



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 085 277.8**

(22) Anmeldetag: **27.10.2011**

(43) Offenlegungstag: **02.05.2013**

(51) Int Cl.: **F02D 41/20 (2011.01)**

**F02D 41/38 (2011.01)**

**F02M 37/04 (2011.01)**

**F02M 63/00 (2011.01)**

**H01F 7/18 (2013.01)**

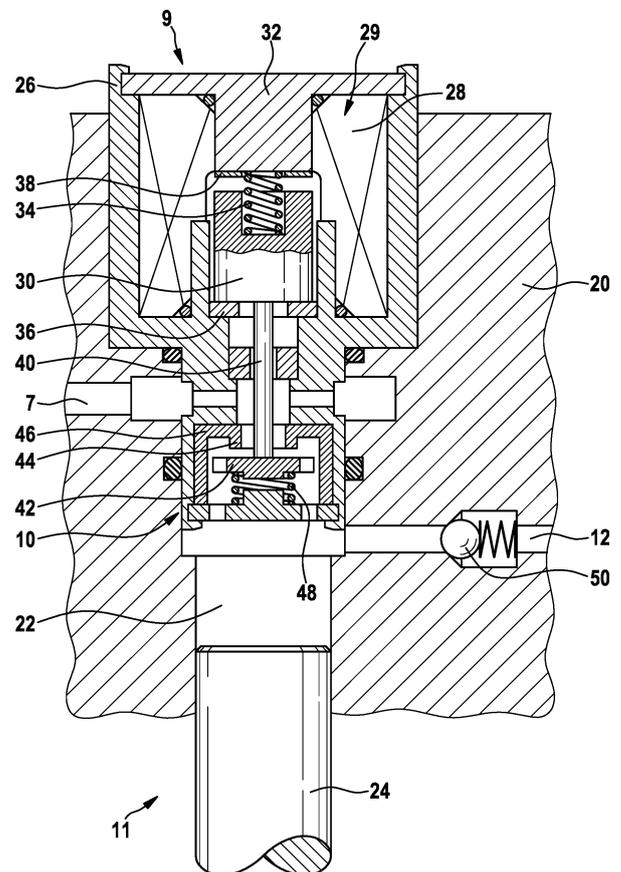
(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Ries-Müller, Klaus, 74906, Bad Rappenau, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Schaltventils**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Betreiben eines Schaltventils vorgestellt, wobei das Schaltventil mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung (9) geöffnet und/oder geschlossen werden kann, und welches bei bestromter Betätigungseinrichtung (9) eine erste Schaltstellung und bei nicht bestromter Betätigungseinrichtung (9) eine zweite Schaltstellung annehmen kann, und wobei die Betätigungseinrichtung (9) zumindest zeitweise derart angesteuert wird, dass ein bewegbarer Anker (30) der Betätigungseinrichtung (9) vor einem Erreichen einer Endstellung (36) gebremst wird. Erfindungsgemäß wird die Ansteuerung (62) zum Bremsen des Ankers (30) dadurch ermittelt, dass eine Änderung (84) einer an einer Spule (28) der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung (9) anliegenden Spannung (58) in einem Zeitintervall (64) ermittelt wird, in welchem der Anker (30) die Endstellung (36) erreicht, wobei eine Amplitude und/oder eine Dauer und/oder ein Zeitpunkt ( $t_3$ ) der Ansteuerung (62) soweit verändert wird, bis die Änderung (84) der Spannung (58) einen Schwellwert (80) unterschreitet.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, sowie ein Verfahren, ein Computerprogramm und eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung nach den nebengeordneten Patentansprüchen.

**[0002]** Mengensteuerventile, beispielsweise in einer Kraftstoffördereinrichtung einer Brennkraftmaschine, sind vom Markt her bekannt. Mengensteuerventile werden im Allgemeinen elektromagnetisch als Schaltventile mit zwei Schaltstellungen betrieben und sind häufig ein integraler Bestandteil einer Hochdruckpumpe der Kraftstoffördereinrichtung. Das Mengensteuerventil steuert die zu einem Hochdruckspeicher ("Rail") gepumpte Kraftstoffmenge, von wo aus Kraftstoff zu den Einspritzventilen der Brennkraftmaschine geleitet wird. Ein mit einem Ventilkörper des Mengensteuerventils gekoppelter Anker kann durch Magnetkraft bewegt werden. Der Ventilkörper – meist eines Einlassventils der Hochdruckpumpe – kann gegen einen Ventilsitz anschlagen, beziehungsweise von dem Ventilsitz abgehoben werden. Dadurch kann eine geförderte Kraftstoffmenge der Brennkraftmaschine und so letztlich der Druck im Rail geregelt werden.

## Offenbarung der Erfindung

**[0003]** Das der Erfindung zugrunde liegende Problem wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren, ein Computerprogramm und eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung nach den nebengeordneten Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in Unteransprüchen angegeben. Für die Erfindung wichtige Merkmale finden sich ferner in der nachfolgenden Beschreibung und in den Zeichnungen, wobei die Merkmale sowohl in Alleinstellung als auch in unterschiedlichen Kombinationen für die Erfindung wichtig sein können, ohne dass hierauf nochmals explizit hingewiesen wird.

**[0004]** Die Erfindung weist den Vorteil auf, dass ein Schaltventil insbesondere beim Abschalten einer Bestromung einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung kontrolliert schalten kann, indem ein Anker vor einem Erreichen einer Endstellung mittels einer definierten und beispielsweise über die Betriebsdauer variablen Ansteuerung gebremst wird. Dabei kann ein Betriebsgeräusch des Schaltventils über seine gesamte Lebensdauer und unabhängig von Fertigungstoleranzen deutlich gesenkt werden, da unabhängig von der Betriebsdauer und von Fertigungstoleranzen die optimale Abbremsung erreicht werden kann. Die Erfindung ist insbesondere bei einem Mengensteuerventil einer Kraftstoffördereinrichtung einer Brennkraftmaschine oder bei einem Schaltven-

til einer Getriebesteuerung anwendbar. Weiterhin ist die Erfindung für Schaltventile bzw. für Mengensteuerventile anwendbar, welche "stromlos geschlossen" oder "stromlos offen" sind.

**[0005]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Schaltventils, welches mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung geöffnet und/oder geschlossen werden kann. Bei bestromter Betätigungseinrichtung kann das Schaltventil eine erste Schaltstellung und bei nicht bestromter Betätigungseinrichtung eine zweite Schaltstellung annehmen. Letzteres wird beispielsweise mittels Federkraft und/oder durch einen hydraulischen oder pneumatischen Druck erreicht. Dabei wird die Betätigungseinrichtung zumindest zeitweise derart angesteuert, dass ein bewegbarer Anker der Betätigungseinrichtung vor einem Erreichen einer Endstellung gebremst wird. Dadurch kann die Aufprallenergie beim Erreichen der Endstellung, welche beispielsweise einem Ruhesitz und/oder einem Hubanschlag des Ankers bzw. eines Ventilelements entspricht, vermindert werden. Das Verfahren ist besonders nützlich vor dem bzw. beim Erreichen der nicht bestromten zweiten Schaltstellung, es ist jedoch in vergleichbarer Weise auch vor dem bzw. beim Erreichen der ersten Schaltstellung anwendbar. Weiterhin kann mit dem Verfahren ggf. sogar die Stellgenauigkeit des Schaltventils erhöht werden.

