **49** dargestellt, der Hub der Düsennadel **5** zunächst nicht weiter. Sobald die Bestromung des Aktors **34** beendet ist und dieser wieder verkürzt, bewegen sich zunächst beide Übersetzer **15**, **17** aus dem Steuerraum **18** heraus. Mit einer kleinen Zeitverzögerung beginnt auch die Düsennadel **5** sich erneut in Richtung der Einspritzöffnung **7** zu bewegen. Solange sowohl der erste Übersetzer **15** als auch der zweite Übersetzer **17** bewegt werden, bewegt sich die Düsennadel **5** langsam, wie mit Bezugszeichen **50** dargestellt. Die Schließgeschwindigkeit der Düsennadel nimmt weiter zu, sobald nur noch der erste Übersetzer **15** aus dem Steuerraum **18** heraus bewegt wird. Dies ist im

Kurvenabschnitt mit Bezugszeichen **51** dargestellt.

Bezugszeichenliste

1	Kraftstoffinjektor
2	oberes Gehäuseteil
3	unteres Gehäuseteil
4	Bohrung
5	Düsennadel
6	Ventilsitz
7	Einspritzöffnung
8	Düsenraum
9	Ringspalt
10	Hochdruckleitung
11	Kraftstoffzufuhr
12	stufenförmige Erweiterung
13	Stirnfläche
14	Stirnseite des ersten Übersetzers 15
15	erster Übersetzer
16	Stirnseite des zweiten Übersetzers 17
17	zweiter Übersetzer
18	Steuerraum
19	ringförmiges Element
20	Beißkante
21	obere Stirnfläche des unteren Gehäuseteils 3
22	Stirnfläche des ringförmigen Elements 19
23	Innenseite des ringförmigen Elements 19
24	topfförmige Ausnehmung
25	zweiter Steuerraum
26	erstes Federelement
27	Boden der topfförmigen Ausnehmung 24
28	Boden des ersten Übersetzers 15
29	zweites Federelement
30	Stirnfläche der Rippe 31
31	Rippe
32	Bypass im zweiten Übersetzer 17
33	Bypass im ersten Übersetzer 15
34	Aktor
35	obere Stirnfläche des Steuerkolbens 36
36	Steuerkolben
37	untere Stirnfläche des Steuerkolbens 36
38	obere Stirnfläche des ersten Übersetzers 15
39	Rippe am Steuerkolben 36
40	obere Stirnfläche des zweiten Übersetzers 17
41	Rohrfeder
42	Stirnfläche
43	Brennraum
44	Längenzunahme des Aktors
45	maximaler Hub des Aktors
46	Längenabnahme des Aktors
47	erster Öffnungsabschnitt der Düsennadel 5
48	zweiter Öffnungsabschnitt der Düsennadel 5
49	maximaler Öffnungshub der Düsennadel 5
50	erster Schließabschnitt der Düsennadel 5
51	zweiter Schließabschnitt der Düsennadel 5
52	Rippe
53	Anlagefläche
54	drittes Federelement
d_1	Durchmesser der Düsennadel 5 im Bereich der Bohrung 4

d_2	Durchmesser der stufenförmigen Erweiterung 12
d_3	Außendurchmesser des ersten Übersetzers 15
d_4	Außendurchmesser des zweiten Übersetzers 17
h	Hub
h_1	Hub
t	Zeit
t_1	Zeitpunkt

Patentansprüche

1. Kraftstoffinjektor für eine Verbrennungskraftmaschine mit einer Düsennadel (**5**), die mindestens eine Einspritzöffnung (**7**) verschließt oder freigibt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Düsennadel (**5**) an einem der mindestens einen Einspritzöffnung (**7**) entgegengesetzten Ende eine stufenförmige Erweiterung (**12**) aufweist, welche eine in Richtung der mindestens einen Einspritzöffnung (**7**) weisende Stirnfläche (**13**) ausbildet, jeweils eine Stirnseite (**14**) eines ersten Übersetzers (**15**) und eine Stirnseite (**16**) eines zweiten Übersetzers (**17**) sowie die Stirnfläche (**13**) der stufenförmigen Erweiterung (**12**) der Düsennadel (**5**) eine Seite eines Steuerraums (**18**) begrenzen und wobei der erste Übersetzer (**15**) und der zweite Übersetzer (**17**) mittels eines Aktors (**34**) in den Steuerraum (**18**) hinein- oder aus diesem herausbewegt werden.

2. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Übersetzer (**15**) die stufenförmige Erweiterung (**12**) der Düsennadel (**5**) umschließt.

3. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Übersetzer (**15**) von dem zweiten Übersetzer (**17**) umschlossen ist.

4. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor (**34**) auf eine obere Stirnfläche (**35**) eines Steuerkolbens (**36**) wirkt und der Steuerkolben (**36**) mit einer unteren Stirnfläche (**37**) auf eine obere Stirnfläche (**38**) des ersten Übersetzers (**15**) wirkt.

5. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Steuerkolben eine Rippe (**31**) aufweist, die mit einer Stirnfläche (**30**) auf den zweiten Übersetzer (**17**) wirkt.

6. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der stufenförmigen Erweiterung (**12**) der Düsennadel (**5**) auf der der mindestens einen Einspritzöffnung (**7**) abgewandten Seite eine topfförmige Ausnehmung (**24**) ausgebildet ist.

7. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der stufenförmigen

Erweiterung (12) der Düsenadel (5) und dem ersten Übersetzer (15) ein zweiter Streuerraum (25) ausgebildet ist, in welchem ein erstes Federelement (26) aufgenommen ist, welches sich mit einer Seite gegen den Boden (27) der topfförmigen Ausnehmung (24) und mit der anderen Seite gegen den Boden (28) des ersten Übersetzers (15) abstützt.

8. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Übersetzer (17) von einem ringförmigen Element (19) umschlossen ist, welches mit einer Beißkante (20) in eine obere Stirnfläche (21) eines unteren Gehäuseteils (3) gestellt ist und welches mit der Innenseite (23) den Steuerraum (18) begrenzt.

9. Kraftstoffinjektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Übersetzer (17) von einem zweiten Federelement (29) umschlossen ist, welches sich mit einer Seite gegen eine der Beißkante (20) gegenüberliegende Stirnfläche (22) des ringförmigen Elements (19) und mit der zweiten Seite gegen eine Stirnfläche (30) einer Rippe (31) am zweiten Übersetzer (17) abstützt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

