

(19)



(11)

EP 3 665 377 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
19.01.2022 Patentblatt 2022/03

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F02D 41/38 ^(2006.01) **F02M 63/02** ^(2006.01)
F02D 41/14 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18752738.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F02D 41/3863; F02D 41/1401; F02D 41/3845;
F02M 63/025; F02D 41/3854; F02D 2041/1422;
F02D 2041/1431; F02D 2041/1432

(22) Anmeldetag: **07.08.2018**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2018/071435

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2019/030245 (14.02.2019 Gazette 2019/07)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM
EINSPRITZSYSTEM, EINSPRITZSYSTEM, EINGERICHTET ZUR DURCHFÜHRUNG EINES
SOLCHEN VERFAHRENS, UND BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM SOLCHEN
EINSPRITZSYSTEM**

METHOD FOR OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE HAVING AN INJECTION
SYSTEM, INJECTION SYSTEM DESIGNED TO CARRY OUT A METHOD OF THIS TYPE, AND
INTERNAL COMBUSTION ENGINE HAVING AN INJECTION SYSTEM OF THIS TYPE

PROCÉDÉ PERMETTANT DE FAIRE FONCTIONNER UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE
COMPRENANT UN SYSTÈME D'INJECTION, SYSTÈME D'INJECTION CONÇU POUR LA MISE EN
UVRE D'UN TEL PROCÉDÉ ET MOTEUR À COMBUSTION INTERNE COMPRENANT UN TEL
SYSTÈME D'INJECTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **10.08.2017 DE 102017214001**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.06.2020 Patentblatt 2020/25

(73) Patentinhaber: **Rolls-Royce Solutions GmbH
88045 Friedrichshafen (DE)**

(72) Erfinder: **DÖLKER, Armin
88048 Friedrichshafen (DE)**

(74) Vertreter: **Kordel, Mattias et al
Gleiss Große Schrell und Partner mbB
Patentanwälte Rechtsanwälte
Leitzstrasse 45
70469 Stuttgart (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 112 702 DE-B3-102012 019 457
DE-B3-102014 213 648 US-A1- 2014 081 552

EP 3 665 377 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, ein Einspritzsystem für eine Brennkraftmaschine, das eingerichtet ist zur Durchführung eines solchen Verfahrens, und eine Brennkraftmaschine mit einem solchen Einspritzsystem.

[0002] Aus der deutschen Patentschrift DE 10 2014 213 648 B3 ist ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem bekannt, wobei das Einspritzsystem einen Hochdruckspeicher aufweist, und wobei ein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher über eine niederdruckseitige Saugdrossel als erstem Druckstellglied in einem ersten Hochdruck-Regelkreis geregelt wird. In einem Normalbetrieb wird eine Hochdruck-Störgröße über ein hochdruckseitiges Druckregelventil, das als zweites Druckstellglied verwendet wird, erzeugt, wobei über das zweite Druckstellglied Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher in ein Kraftstoff-Reservoir abgesteuert wird. Das Druckregelventil wird in dem Normalbetrieb auf der Grundlage eines Soll-Volumenstroms für den abzusteuenden Kraftstoff angesteuert.

[0003] Erfolgt bei einer solchen und derart betriebenen Brennkraftmaschine ein plötzlicher Lastabwurf, insbesondere ein vollständiger Lastabwurf aus einem Volllast-Zustand heraus, steigt zunächst der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher an, da die in Brennräume der Brennkraftmaschine einzuspritzende Kraftstoffmenge schnell zurückgenommen wird, wobei die Hochdruck-Regelung verzögert anspricht. Allerdings wird in diesem Fall rasch die Hochdruck-Störgröße, also der Soll-Volumenstrom für den über das Druckregelventil abzusteuenden Kraftstoff erhöht, sodass der Hochdruck wieder absinkt. Der Soll-Volumenstrom für den abzusteuenden Kraftstoff wird erst wieder reduziert, nachdem die Brennkraftmaschine ihre Leerlaufdrehzahl erreicht hat. Diese Reduzierung des Soll-Volumenstroms erfolgt ähnlich schnell wie zuvor die rasche Erhöhung des Soll-Volumenstroms, die vorgesehen ist, um den Anstieg des Hochdrucks unmittelbar beim Lastabwurf zu begrenzen. Diese rasche, quasi schlagartige Reduzierung des Soll-Volumenstroms hat aber zur Folge, dass - insbesondere wiederum aufgrund der Trägheit der Hochdruck-Regelung - der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher schlagartig ansteigt, wodurch die Brennkraftmaschine unzulässig stark belastet werden kann, und wobei sich auch ihr Emissionsverhalten durch die momentan große Abweichung des Ist-Hochdrucks von einem Soll-Hochdruck erheblich verschlechtern kann.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, ein Einspritzsystem, das eingerichtet ist zur Durchführung eines solchen Verfahrens, und eine Brennkraftmaschine mit einem solchen Einspritzsystem zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0006] Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem das zuvor beschriebene Verfahren so weitergebildet wird, dass eine zeitliche Entwicklung des Soll-Volumenstroms erfasst wird, und dass der Soll-Volumenstrom gefiltert wird, wobei eine Zeitkonstante für die Filterung des Soll-Volumenstroms in Abhängigkeit von der erfassten zeitlichen Entwicklung des Soll-Volumenstroms gewählt wird. Das wenigstens eine Druckregelventil wird mit dem gefilterten Soll-Volumenstrom angesteuert. Dadurch wird es möglich, die Dynamik der zeitlichen Entwicklung des Soll-Volumenstroms in Abhängigkeit von dessen momentaner zeitlicher Entwicklung zu beeinflussen, sodass insbesondere verschiedene Zeitkonstanten für verschiedene zeitliche Entwicklungen des Soll-Volumenstroms gewählt werden können. Dabei kann der Soll-Volumenstrom insbesondere verzögert reduziert oder zurückgenommen werden, sodass ein übermäßiger Anstieg des Hochdrucks, der zu einem wesentlich verschlechterten Emissionsverhalten der Brennkraftmaschine und zu einer unzulässigen Belastung derselben führen kann, vermieden wird. Weiter kann die zeitliche Entwicklung des Soll-Volumenstroms schnell und insbesondere hochdynamisch sein, wenn dies erforderlich ist, um die Brennkraftmaschine vor einer unzulässigen Belastung zu schützen, insbesondere um einen unzulässigen Anstieg des Hochdrucks zu begrenzen, indem der Soll-Volumenstrom rasch erhöht wird. Diese hohe Dynamik des Soll-Volumenstroms ist nun aber nicht mehr zwingend für jede zeitliche Entwicklung desselben vorgesehen, sondern kann vielmehr für solche Ereignisse verzögert werden, in denen beispielsweise eine zu rasche Rücknahme des Soll-Volumenstroms zu einer unzulässigen Hochdruck-Erhöhung in dem Hochdruckspeicher führen würde. Die Brennkraftmaschine wird auf diese Weise vor einer unzulässig hohen Belastung bewahrt, und ein verschlechtertes Emissionsverhalten der Brennkraftmaschine in entsprechenden Betriebspunkten oder bei entsprechenden Betriebsereignissen kann wirksam vermieden werden. Es ergibt sich so eine längere Lebensdauer des Einspritzsystems und auch der Brennkraftmaschine insgesamt sowie ein global verbessertes Emissionsverhalten.