**[0006]** Erfindungsgemäß wird die Ansteuerung zum Bremsen des Ankers dadurch ermittelt, dass eine Änderung einer an einer Spule der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung anliegenden Spannung in einem Zeitintervall ermittelt wird, in welchem der Anker die Endstellung erreicht. Solange ein die Spule durchsetzender Magnetfluss eine Änderung erfährt, solange wird nach dem Induktionsgesetz in der Spule eine Spannung induziert. Sobald der Anker jedoch an der Endstellung anschlägt, wird seine Geschwindigkeit schlagartig auf Null vermindert und eine durch die Ankerbewegung verursachte Änderung des Magnetflusses hört ebenso schlagartig auf. Entsprechend erfährt die an der Spule anliegende Spannung eine sprunghafte Änderung, wobei der Anteil der aufgrund der Ankerbewegung induzierten Spannung den Wert null annimmt. Dieser Vorgang wird erfindungsgemäß optimiert, indem eine Amplitude und/oder eine Dauer der Ansteuerung schrittweise soweit vermindert wird, bis die Änderung der Spannung einen Schwellwert unterschreitet. Vorzugsweise wird der Schwellwert derart bemessen, dass ein erforderliches Schaltverhalten einerseits und ein Verschleiß bzw. ein Anschlaggeräusch des Schaltventils andererseits gemeinsam berücksichtigt werden. Alternativ oder ergänzend zur Verminderung der Amplitude und/oder der Dauer kann auch ein Zeitpunkt der Ansteuerung verändert werden, wodurch sich ebenfalls eine veränderte Bremswirkung ergeben kann. Das Verfahren ist besonders einfach anzuwenden,

wenn bereits Einrichtungen vorhanden sind, um das Schaltventil schon während der Bestromung der Spule – also vor dem Erreichen der ersten Schaltstellung – elektronisch zu steuern bzw. zu regeln (CVO, "controlled valve operation"). Ziel ist es, ein möglichst sanftes Anschlagen des Ankers am Anschlag zu erreichen, was bedeutet, dass der Anker zum Zeitpunkt des Anschlags eine möglichst geringe Restgeschwindigkeit aufweist.

**[0007]** Ergänzend ist vorgesehen, dass, die Ansteuerung zum Bremsen des Ankers gelegentlich oder periodisch nach Ablauf einer bestimmten Betriebsdauer ermittelt wird, und dass mindestens eine die ermittelte Ansteuerung charakterisierende Größe in einem Datenspeicher gespeichert wird. Dadurch kann ein möglicher über die Betriebsdauer sich ergebender Verschleiß des Schaltventils berücksichtigt und somit ein Betriebsgeräusch dauerhaft gesenkt werden. Die die jeweils ermittelte Ansteuerung charakterisierende Größe wird nicht-flüchtig gespeichert und kann somit für den weiteren Betrieb der Brennkraftmaschine verwendet werden. Eine neuerliche Ermittlung der Ansteuerung nach jedem Start der Brennkraftmaschine ist daher im Allgemeinen nicht erforderlich.

**[0008]** Besonders nützlich ist es, wenn das Schaltventil ein Mengensteuerventil einer Kraftstofffördereinrichtung einer Brennkraftmaschine oder ein Schaltventil eines Automatikgetriebes eines Kraftfahrzeugs ist. Das Mengensteuerventil regelt die Förderung von Kraftstoff in einen Hochdruckspeicher ("Rail") der Brennkraftmaschine und damit auch den Kraftstoffdruck. Insbesondere wird ein Mengensteuerventil mit einer vergleichsweise hohen Frequenz geschaltet, so dass ein Betriebsgeräusch des Mengensteuerventils mittels der Erfindung deutlich gesenkt werden kann. Außerdem kann das Verfahren auch für sonstige Arten von Schaltventilen angewendet werden, welche eine erste und eine zweite Schaltstellung aufweisen und elektromagnetisch betätigt werden.

**[0009]** Das Verfahren arbeitet besonders genau, wenn die Ansteuerung zum Bremsen des Ankers in einem Betriebsbereich der Brennkraftmaschine mit niedriger Drehzahl, vorzugsweise Leerlaufdrehzahl ermittelt wird. In einem Bereich niedriger Drehzahlen der Brennkraftmaschine sind die auf die bewegbaren Elemente des Mengensteuerventils einwirkenden hydraulischen Strömungskräfte vergleichsweise gering, und oft handelt es sich auch um einen quasistationären Betriebszustand, der die Adaption ebenfalls erleichtert. Daher kann die verfahrensgemäße "Adaption" der Ansteuerung in diesem Drehzahlbereich besonders zuverlässige Werte ergeben. Die derart ermittelten Werte können beim weiteren Betrieb der Brennkraftmaschine insbesondere für den Bereich der Leerlaufdrehzahl angewendet werden. Es ist je-

doch möglich, diese Werte auch für Drehzahlen oberhalb der Leerlaufdrehzahl anzuwenden. Der Vorteil wäre, dass die Adaption zu keinen für den Nutzer erkennbaren Geräuschemissionen führen würde, da in diesem Betriebszustand das Geräusch des Mengensteuerventils vom Geräusch der Brennkraftmaschine übertönt wird..

**[0010]** Das Verfahren wird weiter verbessert, wenn die Ansteuerung zum Bremsen des Ankers in Abhängigkeit von einer Drehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt wird. Das Mengensteuerventil wird im Allgemeinen in Abhängigkeit von der Arbeitsfrequenz einer zugehörigen Hochdruckpumpe geschaltet, wobei die Arbeitsfrequenz der Hochdruckpumpe wiederum von der Drehzahl der Brennkraftmaschine abhängt. Beispielsweise werden die ermittelten Werte der Ansteuerung in Abhängigkeit von der Drehzahl in einem Kennfeld einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung abgespeichert. Damit kann im Betrieb auch für Drehzahlen oberhalb der Leerlaufdrehzahl die Ansteuerung des Mengensteuerventils jeweils optimal erfolgen.

**[0011]** Weiterhin umfasst die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Schaltventils, welches mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung geöffnet und/oder geschlossen werden kann, und welches bei bestromter Betätigungseinrichtung eine erste Schaltstellung und bei nicht bestromter Betätigungseinrichtung eine zweite Schaltstellung annehmen kann, wobei erfindungsgemäß ein Erreichen eines nicht mehr definiert steuerbaren Betriebsbereichs des Schaltventils mittels Messung der Induktion in einer Spule der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung erfasst wird. Beispielsweise kann der nicht mehr definiert steuerbare Betriebsbereich bedeuten, dass aufgrund einer besonders hohen Schaltfrequenz des Mengensteuerventils eine Endstellung des Ankers und/oder eines Ventilelements nicht mehr erreicht werden. Dies kann beispielsweise dadurch erkannt werden, dass eine in der Spule induzierte Spannung nach einem Abschalten der Bestromung und vor dem Einschalten einer folgenden Bestromung keine sprunghafte Änderung mehr aufweist.