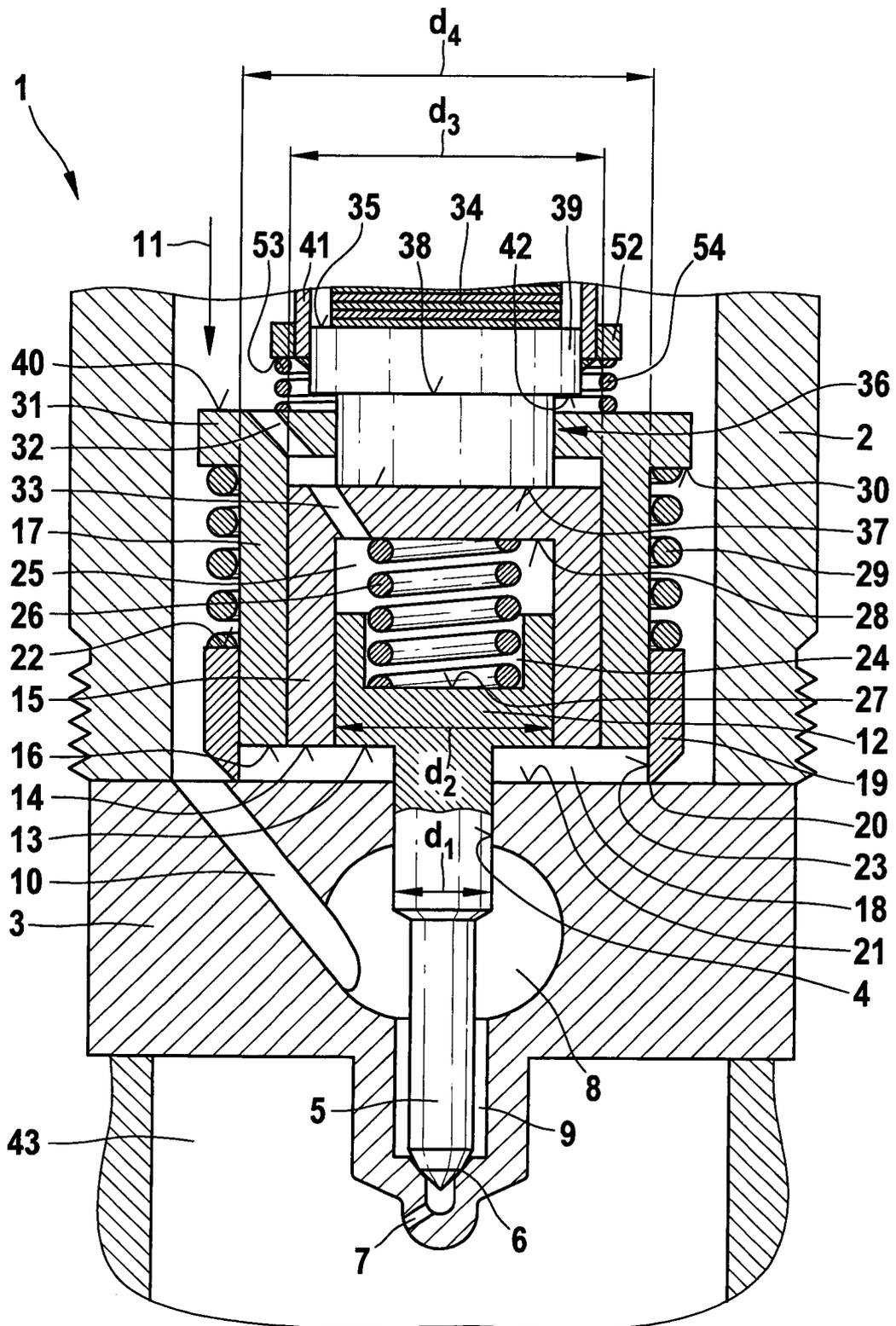


Fig. 1

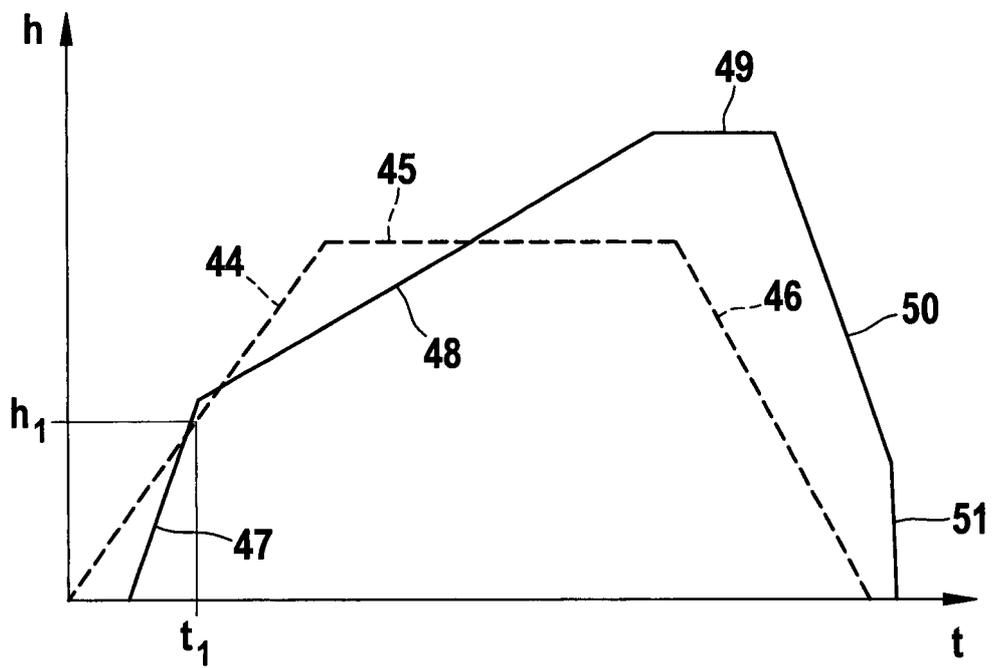


Fig. 2