[0007] Das Einspritzsystem der Brennkraftmaschine weist wenigstens ein erstes hochdruckseitiges Druckregelventil als weiteres Druckstellglied auf. Es ist also gemäß einer Ausgestaltung möglich, dass das Einspritzsystem nur und genau ein hochdruckseitiges Druckregelventil aufweist. Es ist gemäß einer anderen Ausgestaltung aber auch möglich, dass das Einspritzsystem eine Mehrzahl hochdruckseitiger Druckregelventile als weitere Druckstellglieder aufweist, wobei es insbesondere genau zwei hochdruckseitige Druckregelventile als weitere Druckstellglieder aufweisen kann.

[0008] Das Einspritzsystem ist insbesondere eingerichtet zum Einspritzen von Kraftstoff in wenigstens einen Brennraum der Brennkraftmaschine, insbesondere zur Direkteinspritzung von Kraftstoff in den wenigstens einen Brennraum, und ganz besonders zur Einspritzung von Kraftstoff in eine Mehrzahl von Brennräumen der Brennkraftmaschine, ins-

besondere zur Direkteinspritzung des Kraftstoffs in jeden Brennraum der Mehrzahl von Brennräumen.

[0009] Der Hochdruckspeicher ist bevorzugt als gemeinsamer Hochdruckspeicher ausgebildet, mit dem eine Mehrzahl von Injektoren in Fluidverbindung steht. Die einzelnen Injektoren können dabei insbesondere verschiedenen Brennräumen der Brennkraftmaschine zur Direkteinspritzung von Kraftstoff in die jeweiligen Brennräume zugeordnet sein. Ein solcher Hochdruckspeicher wird auch als Rail bezeichnet, wobei das Einspritzsystem bevorzugt als Common-Rail-Einspritzsystem ausgebildet ist.

[0010] Über die niederdruckseitige Saugdrossel ist insbesondere ein aus dem Kraftstoff-Reservoir in den Hochdruckspeicher förderbarer Kraftstoff-Volumenstrom einstellbar, sodass der Hochdruck über den ersten Hochdruck-Regelkreis durch Variation der dem Hochdruckspeicher pro Zeiteinheit zugeführten Kraftstoffmenge geregelt wird. Über das wenigstens eine hochdruckseitige Druckregelventil kann Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher in das Kraftstoff-Reservoir abgesteuert werden, sodass das Druckregelventil insbesondere genutzt werden kann, um ein unzulässiges Ansteigen des Hochdrucks zu verhindern und/oder den Hochdruck schnell zu reduzieren.

[0011] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine zeitliche Ableitung des Soll-Volumenstroms berechnet wird, wobei die Zeitkonstante für die auf den Soll-Volumenstrom angewandte Filterung in Abhängigkeit von der zeitlichen Ableitung gewählt wird. Insbesondere durch die Wahl der Zeitkonstante in Abhängigkeit von der zeitlichen Ableitung kann die Dynamik des Soll-Volumenstroms in Abhängigkeit von dessen zeitlicher Entwicklung beeinflusst werden. Vorzugsweise wird eine gemittelte zeitliche Ableitung des Soll-Volumenstroms berechnet, wobei die Zeitkonstante in Abhängigkeit von der gemittelten zeitlichen Ableitung gewählt wird. Dies erhöht die Sicherheit des Verfahrens, da die Wahl der Zeitkonstante dann in geringerem Maß durch singuläre Ausreißer beeinflusst wird, wobei der allgemeine Trend der zeitlichen Entwicklung des Soll-Volumenstroms genauer erfasst werden kann.