**[0012]** Weiterhin sieht die Erfindung ein Computerprogramm vor, welches zur Durchführung des Verfahrens programmiert ist. Alternativ oder ergänzend können einzelne, mehrere oder sogar alle Verfahrensschritte auch mittels einer elektronischen Schaltung durchgeführt werden. Das Computerprogramm ist vorzugsweise auf einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung der Brennkraftmaschine ablaufähig.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist besonders einfach und kostengünstig einzurichten, wenn es mittels einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung durchgeführt wird, auf welcher sowohl ein Compu-

terprogramm zur Durchführung des Adaptionsverfahrens zum Betreiben des Mengensteuerventils als auch ein Computerprogramm zur Durchführung eines Adaptionsverfahrens zum Betreiben eines Kraftstoff-Einspritzventils ablauffähig ist. Auf diese Weise können für beide Arten von Ventilen gleiche oder zumindest ähnliche Algorithmen verwendet werden, wobei beide Computerprogramme Programmteile und/oder Variable auch gemeinsam nutzen können. Beispielsweise können das Kraftstoff-Einspritzventil und das Mengensteuerventil zeitlich nacheinander adaptiert werden. Falls das Verfahren zumindest teilweise mittels elektronischer Schaltungen – beispielsweise in einem ASIC (anwendungsspezifische integrierte Schaltung) oder in einem FPGA (frei programmierbare digitale Schaltung) – durchgeführt wird, können diese ggf. baugleich verwendet oder sogar gemeinsam genutzt werden. Ebenso ist es erfindungsgemäß möglich, die Adaption des Mengensteuerventils und die Adaption der Kraftstoff-Einspritzventile zeitlich nacheinander durchzuführen, wodurch das bzw. die Computerprogramm(e) besonders einfach programmiert sein kann bzw. können.

[0014] Nachfolgend werden beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) ein vereinfachtes Schema einer Kraftstoffördereinrichtung einer Brennkraftmaschine;

[0016] [Fig. 2](#) eine Schnittdarstellung einer Hochdruckpumpe der Kraftstoffördereinrichtung zusammen mit einem Mengensteuerventil und einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung;

[0017] [Fig. 3](#) ein vereinfachtes Zeitdiagramm mit einer Ansteuerung der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung und einer Ankerbewegung;

[0018] [Fig. 4](#) ein Flussdiagramm zum Betreiben des Mengensteuerventils; und

[0019] [Fig. 5](#) ein vereinfachtes Zeitdiagramm mit einer Geschwindigkeit eines Ankers. Es werden für funktionsäquivalente Elemente und Größen in allen Figuren auch bei unterschiedlichen Ausführungsformen die gleichen Bezugszeichen verwendet.

[0020] [Fig. 1](#) zeigt eine Kraftstoffördereinrichtung 1 einer nur durch ihr Bezugszeichen angedeuteten Brennkraftmaschine 2 in einer stark vereinfachten Darstellung. Aus einem Kraftstofftank 3 wird Kraftstoff – beispielsweise Benzin oder Dieseldieselkraftstoff – über eine Saugleitung 4, mittels einer Vorförderpumpe 5, über eine Niederdruckleitung 7, und über ein von einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung 9 ("Elektromagnet") betätigbares Mengensteuerventil 10 einer (hier nicht weiter erläuterten) Hochdruckpumpe 11 zugeführt. Stromabwärts ist die

Hochdruckpumpe 11 über eine Hochdruckleitung 12 an einen Hochdruckspeicher 13 ("Common Rail") angeschlossen. Sonstige Elemente, wie beispielsweise Ventile der Hochdruckpumpe 11, sind in der [Fig. 1](#) nicht gezeichnet. Die elektromagnetische Betätigungseinrichtung 9 wird durch eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung 16 angesteuert, auf welcher ein Computerprogramm 18 ablauffähig ist. Die Steuer- und/oder Regeleinrichtung 16 umfasst ebenso einen Datenspeicher 19.

[0021] Es versteht sich, dass das Mengensteuerventil 10 auch als Baueinheit mit der Hochdruckpumpe 11 ausgebildet sein kann. Beispielsweise kann das Mengensteuerventil 10 ein zwangsweise öffnbares Einlassventil der Hochdruckpumpe 11 sein.

[0022] Ergänzend weist die Steuer- und/oder Regeleinrichtung 16 ein zweites Computerprogramm 17 auf, welches ähnlich, wie es weiter unten für das Mengensteuerventil 10 beschrieben werden wird, Einspritzventile der Brennkraftmaschine 2 in einer entsprechenden Weise adaptieren und somit optimiert betreiben kann. Dies wird vorliegend jedoch nicht näher erläutert.

[0023] Beim Betrieb der Kraftstoffördereinrichtung 1 fördert die Vorförderpumpe 5 Kraftstoff vom Kraftstofftank 3 in die Niederdruckleitung 7. Dabei steuert das Mengensteuerventil 10 die einem Arbeitsraum der Hochdruckpumpe 11 zugeführte Kraftstoffmenge, indem ein Anker 30 (siehe [Fig. 2](#)) der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung 9 bewegt wird. Das Mengensteuerventil 10 – entsprechend [Fig. 2](#) das Einlassventil der Hochdruckpumpe 11 – kann dadurch geschlossen bzw. zwangsweise geöffnet werden.

[0024] [Fig. 2](#) zeigt eine ausschnittsweise Schnittdarstellung (Längsschnitt) der Hochdruckpumpe 11 der Kraftstoffördereinrichtung 1 zusammen mit dem Mengensteuerventil 10 und der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung 9. Die dargestellte Anordnung umfasst ein Gehäuse 20, in welchem im in der Zeichnung oberen Bereich die elektromagnetische Betätigungseinrichtung 9, im mittleren Bereich das Mengensteuerventil 10, und im unteren Bereich ein Förderraum 22 zusammen mit einem Kolben 24 der Hochdruckpumpe 11 angeordnet sind.

[0025] Die elektromagnetische Betätigungseinrichtung 9 ist in einem Ventilgehäuse 26 angeordnet, und umfasst eine Spule 28, einen Anker 30, einen Polkern 32, eine Ankerfeder 34, einen Ruhesitz 36 und einen Hubanschlag 38. Der Hubanschlag 38 und insbesondere der Ruhesitz 36 bezeichnen jeweils auch eine "Endstellung" des Ankers 30. Ein Anliegen des Ankers 30 an dem Hubanschlag 38 entspricht einer ersten Schaltstellung und ein Anliegen des Ankers 30 an dem Ruhesitz 36 entspricht einer zweiten Schalt-

stellung des Mengensteuerventils **10**. Der Anker **30** beaufschlagt mittels eines Kopppelements **40** einen Ventilkörper **42**. In der Zeichnung oberhalb des Ventilkörpers **42** ist ein zugehöriger Dichtsitz **44** angeordnet. Der Dichtsitz **44** ist Teil eines topfförmigen Gehäuseelements **46**, welches unter anderem den Ventilkörper **42** und eine Ventilfeeder **48** umschließt. Dichtsitz **44** und Ventilkörper **42** bilden das Einlassventil der Hochdruckpumpe **11**.

**[0026]** Dargestellt ist in der [Fig. 2](#) der unbestromte Zustand der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung **9**. Dabei wird der Anker **30** mittels der Ankerfeder **34** in der Zeichnung nach unten gegen den Ruhesitz **36** gedrückt. Über das Kopppelement **40** wird dadurch der Ventilkörper **42** entgegen der Kraft der Ventilfeeder **48** beaufschlagt, wodurch das Einlassventil bzw. das Mengensteuerventil **10** zwangsweise, also unabhängig von den Druckverhältnissen zwischen dem Förderraum **22** und der Niederdruckleitung **7**, öffnet. Dadurch wird eine fluidische Verbindung zwischen der Niederdruckleitung **7** und dem Förderraum **22** hergestellt, so dass auch bei einem Förderhub des Kolbens **24** kein Kraftstoff in das Rail **13** gefördert wird.

**[0027]** Im bestromten Zustand der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung **9** wird der Anker **30** von dem Polkern **32** magnetisch angezogen, wodurch das mit dem Anker **30** verbundene Kopppelement **40** in der Zeichnung nach oben bewegt wird. Dadurch kann – bei entsprechenden fluidischen Druckverhältnissen – der Ventilkörper **42** durch die Kraft der Ventilfeeder **48** gegen den Dichtsitz **44** gedrückt werden, und das Einlassventil bzw. das Mengensteuerventil **10** somit schließen. Dies kann beispielsweise erfolgen, wenn der Kolben **24** in dem Förderraum **22** eine Arbeitsbewegung (in der Zeichnung nach oben) durchführt ("Förderhub"), wobei Kraftstoff über ein dabei geöffnetes Rückschlagventil **50** in die Hochdruckleitung **12** gefördert werden kann.

**[0028]** Das Öffnen bzw. das Schließen des Mengensteuerventils **10** erfolgt in Abhängigkeit von mehreren Größen: Erstens abhängig von den durch die Ankerfeder **34** und die Ventilfeeder **48** ausgeübten Kräften. Zweitens abhängig von dem in der Niederdruckleitung **7** und dem Förderraum **22** herrschenden Kraftstoffdruck. Drittens abhängig von der Kraft des Ankers **30**, welche im Wesentlichen von einem aktuell durch die Spule **28** fließenden Strom **29** bestimmt wird. Insbesondere kann der Strom **29** – wiederum abhängig auch von den jeweiligen Kraftstoffdrücken – den Zeitpunkt des Öffnens bzw. Schließens des Ventilkörpers **42** während eines Förderhubs beeinflussen und somit die Menge des zu fördernden Kraftstoffs wesentlich steuern.

**[0029]** [Fig. 3](#) zeigt zwei stark vereinfachte Zeitdiagramme zum Betreiben des Mengensteuerventils

**10**. In einem oberen Zeitdiagramm ist eine an die Spule **28** geschaltete Spannung **58** über einer Zeit  $t$  aufgetragen. Beispielsweise wird eine Amplitude der Spannung **58** mittels einer Pulsweitenmodulation (nicht dargestellt) eingestellt. In einem unteren Zeitdiagramm ist eine Bewegung **60** des Ankers **30** zwischen dem Ruhesitz **36** und dem Hubanschlag **38** über der Zeit  $t$  aufgetragen. Die Diagramme weisen einen zueinander gleichen Zeitmaßstab auf.

**[0030]** Zu einem Zeitpunkt  $t_1$  wird eine vergleichsweise große Spannung **58** an die Spule **28** geschaltet, wodurch die elektromagnetische Betätigungseinrichtung **9** also bestromt wird. Dadurch wird der Anker **30** von dem Ruhesitz **36** abgehoben und in Richtung des Hubanschlags **38** mittels magnetischer Kraft bewegt. Nachfolgend erreicht der Anker **30** den Hubanschlag **38** und verharrt dort bis zu einem Zeitpunkt  $t_2$ . Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird die Spannung **58** abgeschaltet und nimmt somit in etwa den Wert null an. Nachfolgend wird der Anker **30** mittels der Kraft der Ankerfeder **34** von dem Hubanschlag **38** abgehoben und zurück in Richtung des Ruhesitzes **36** beschleunigt.

**[0031]** Zu einem Zeitpunkt  $t_3$  wird die Spule **28** mittels der Spannung **58** erneut angesteuert. Es erfolgt somit eine Ansteuerung **62** zum Bremsen des Ankers **30**. Die Polarität der Ansteuerung **62** ist gleich der Polarität der Spannung **58** zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ , jedoch ist die Amplitude der Ansteuerung **62** vergleichsweise klein. Dadurch wird die Beschleunigung bzw. die Geschwindigkeit des Ankers **30** vermindert. In einem Zeitpunkt  $t_4$  wird die Spannung **58** bzw. die Ansteuerung **62** abgeschaltet, so dass nachfolgend zu einem Zeitpunkt  $t_5$  der Anker **30** an dem Ruhesitz **36** anschlagen kann. Dabei ist die Aufprallgeschwindigkeit dank der vorangegangenen Ansteuerung **62** vergleichsweise gering. Ein Betriebsgeräusch des Mengensteuerventils **10** wird dadurch gesenkt.

**[0032]** In einem Zeitintervall **64** ab dem Zeitpunkt  $t_4$  kann in einer Umgebung des Zeitpunkts  $t_5$  die an der Spule **28** anliegende Spannung **58** ermittelt werden. Insbesondere kann eine durch die Bewegung des Ankers **30** induzierte Spannung **58** ermittelt werden, welche beim Anschlagen des Ankers **30** an dem Ruhesitz **36** eine "schlagartige" Änderung **84** (siehe [Fig. 5](#)) aufweist. Beispielsweise kann eine Amplitude der Spannung **58** um einen Wert sprunghaft verändert werden. Diese Änderung **84** kann nachfolgend gegen einen Schwellwert **80** (siehe [Fig. 4](#)) verglichen und daraus ein Maß für die Anschlagsgeschwindigkeit des Ankers **30** an dem Ruhesitz **36** ermittelt werden. Die in dem Zeitintervall **64** induzierte Spannung **58** kann in Bezug auf die Amplitude der Ansteuerung **62** vergleichsweise klein sein und ist in der [Fig. 3](#) nicht explizit dargestellt.