[0012] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine erste Zeitkonstante gewählt wird, wenn die - vorzugsweise gemittelte - zeitliche Ableitung ein positives Vorzeichen aufweist oder gleich null ist, wobei eine zweite, von der ersten Zeitkonstante verschiedene Zeitkonstante gewählt wird, wenn die - vorzugsweise gemittelte - zeitliche Ableitung des Soll-Volumenstroms ein negatives Vorzeichen aufweist. Dass die zeitliche Ableitung ein positives Vorzeichen aufweist oder gleich null ist bedeutet insbesondere, dass diese echt positiv oder null, insbesondere größer oder gleich null ist. Dass die zeitliche Ableitung ein negatives Vorzeichen aufweist, bedeutet insbesondere, dass sie echt negativ, d.h. kleiner als null ist. Gemäß dieser Ausgestaltung des Verfahrens kann die Wahl der Zeitkonstante, d.h. die Wahl eines Wertes für die Zeitkonstante, davon abhängig gemacht werden, ob der Soll-Volumenstrom ansteigt oder abfällt. Dabei kann für ein Ansteigen des Soll-Volumenstroms eine andere, vorzugsweise kleinere Zeitkonstante gewählt werden, als für ein Abfallen des Soll-Volumenstroms. Somit ist es möglich, dass der Soll-Volumenstrom rasch ansteigen kann, um ein unzulässiges Ansteigen des Hochdrucks zu vermeiden oder den Hochdruck schnell zu reduzieren, wobei andererseits eine Rücknahme des Soll-Volumenstroms verzögert werden kann, um in diesem Fall ein unzulässiges Ansteigen des Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher zu vermeiden.

[0013] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste Zeitkonstante gleich null ist. Dies ermöglicht in vorteilhafter Weise eine Filterung des Soll-Volumenstroms bei einem Anstieg desselben, die im Ergebnis den identischen Soll-Volumenstrom zurückgibt, was mithin den gleichen Effekt hat, als würde der Soll-Volumenstrom nicht gefiltert. Dieser kann somit hochdynamisch und ohne Verzögerung ansteigen, um rasch Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher absteuern und so einen unzulässigen Anstieg des Hochdrucks vermeiden oder den Hochdruck rasch abbauen zu können. Die zweite Zeitkonstante ist bevorzugt größer null, d.h. insbesondere echt positiv. Fällt der Soll-Volumenstrom ab, kann dieser Abfall demnach aufgrund der echt positiven zweiten Zeitkonstante verzögert werden, wobei insbesondere die Ansteuerung des Druckregelventils in Schließrichtung verzögert wird. Hierdurch kann ein unzulässiger Anstieg des Hochdrucks bei der Rücknahme des Soll-Volumenstroms vermieden oder zumindest reduziert werden.

[0014] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweite Zeitkonstante von mindestens 0,1 Sekunde bis höchstens 1,1 Sekunde, vorzugsweise von mindestens 0,2 Sekunde bis höchstens 1 Sekunde beträgt. Es hat sich herausgestellt, dass diese Werte für die zweite Zeitkonstante in besonderer Weise geeignet sind, ein unzulässiges Ansteigen des Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher durch Schließen des Druckregelventils zu vermeiden.

[0015] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Soll-Volumenstrom mit einem Proportionalfilter mit Verzögerungsglied, insbesondere mit einem PT₁-Algorithmus, gefiltert wird. Diese Ausgestaltung hat sich als besonders effektive Filterung des Soll-Volumenstroms zum Erreichen der hier genannten Vorteile erwiesen.

[0016] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Hochdruck in einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs mittels des wenigstens einen Druckregelventils über einen zweiten Hochdruck-Regelkreis geregelt wird. Dies stellt insbesondere eine Redundanz in der Regelung des Hochdrucks bereit, wobei auch bei einem Ausfall des ersten Hochdruck-Regelkreises - insbesondere bei einem Ausfall der Saugdrossel als erstem Druckstellglied, beispielsweise aufgrund eines Kabelbruchs, eines vergessenen Aufsteckens eines Saugdrosselsteckers, einem Klemmen oder Verschmutzen der Saugdrossel, oder einem anderen Fehler oder Defekt in dem ersten Hochdruck-Regelkreis - noch eine Regelung des Hochdrucks möglich ist, nämlich über den zweiten Hochdruck-Regelkreis und mittels des wenigstens einen Druckregelventils. Eine Verschlechterung des Emissionsverhaltens der Brennkraftmaschine kann so vermieden

werden.

[0017] Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass in einer zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs wenigstens ein zweites hochdruckseitiges Druckregelventil, das von dem wenigstens einen ersten hochdruckseitigen Druckregelventil verschieden ist, zusätzlich zu dem wenigstens einen ersten Druckregelventil als Druckstellglied zur Regelung des Hochdrucks angesteuert wird. Das zweite Druckregelventil ist insbesondere strömungstechnisch parallel zu dem ersten Druckregelventil angeordnet, wobei beide Druckregelventile - in Parallelschaltung - den Hochdruckspeicher mit dem Kraftstoff-Reservoir verbinden, und wobei über beide Druckregelventile Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher in das Kraftstoff-Reservoir abgesteuert werden kann. Insbesondere in Betriebssituationen, in welchen das wenigstens eine erste Druckregelventil für eine funktionierende Hochdruck-Regelung nicht mehr ausreicht, sodass der Hochdruck trotz Ansteuerung des wenigstens einen ersten Druckregelventils weiter ansteigt, ist es in der zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs dann möglich, das wenigstens eine zweite Druckregelventil zuzuschalten, sodass nunmehr die Druckventile gemeinsam zur Druckregelung des Hochdrucks als Druckstellglieder angesteuert werden. Hierdurch können größere Abstemmungen erzielt werden, sodass eine effiziente und sichere Druckregelung auch bei höherem Absterbedarf möglich ist. Das wenigstens eine zweite Druckregelventil wird dabei bevorzugt ebenfalls - wie auch das wenigstens eine erste Druckregelventil - durch den zweiten Hochdruck-Regelkreis angesteuert.