**[0033]** Die in der [Fig. 3](#) gezeigten Diagramme sind mittels abschnittsweiser Geraden vereinfacht dargestellt. Es versteht sich, dass der Zeitverlauf der an der Spule **28** anliegenden Spannung **58** aufgrund der Induktion sowie aufgrund von eventuellen Maßnahmen zur Löschung des im Zeitpunkt  $t_2$  durch die Spule **28** fließenden Stroms **29** gegebenenfalls stark von der Darstellung abweichen kann. Ebenso ist die Bewegung des Ankers **30** vereinfacht dargestellt.

**[0034]** [Fig. 4](#) zeigt ein Flussdiagramm für das Computerprogramm **18** oder einen Teil des Computerprogramms **18** zum Betreiben eines Schaltventils bzw. des Mengensteuerventils **10**. Die nachfolgend benannten Zeitpunkte beziehen sich auf die Darstellung der [Fig. 3](#). An einem Start-Block **66** beginnt die dargestellte Prozedur. In einem Abfrageblock **68** wird die aktuelle Zeit  $t$  ermittelt und geprüft, ob eine vorgebbare Wartezeit seit dem letzten Durchlauf der Prozedur überschritten wurde. Die Wartezeit kann beispielsweise einer Betriebsdauer der Brennkraftmaschine **2** von hundert Stunden entsprechen. Falls die Wartezeit nicht überschritten ist, so wird zu einem Ende-Block **70** verzweigt.

**[0035]** Andernfalls wird in einem Abfrageblock **72** geprüft, ob die Brennkraftmaschine **2** aktuell in einem Betriebsbereich **73** einer Leerlaufdrehzahl betrieben wird. Falls dies nicht der Fall ist, so wird zum Ende-Block **70** verzweigt. Andernfalls wird abgewartet, bis die Bestromung der Spule **28** zu dem Zeitpunkt  $t_2$  abgeschaltet wird. Danach wird in einem Block **74** für eine vorgebbare Zeitspanne gewartet und danach erfolgt zum Zeitpunkt  $t_3$  eine impulsartige Ansteuerung **62** der Spule **28** mit einer zunächst vergleichsweise geringen – oder sogar verschwindenden – elektrischen Energie. Im Zeitpunkt  $t_4$  wird die Ansteuerung **62** wieder abgeschaltet. Im Zeitintervall **64** – also in der Umgebung des Zeitpunkts  $t_5$  – wird die an der Spule **28** anliegende Spannung **58** ermittelt. Insbesondere wird die sprunghafte Änderung **84** der Spannung **58** in dem Zeitintervall **64** ermittelt (siehe auch [Fig. 5](#)). Dabei beschreibt das Zeitintervall **64** lediglich das Messintervall, in welchem die sprunghafte Änderung **84** erfolgt bzw. erwartet wird. Die sprunghafte Änderung **84** weist eine Flanke auf, welche im Allgemeinen deutlich kürzer ist als das Zeitintervall **64**. In einem folgenden Block **76** werden eine aktuelle Amplitude und Dauer der Ansteuerung **62** sowie eine Differenz der Zeitpunkte  $t_2$  und  $t_3$  in dem Datenspeicher **19** abgespeichert.

**[0036]** In einem folgenden Abfrageblock **78** wird geprüft, ob die Änderung **84** der Spannung **58** einen vorgebbaren Schwellwert **80** unterschritten hat. Ist dies der Fall, so wird zu dem Ende-Block **70** verzweigt. Andernfalls wird die Amplitude und/oder die Dauer der Ansteuerung **62** um einen Differenzwert vergrößert und/oder der Zeitpunkt  $t_3$  verändert. Danach wird zum Anfang des Abfrageblocks **72** zurück verzweigt.

Es erfolgt somit eine Art "schrittweiser Regelung" zur Minimierung des Betriebsgeräuschs des Schaltventils bzw. des Mengensteuerventils **10**.

**[0037]** Nach einem erfolgreichen Durchlauf der in der [Fig. 4](#) dargestellten Prozedur sind in dem Datenspeicher **19** mindestens eine Amplitude, eine Dauer sowie die Differenz der Zeitpunkte  $t_2$  und  $t_3$  gespeichert, mittels welchen die Ansteuerung **62** der Spule **28** derart erfolgen kann, dass der Anker **30** vor dem Anschlagen an dem Ruhesitz **36** optimal gebremst wird. Mit diesen in dem Datenspeicher **19** gespeicherten Größen kann im weiteren Betrieb des Mengensteuerventils **10** ein Anschlaggeräusch des Ankers **30** reduziert werden und das Mengensteuerventil **10** folglich leiser arbeiten. Eine Wiederholung des in der [Fig. 4](#) gezeigten Teils des Verfahrens kann periodisch oder gelegentlich erfolgen; vergleiche dazu die oben beschriebene "Wartezeit". Es versteht sich, dass die in der [Fig. 4](#) beschriebene Prozedur und/oder die dadurch ermöglichte optimierte Ansteuerung **62** zum Bremsen des Ankers **30** ganz oder teilweise auch von einer elektronischen Schaltung, beispielsweise mittels integrierter Schaltungen, durchgeführt werden kann.

**[0038]** Falls die Änderung **84** der Spannung **58** in dem Zeitintervall **64** außerhalb eines vorgebbaren Bereichs liegt, kann auf ein Erreichen eines nicht mehr definiert steuerbaren Betriebsbereichs des Schaltventils geschlossen werden. In diesem Fall kann ein Eintrag in einen Fehlerspeicher einer Diagnoseeinrichtung der Brennkraftmaschine **2** erfolgen, und/oder es können mittels des Computerprogramms **18** Maßnahmen durchgeführt oder veranlasst werden, um den undefinierten Zustand möglichst zu beenden. Gegebenenfalls kann auch eine "Grenzdrehzahl" ermittelt werden, unterhalb derer ein sicherer Betrieb des Schaltventils erfolgen kann.

**[0039]** Ergänzend kann die in der [Fig. 4](#) gezeigte Prozedur bei verschiedenen Drehzahlen der Brennkraftmaschine **2** durchgeführt werden. Dadurch kann die Ansteuerung **62** auch für Drehzahlen oberhalb der Leerlaufdrehzahl optimiert werden. Somit kann im Betrieb des Mengensteuerventils **10** ein sicheres Schalten und ein minimiertes Betriebsgeräusch in einem vergleichsweise großen Drehzahlbereich erreicht werden. Die ermittelten optimalen Werte der Amplituden, der Dauern sowie der Differenzen der Zeitpunkte  $t_2$  und  $t_3$  werden in dem Datenspeicher **19** beispielsweise als Tabelle oder als Kennfeld gespeichert.

**[0040]** [Fig. 5](#) zeigt ergänzend zu der [Fig. 3](#) ein vereinfachtes schematisches Zeitdiagramm mit einer Geschwindigkeit **82** des Ankers **30** in dem Zeitintervall **64**. Nach dem Ende der Ansteuerung **62** zum Zeitpunkt  $t_4$  nimmt die Geschwindigkeit **82** des Ankers **30** zunächst weiter stetig ab. Zum Zeitpunkt

t5 schlägt der Anker **30** an der Endstellung bzw. dem Ruhesitz **36** an, wobei die Geschwindigkeit **82** sprunghaft den Wert null annimmt.

**[0041]** Auch nach dem Ende der Ansteuerung **62** (siehe **Fig. 3**) kann ein restlicher Strom **29** durch die Spule **28** fließen und/oder es können Abschnitte der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung **9** bzw. des Ankers **30** noch magnetisiert sein. Ein die Spule **28** durchsetzender magnetischer Fluss hängt dabei insbesondere von dem Weg des Ankers **30** in der Spule **28** ab. Entsprechend hängt die Änderungsrate des magnetischen Flusses von der Geschwindigkeit **82** des Ankers **30** ab. Nach dem Induktionsgesetz hängt die in der Spule **28** induzierte Spannung **58** von der Änderungsrate des magnetischen Flusses ab. Somit charakterisiert die in der **Fig. 5** dargestellte Geschwindigkeit **82** des Ankers **30** zugleich die in der Spule **28** induzierte Spannung **58**.

**[0042]** Im Zeitpunkt t5 schlägt der Anker **30** wie beschrieben an der Endstellung bzw. an dem Ruhesitz **36** an. Eine Änderung der Geschwindigkeit **82** des Ankers **30** im Zeitpunkt t5 charakterisiert dabei auch eine sprunghafte Änderung **84** der Spannung **58**. Die Änderung **84** wird – wie oben beschrieben – mit dem Schwellwert **80** verglichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Schaltventils, welches mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung (**9**) geöffnet und/oder geschlossen werden kann, und welches bei bestromter Betätigungseinrichtung (**9**) eine erste Schaltstellung und bei nicht bestromter Betätigungseinrichtung (**9**) eine zweite Schaltstellung annehmen kann, wobei die Betätigungseinrichtung (**9**) zumindest zeitweise derart angesteuert wird, dass ein bewegbarer Anker (**30**) der Betätigungseinrichtung (**9**) vor einem Erreichen einer Endstellung (**36**) gebremst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ansteuerung (**62**) zum Bremsen des Ankers (**30**) dadurch ermittelt wird, dass eine Änderung (**84**) einer an einer Spule (**28**) der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung (**9**) anliegenden Spannung (**58**) in einem Zeitintervall (**64**) ermittelt wird, in welchem der Anker (**30**) die Endstellung (**36**) erreicht, wobei eine Amplitude und/oder eine Dauer und/oder ein Zeitpunkt (t3) der Ansteuerung (**62**) soweit verändert wird, bis die Änderung (**84**) der Spannung (**58**) einen Schwellwert (**80**) unterschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung (**62**) zum Bremsen des Ankers (**30**) gelegentlich oder periodisch nach Ablauf einer bestimmten Betriebsdauer ermittelt wird, und dass mindestens eine die ermittelte Ansteuerung (**62**) charakterisierende Größe in einem Datenspeicher (**19**) gespeichert wird.

3. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaltventil ein Mengensteuerventil (**10**) einer Kraftstoffördereinrichtung (**1**) einer Brennkraftmaschine (**2**) oder ein Schaltventil eines Automatikgetriebes eines Kraftfahrzeugs ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung (**62**) zum Bremsen des Ankers (**30**) in einem Betriebsbereich (**73**) der Brennkraftmaschine (**2**) mit niedriger Drehzahl, vorzugsweise Leerlaufdrehzahl ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung (**62**) zum Bremsen des Ankers (**30**) in Abhängigkeit von einer Drehzahl der Brennkraftmaschine (**2**) ermittelt wird.

6. Verfahren zum Betreiben eines Schaltventils, welches mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung (**9**) geöffnet und/oder geschlossen werden kann, und welches bei bestromter Betätigungseinrichtung (**9**) eine erste Schaltstellung und bei nicht bestromter Betätigungseinrichtung (**9**) eine zweite Schaltstellung annehmen kann, dadurch gekennzeichnet, dass ein Erreichen eines nicht mehr definiert steuerbaren Betriebsbereichs des Schaltventils mittels Messung der Induktion in einer Spule (**28**) der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung (**9**) erfasst wird.

7. Computerprogramm (**18**), dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche programmiert ist.

8. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (**16**) einer Brennkraftmaschine (**2**), dadurch gekennzeichnet, dass auf ihr ein Computerprogramm (**18**) nach Anspruch 7 ablauffähig ist.

9. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (**16**) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass auf ihr sowohl ein Computerprogramm (**18**) nach Anspruch 7 als auch ein Computerprogramm (**17**) zur Durchführung eines Adaptionsverfahrens zum Betreiben eines Kraftstoff-Einspritzventils ablauffähig ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