[0018] Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass in einer dritten Betriebsart des Schutzbetriebs das wenigstens eine Druckregelventil dauerhaft geöffnet wird. Besonders bevorzugt werden in der dritten Betriebsart des Schutzbetriebs alle Druckregelventile, insbesondere das wenigstens eine erste Druckregelventil und das wenigstens eine zweite Druckregelventil, dauerhaft geöffnet. In dieser dritten Betriebsart kann dauerhaft über die Druckregelventile ein großer Kraftstoff-Volumenstrom aus dem Hochdruckspeicher in das Kraftstoff-Reservoir abgesteuert werden. Die Druckregelventile werden dabei vorzugsweise in Richtung einer maximalen Öffnung angesteuert, sodass ein maximaler Kraftstoff-Volumenstrom über die Druckregelventile abgesteuert werden kann. Hierdurch kann ein unzulässig hoher Hochdruck in dem Hochdruckspeicher nicht nur temporär, sondern dauerhaft rasch und zuverlässig abgebaut werden, sodass das Einspritzsystem wirksam und zuverlässig geschützt ist. Diese Funktionalität ermöglicht es insbesondere, auf ein mechanisches Überdruckventil zu verzichten, sodass Bauraum und Kosten eingespart werden können. Die Funktionalität des mechanischen Überdruckventils wird dabei durch die Ansteuerung des wenigstens einen Druckregelventils nachgebildet.

[0019] Vorzugsweise wird in die erste Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet, wenn der Hochdruck einen ersten Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet, oder wenn ein Defekt der Saugdrossel erkannt wird. Alternativ oder zusätzlich wird in die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet, wenn der Hochdruck einen zweiten Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet. Alternativ oder zusätzlich wird in die dritte Betriebsart des Schutzbetriebs geschaltet, wenn der Hochdruck einen dritten Druckgrenzwert erreicht oder überschreitet, oder wenn ein Defekt eines Hochdruck-Sensors erkannt wird. Der dritte Druckgrenzwert ist bevorzugt größer gewählt als der zweite Druckgrenzwert. Vorzugsweise ist der dritte Druckgrenzwert größer gewählt als der erste Druckgrenzwert. Vorzugsweise ist der zweite Druckgrenzwert größer gewählt als der erste Druckgrenzwert. Besonders bevorzugt ist der zweite Druckgrenzwert größer gewählt als der erste Druckgrenzwert, wobei der dritte Druckgrenzwert größer gewählt ist als der zweite Druckgrenzwert. Es ist beispielsweise möglich, dass der erste Druckgrenzwert zu 2400 bar gewählt ist, wobei der dritte Druckgrenzwert bei 2500 bar liegen kann. Der zweite Druckgrenzwert wird vorzugsweise zwischen dem ersten Druckgrenzwert und dem dritten Druckgrenzwert gewählt.

[0020] In wenigstens einer Betriebsart des Schutzbetriebs wird vorzugsweise die Saugdrossel zu einer dauerhaft geöffneten Position angesteuert. Bevorzugt wird die Saugdrossel insbesondere oder nur in der dritten Betriebsart des Schutzbetriebs zu einer dauerhaft geöffneten Position angesteuert. Dies ermöglicht auch bei dauerhafter Öffnung des wenigstens einen Druckregelventils eine ausreichende Kraftstoff-Förderung in den Hochdruckspeicher, sodass die Brennkraftmaschine nicht abgewürgt wird. Die Saugdrossel wird in der dritten Betriebsart insbesondere in einer Art Notbetrieb dauerhaft geöffnet, um zu gewährleisten, dass auch im mittleren und niedrigen Drehzahlbereich der Brennkraftmaschine noch genügend Kraftstoff in den Hochdruckspeicher gefördert werden kann, um den Betrieb der Brennkraftmaschine aufrechterhalten zu können.

[0021] Die Aufgabe wird auch gelöst, indem ein Einspritzsystem für eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welches wenigstens einen Injektor, einen Hochdruckspeicher, der einerseits mit dem wenigstens einen Injektor und andererseits über eine Hochdruckpumpe mit einem Kraftstoff-Reservoir in Fluidverbindung ist, wobei der Hochdruckpumpe eine Saugdrossel als erstes Druckstellglied zugeordnet ist, und mit einem Druckregelventil, über welches der Hochdruckspeicher mit dem Kraftstoff-Reservoir strömungstechnisch verbunden ist, geschaffen wird. Das Einspritzsystem weist ein Steuergerät auf, das mit dem wenigstens einen Injektor, der Saugdrossel und dem wenigstens einen Druckregelventil wirkverbunden ist. Das Steuergerät ist eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens nach einer der zuvor beschriebenen Ausführungsformen. Dabei verwirklichen sich in Zusammenhang mit dem Einspritzsystem insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden.