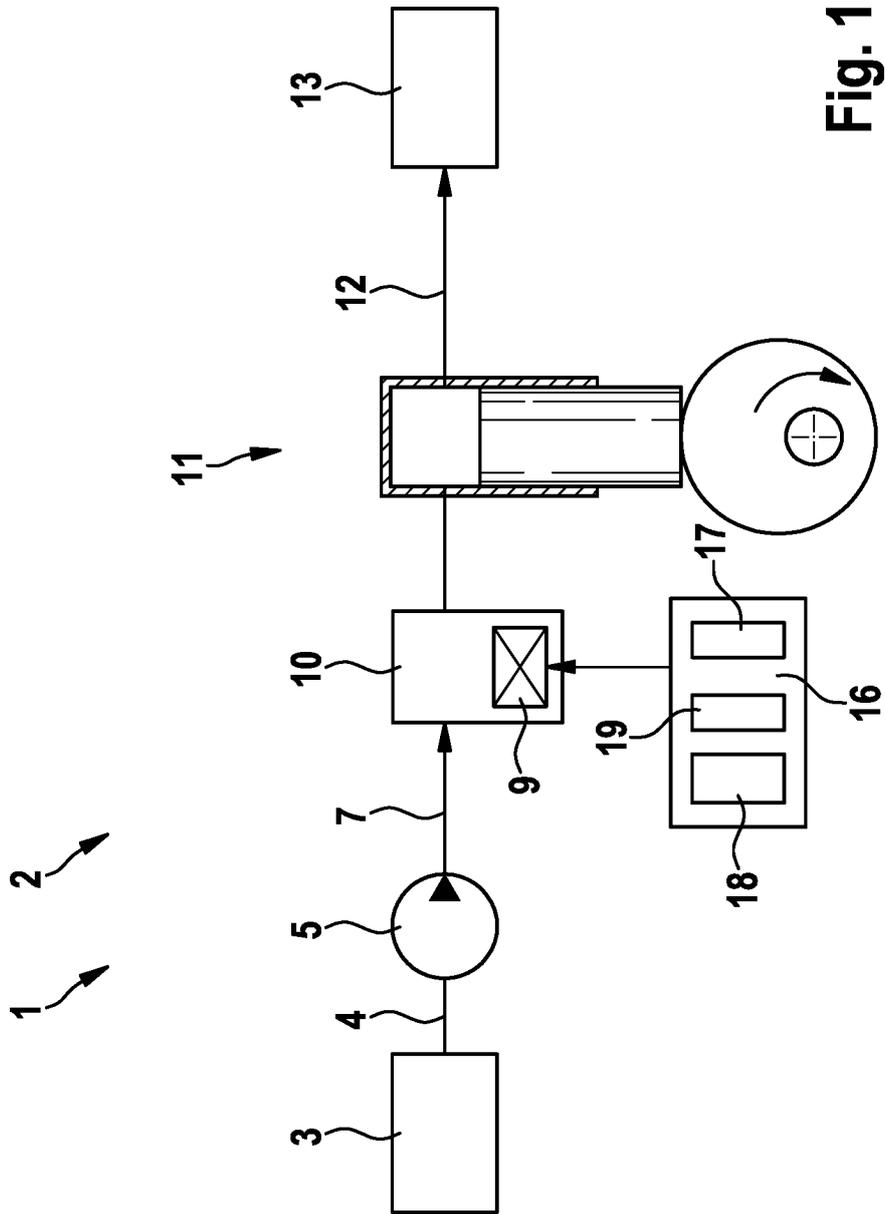
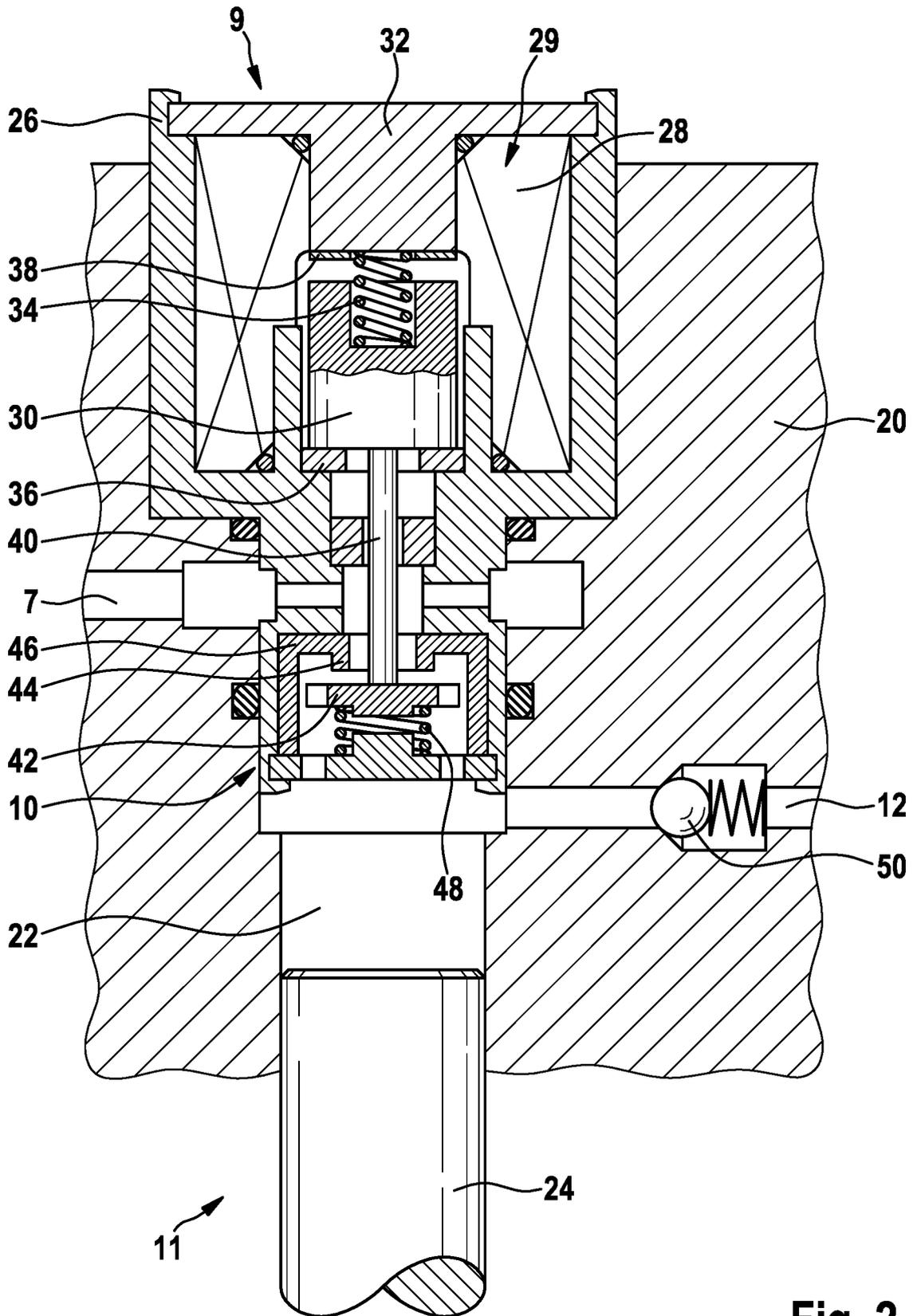
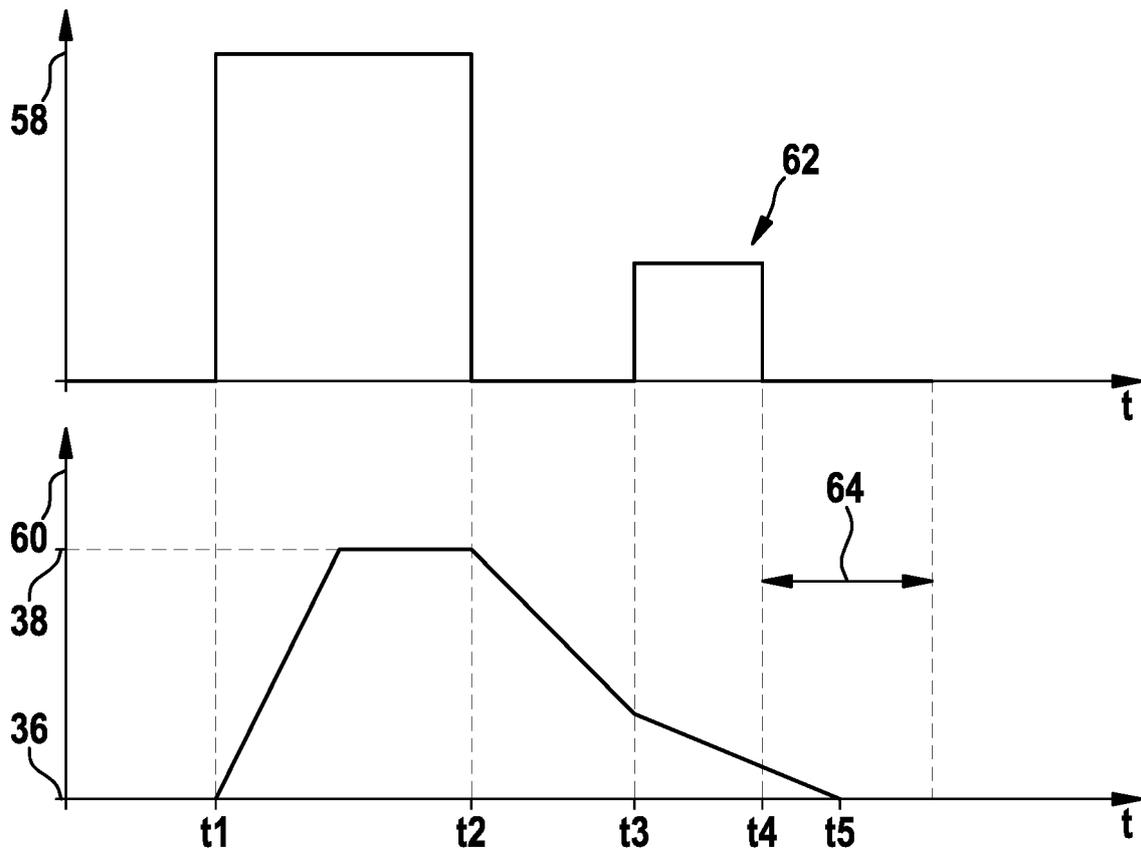


Fig. 1





**Fig. 3**

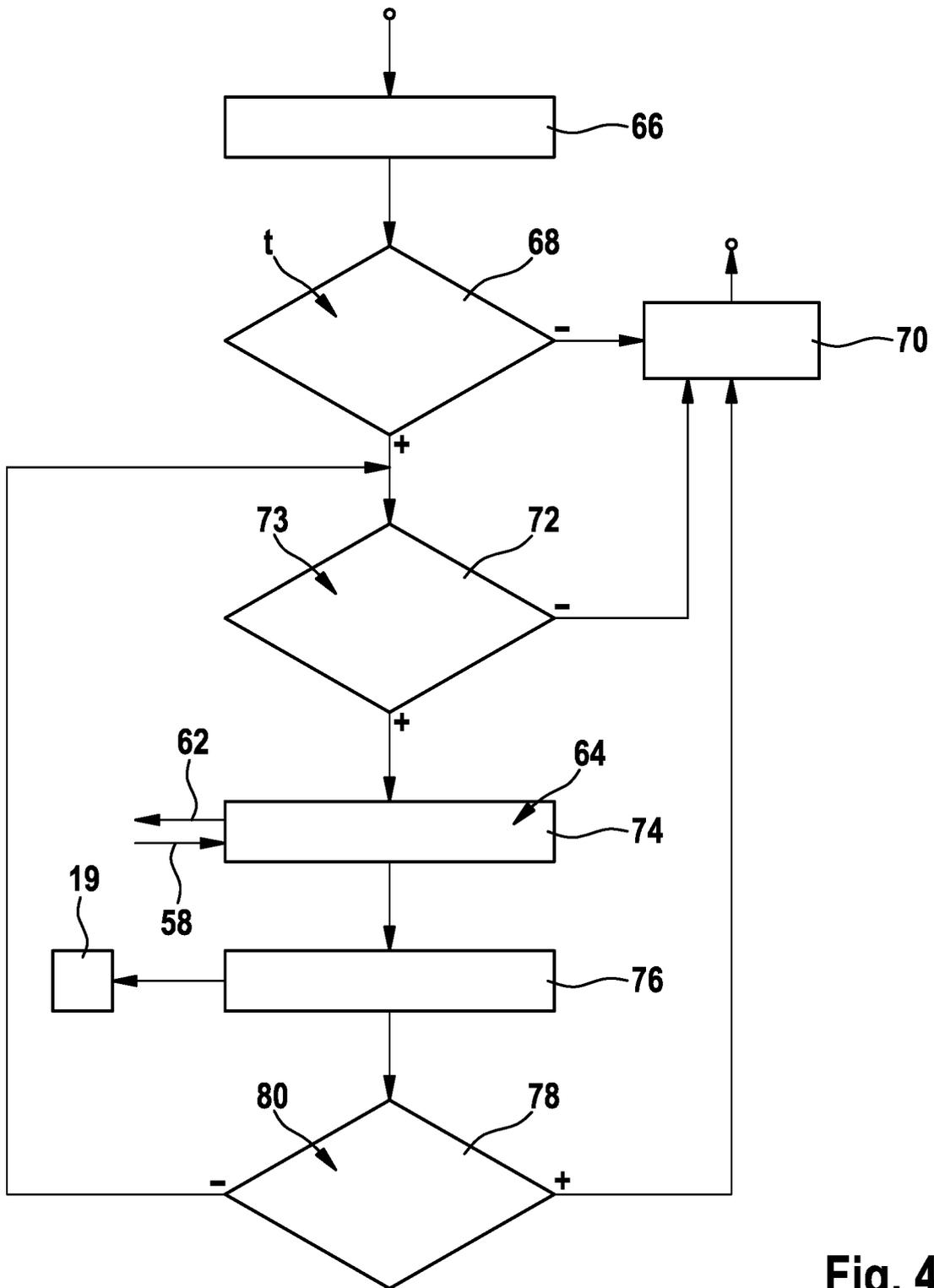
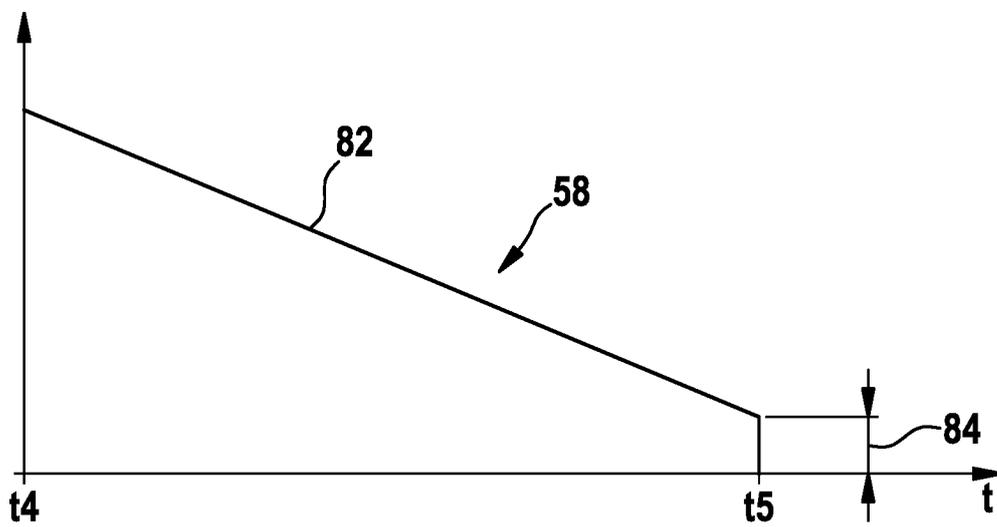


Fig. 4



**Fig. 5**