[0022] Bevorzugt weist das Einspritzsystem eine Mehrzahl von Injektoren auf, wobei es genau einen und nur einen Hochdruckspeicher aufweist, mit dem die verschiedenen Injektoren strömungstechnisch verbunden sind. Der gemein-

same Hochdruckspeicher ist in diesem Fall als sogenannte gemeinsame Leiste, insbesondere als Rail ausgebildet, wobei das Einspritzsystem bevorzugt als Common-Rail-Einspritzsystem ausgebildet ist.

[0023] Die Saugdrossel ist der Hochdruckpumpe vorgeschaltet, insbesondere strömungstechnisch vorgeschaltet, also stromaufwärts der Hochdruckpumpe angeordnet. Dabei ist es möglich, dass die Saugdrossel in die Hochdruckpumpe oder in ein Gehäuse der Hochdruckpumpe integriert ist. Stromaufwärts der Hochdruckpumpe und der Saugdrossel ist vorzugsweise eine Niederdruckpumpe angeordnet, um Kraftstoff aus dem Kraftstoff-Reservoir zu der Saugdrossel und der Hochdruckpumpe zu fördern.

[0024] An dem Hochdruckspeicher ist vorzugsweise ein Drucksensor angeordnet, der zur Erfassung eines Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher eingerichtet und mit dem Steuergerät wirkverbunden ist, sodass der Hochdruck in dem Steuergerät registrierbar ist.

[0025] Das Steuergerät ist vorzugsweise als Motor-Steuergerät (Engine Control Unit - ECU) der Brennkraftmaschine ausgebildet. Es ist alternativ auch möglich, dass ein gesondertes Steuergerät eigens zur Durchführung des Verfahrens vorgesehen ist.

[0026] Es wird ein Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems bevorzugt, bei welchem das Druckregelventil stromlos offen ausgebildet ist. Diese Ausgestaltung hat den Vorteil, dass das Druckregelventil in dem Fall, dass es nicht angesteuert oder bestromt wird, maximal weit öffnet, was einen besonders sicheren und zuverlässigen Betrieb insbesondere dann ermöglicht, wenn auf ein mechanisches Überdruckventil verzichtet wird. Ein unzulässiger Anstieg des Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher kann dann auch vermieden werden, wenn eine Bestromung des Druckregelventils aufgrund eines technischen Fehlers nicht möglich ist.

[0027] Die Aufgabe wird schließlich auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, die ein Einspritzsystem nach einem zuvor beschriebenen Ausgangsbeispiele aufweist. In Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine ergeben sich dabei insbesondere die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Einspritzsystem und dem Verfahren erläutert wurden.

[0028] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausgangsbeispiels einer Brennkraftmaschine mit einem Einspritzsystem;

Figur 2 eine schematische Detaildarstellung einer ersten Ausführungsform des Verfahrens;

Figur 3 eine schematische Detaildarstellung einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens;

Figur 4 eine weitere schematische Detaildarstellung des Verfahrens;

Figur 5 eine weitere schematische Detaildarstellung des Verfahrens;

Figur 6 eine schematische Darstellung der sich in Zusammenhang mit dem Verfahren ergebenden Effekte, und

Figur 7 eine schematische Detaildarstellung des Verfahrens in Form eines Flussdiagramms.

[0029] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine 1, welche ein Einspritzsystem 3 aufweist. Dieses ist bevorzugt als Common-Rail-Einspritzsystem ausgebildet. Es weist eine Niederdruckpumpe 5 zur Förderung von Kraftstoff aus einem Kraftstoffreservoir 7, eine verstellbare, niederdruckseitige Saugdrossel 9 zur Beeinflussung eines diese durchströmenden Kraftstoff-Volumenstroms, eine Hochdruckpumpe 11 zur Förderung des Kraftstoffs unter Druckerhöhung in einen Hochdruckspeicher 13, den Hochdruckspeicher 13 zum Speichern des Kraftstoffs, und eine Mehrzahl von Injektoren 15 zum Einspritzen des Kraftstoffs in Brennräume 16 der Brennkraftmaschine 1 auf. Optional ist es möglich, dass das Einspritzsystem 3 mit Einzelspeichern ausgeführt ist, wobei dann beispielsweise in den Injektor 15 ein Einzelspeicher 17 als zusätzliches Puffervolumen integriert ist. Es ist ein erstes, insbesondere elektrisch ansteuerbares hochdruckseitiges Druckregelventil 19 vorgesehen, über welches der Hochdruckspeicher 13 mit dem Kraftstoffreservoir 7 fluidverbunden ist. Über die Stellung des ersten Druckregelventils 19 wird ein Kraftstoff-Volumenstrom definiert, welcher aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 abgesteuert wird. Dieser Kraftstoff-Volumenstrom ist in Figur 1 mit VDRV1 bezeichnet und stellt eine Hochdruck-Störgröße des Einspritzsystems 3 dar.

[0030] Gemäß einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 ist es möglich, dass diese nur das erste und damit einzige Druckregelventil 19 aufweist.

[0031] Das Einspritzsystem 3 weist bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel allerdings ein zweites, insbesondere elektrisch ansteuerbares hochdruckseitiges Druckregelventil 20 auf, über welches der Hochdruckspeicher 13 ebenfalls mit dem Kraftstoffreservoir 7 fluidverbunden ist. Die beiden Druckregelventile 19, 20 sind demnach insbesondere

strömungstechnisch parallel zueinander angeordnet. Auch über das zweite Druckregelventil 20 ist ein Kraftstoff-Volumenstrom definierbar, welcher aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 abgesteuert werden kann. Dieser Kraftstoff-Volumenstrom ist in Figur 1 mit VDRV2 bezeichnet.

[0032] Das Einspritzsystem 3 weist bevorzugt kein mechanisches Überdruckventil auf, welches herkömmlicherweise vorgesehen ist und dann den Hochdruckspeicher 13 mit dem Kraftstoffreservoir 7 verbindet. Auf das mechanische Überdruckventil kann verzichtet werden, da dessen Funktion vollständig durch das wenigstens eine Druckregelventil 19, 20 übernommen wird. Es ist aber auch eine Ausgestaltung des Einspritzsystems 3 mit wenigstens einem mechanischen Überdruckventil möglich, wodurch eine zusätzliche Sicherheitsmaßnahme zur Vermeidung eines unzulässigen Anstiegs des Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher 13 bereitgestellt werden kann.

[0033] Es ist möglich, dass das Einspritzsystem 3 mehr als zwei Druckregelventile 19, 20 aufweist. Der einfacheren Darstellung wegen wird im Folgenden allerdings die Funktionsweise des Einspritzsystems 1 insbesondere anhand des hier dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert, welches genau zwei Druckregelventile 19, 20 aufweist.

[0034] Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät 21, welches bevorzugt als Motorsteuergerät der Brennkraftmaschine 1, nämlich als sogenannte Engine Control Unit (ECU) ausgebildet ist, bestimmt. Das elektronische Steuergerät 21 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 21 aus Eingangsgrößen Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: Ein gemessener, noch ungefilterter Hochdruck p , der in dem Hochdruckspeicher 13 herrscht und mittels eines Hochdrucksensors 23 gemessen wird, eine aktuelle Motordrehzahl n_1 , ein Signal FP zur Leistungsvorgabe durch einen Betreiber der Brennkraftmaschine 1, und eine Eingangsgröße E. Unter der Eingangsgröße E sind vorzugsweise weitere Sensorsignale zusammengefasst, beispielsweise ein Ladeluftdruck eines Abgasturboladers. Bei einem Einspritzsystem 3 mit Einzelspeichern 17 ist ein Einzelspeicherdruck p_E bevorzugt eine zusätzliche Eingangsgröße des Steuergeräts 21.

[0035] In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 21 beispielhaft ein Signal PWMSD zur Ansteuerung der Saugdrossel 9 als Druckstellglied, ein Signal v_e zur Ansteuerung der Injektoren 15 - welches insbesondere einen Spritzbeginn und/oder ein Spritzende oder auch eine Spritzdauer vorgibt -, ein erstes Signal PWMDRV1 zur Ansteuerung eines ersten Druckregelventils der beiden Druckregelventile 19, 20, und ein zweites Signal PWMDRV2 zur Ansteuerung eines zweiten Druckregelventils der beiden Druckregelventile 19, 20 dargestellt. Bei den Signalen PWMDRV1, PWMDRV2 handelt es sich bevorzugt um pulsweitenmodulierte Signale, über welche die Stellung eines Druckregelventils 19, 20 und damit der dem Druckregelventil 19, 20 jeweils zugeordnete Kraftstoff-Volumenstrom VDRV1, VDRV2 definiert werden kann.

[0036] Es versteht sich, dass bei dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel, bei welchem das Einspritzsystem 3 nur ein Druckregelventil 19, 20 aufweist, auch nur ein Signal PWMDRV zur Ansteuerung des Druckregelventils durch das Steuergerät 21 erzeugt und ausgegeben wird. Auch dieses eine Signal PWMDRV ist aber bevorzugt als pulsweitenmoduliertes Signal ausgebildet, über welches die Stellung des Druckregelventils 19, 20 und damit der dem Druckregelventil 19, 20 zugeordnete Kraftstoff-Volumenstrom VDRV definiert werden kann.

[0037] In Figur 1 ist außerdem noch eine Ausgangsgröße A dargestellt, die stellvertretend für weitere Stellsignale zur Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine 1 steht, beispielsweise für ein Stellsignal zur Aktivierung eines zweiten Abgasturboladers bei einer Registeraufladung.

[0038] Fig. 2 zeigt eine erste schematische Detaildarstellung einer ersten Ausführungsform des Verfahrens. Die Erläuterung der Funktionsweise des Einspritzsystems 3 erfolgt zunächst ohne Berücksichtigung des gestrichelt dargestellten Funktionsblocks B, wodurch insbesondere zunächst eine Funktionsweise des Einspritzsystems 3 ohne den Funktionsblock B zum besseren Verständnis dieser Funktionsweise sowie des Zwecks und der Funktion des Funktionsblocks B beschrieben wird. Es ist ein nicht dargestellter erster Hochdruck-Regelkreis vorgesehen, über den in einem Normalbetrieb des Einspritzsystems 3 mittels der Saugdrossel 9 als erstem Druckstellglied der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 geregelt wird. Der erste Hochdruck-Regelkreis weist als Eingangsgröße einen Soll-Hochdruck p_S für das Einspritzsystem 3 auf. Dieser wird vorzugsweise in Abhängigkeit von einer Drehzahl der Brennkraftmaschine 1, einer Last- oder Drehmomentanforderung an die Brennkraftmaschine 1 und/oder in Abhängigkeit weiterer, insbesondere einer Korrektur dienender Größen, aus einem Kennfeld ausgelesen. Weitere Eingangsgrößen des ersten Hochdruck-Regelkreises sind insbesondere eine gemessene Drehzahl n_1 der Brennkraftmaschine 1 sowie eine bevorzugt ebenfalls aus einem Kennfeld ausgelesene und/oder aus einer Drehzahlregelung für die Brennkraftmaschine 1 resultierende Soll-Einspritzmenge Q_S . Als Ausgangsgröße weist der erste Hochdruck-Regelkreis insbesondere einen Ist-Hochdruck p_1 auf, der aus dem von dem Hochdrucksensor 23 gemessenen Hochdruck p erhalten wird, indem dieser vorzugsweise einer ersten Filterung mit einer größeren Zeitkonstante unterzogen wird, wobei er zugleich vorzugsweise einer zweiten Filterung mit einer kleineren Zeitkonstante unterzogen wird, um einen dynamischen Raildruck p_{dyn} als weitere Ausgangsgröße des ersten Hochdruck-Regelkreises zu berechnen.

[0039] In Figur 2 ist die Ansteuerung des einen Druckregelventils 19 eines Ausführungsbeispiels des Einspritzsystems

3 mit genau einem Druckregelventil 19 dargestellt. Es ist vorzugsweise ein erstes Schaltelement 27 vorgesehen, mit dem abhängig von einem ersten logischen Signal SIG1 zwischen dem Normalbetrieb und einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs umgeschaltet werden kann. Bevorzugt ist das Schaltelement 27 - wie vorzugsweise alle im Folgenden noch beschriebenen Schaltelemente - vollständig auf elektronischer oder Software-Ebene verwirklicht. Dabei wird die im Folgenden beschriebene Funktionalität vorzugsweise abhängig von dem Wert einer dem ersten logischen Signal SIG1 entsprechenden Variable, die insbesondere als sogenanntes Flag ausgebildet ist und die Werte "wahr" oder "falsch" annehmen kann, umgeschaltet. Alternativ ist es allerdings selbstverständlich auch möglich, dass das Schaltelement 27 als realer Schalter, beispielsweise als Relais, ausgebildet ist. Dieser Schalter kann dann beispielsweise abhängig von einem Niveau eines elektrischen Signals geschaltet werden. Bei der hier konkret dargestellten Ausgestaltung ist der Normalbetrieb gesetzt, wenn das erste logische Signal SIG1 den Wert "falsch" (False) aufweist. Dagegen ist die erste Betriebsart des Schutzbetriebs gesetzt, wenn das erste logische Signal SIG1 den Wert "wahr" (True) aufweist.

[0040] Es ist ein zweites Schaltelement 29 vorgesehen, welches eingerichtet ist, um die Ansteuerung des Druckregelventils 19 von einer Normalfunktion in eine Stillstandsfunktion und zurück zu schalten. Dabei wird das zweite Schaltelement 29 in Abhängigkeit von einem zweiten logischen Signal Z beziehungsweise dem Wert einer entsprechenden Variable gesteuert. Das zweite Schaltelement 29 kann als virtuelles, insbesondere Software-basiertes Schaltelement ausgestaltet sein, welches in Abhängigkeit von dem Wert einer insbesondere als Flag ausgestalteten Variable zwischen der Normalfunktion und der Stillstandsfunktion schaltet. Es ist alternativ aber auch möglich, dass das zweite Schaltelement 29 als realer Schalter, beispielsweise als Relais ausgebildet ist, welches in Abhängigkeit von einem Signalwert eines elektrischen Signals schaltet. Hier entspricht das zweite logische Signal Z konkret einer Zustandsvariable, welche die Werte 1 für einen ersten Zustand und 2 für einen zweiten Zustand annehmen kann. Dabei wird die Normalfunktion für das Druckregelventil 19 gesetzt, wenn das zweite logische Signal Z den Wert 2 annimmt, wobei die Stillstandsfunktion gesetzt wird, wenn das zweite logische Signal Z den Wert 1 annimmt. Selbstverständlich ist eine abweichende Definition des zweiten logischen Signals Z, insbesondere dergestalt möglich, dass eine entsprechende Variable die Werte 0 und 1 annehmen kann.

[0041] Zunächst wird nun die Ansteuerung des Druckregelventils 19 in dem Normalbetrieb sowie bei gesetzter Normalfunktion beschrieben. Es ist ein Berechnungsglied 31 vorgesehen, welches als Ausgangsgröße einen berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ ausgibt, wobei in das Berechnungsglied 31 als Eingangsgrößen die momentane Drehzahl n_I , die Soll-Einspritzmenge Q_S , außerdem bevorzugt in hier nicht explizit dargestellter Weise der Soll-Hochdruck p_S , der dynamische Raildruck p_{dyn} , und der Ist-Hochdruck p_I eingehen. Die Funktionsweise des Berechnungsglieds 31 ist ausführlich in den deutschen Patentschriften DE 10 2009 031 528 B3 und DE 10 2009 031 527 B3 beschrieben. Dabei zeigt sich insbesondere, dass in einem Schwachlastbereich, beispielsweise im Leerlauf der Brennkraftmaschine 1, ein positiver Wert für einen statischen Soll-Volumenstrom berechnet wird, während in einem Normalbetriebsbereich ein statischer Soll-Volumenstrom von 0 berechnet wird. Der statische Soll-Volumenstrom wird bevorzugt durch Aufaddieren eines dynamischen Soll-Volumenstroms korrigiert, der seinerseits über eine dynamische Korrektur in Abhängigkeit von dem Soll-Hochdruck p_S , dem Ist-Hochdruck p_I und dem dynamischen Raildruck p_{dyn} berechnet wird. Der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ ist schließlich die Summe aus dem statischen Soll-Volumenstrom und dem dynamischen Soll-Volumenstrom. Es handelt sich bei dem berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ insoweit um einen resultierenden Soll-Volumenstrom.

[0042] Im Normalbetrieb, wenn das erste logische Signal SIG1 den Wert "falsch" aufweist, wird - wie ausgeführt zunächst unter Hinwegdenken des Funktionsblocks B - der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ unverändert als Soll-Volumenstrom V_S an ein Druckregelventil-Kennfeld 33 übergeben. Das Druckregelventil-Kennfeld 33 bildet hierbei - wie in der deutschen Patentschrift DE 10 2009 031 528 B3 beschrieben - eine inverse Charakteristik des Druckregelventils 19 ab. Ausgangsgröße dieses Druckregelventil-Kennfelds 33 ist ein Druckregelventil-Sollstrom I_S , Eingangsgrößen sind der abzusteuende Soll-Volumenstrom V_S sowie der Ist-Hochdruck p_I .

[0043] Der Druckregelventil-Sollstrom I_S wird einem Stromregler 35 zugeführt, der die Aufgabe hat, den Strom zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 zu regeln. Weitere Eingangsgrößen des Stromreglers 35 sind beispielsweise ein Proportionalbeiwert $k_{pI,DRV}$ und ein Ohm'scher Widerstand $R_{I,DRV}$ des Druckregelventils 19. Ausgangsgröße des Stromreglers 35 ist eine Sollspannung U_S für das Druckregelventil 19, welche durch Bezug auf eine Betriebsspannung U_B in an sich bekannter Weise in eine Einschaltdauer für das pulsweitenmodellerte Signal PWMDRV zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 umgerechnet und diesem in der Normalfunktion, wenn also das zweite logische Signal Z den Wert 2 aufweist, zugeführt wird. Zur Stromregelung wird der Strom am Druckregelventil 19 als gemessene Stromgröße I_R gemessen, in einem Stromfilter 37 gefiltert und als gefilterter Ist-Strom I_I dem Stromregler 35 wieder zugeführt.

[0044] Wie bereits angedeutet, wird die Einschaltdauer PWMDRV des pulsweitenmodellierten Signals zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 in für sich genommen bekannter Weise gemäß folgender Gleichung aus der Sollspannung U_S und der Betriebsspannung U_B berechnet:

$$PWMDRV = (U_S/U_B) \times 100.$$

Auf diese Weise wird in dem Normalbetrieb eine Hochdruck-Störgröße, nämlich der abgesteuerte Kraftstoff-Volumenstrom VDRV, über das Druckregelventil 19 als zweitem Druckstellglied erzeugt.

[0045] Nimmt das erste logische Signal SIG1 den Wert "wahr" an, schaltet das erste Schaltelement 27 von dem Normalbetrieb in die erste Betriebsart des Schutzbereichs um. Unter welchen Bedingungen dies der Fall ist, wird in Zusammenhang mit Figur 4 erläutert. Bezüglich der Ansteuerung des Druckregelventils 19 ergibt sich in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs insoweit kein Unterschied, als auch hier das Druckregelventil 19 mit dem Soll-Volumenstrom V_S angesteuert wird, jedenfalls solange durch das zweite Schaltelement 29 die Normalfunktion gesetzt ist. Insoweit ergibt sich in Figur 2 rechts von dem ersten Schaltelement 27 keine Änderung zu den zuvor gegebenen Erläuterungen. Der Soll-Volumenstrom V_S wird in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs jedoch anders berechnet als in dem Normalbetrieb, nämlich über einen zweiten Hochdruck-Regelkreis 39.

[0046] Der Soll-Volumenstrom V_S wird in diesem Fall mit einem begrenzten Ausgangsvolumenstrom V_R eines Druckregelventil-Druckreglers 41 identisch gesetzt. Dies entspricht der oberen Schalterstellung des ersten Schaltelements 27. Der Druckregelventil-Druckregler 41 weist als Eingangsgröße eine Hochdruck-Regelabweichung e_p auf, welche als Differenz von dem Soll-Hochdruck p_S und dem Ist-Hochdruck p_I berechnet wird. Weitere Eingangsgrößen des Druckregelventil-Druckreglers 41 sind bevorzugt ein maximaler Volumenstrom V_{max} für das Druckregelventil 19, unter Hinwegdenken des Funktionsblocks B der in dem Berechnungsglied 31 berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ und/oder ein Proportionalbeiwert k_{pDRV} . Der Druckregelventil-Druckregler 41 ist vorzugsweise als PI(DT₁)-Algorithmus ausgeführt. Dabei wird vorzugsweise ein integrierender Anteil (I-Anteil) zu dem Zeitpunkt, zu welchem das erste Schaltelement 27 von seiner in Figur 2 dargestellten unteren in seine obere Schalterstellung umgeschaltet wird, unter Hinwegdenken des Funktionsblocks B mit dem berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ initialisiert. Nach oben wird der I-Anteil des Druckregelventil-Druckreglers 41 auf den maximalen Volumenstrom V_{max} für das Druckregelventil 19 begrenzt. Dabei ist der maximale Volumenstrom V_{max} vorzugsweise eine Ausgangsgröße einer zweidimensionalen Kennlinie 43, welche den das Druckregelventil 19 maximal durchsetzenden Volumenstrom in Abhängigkeit von dem Hochdruck aufweist, wobei die Kennlinie 43 als Eingangsgröße den Ist-Hochdruck p_I erhält. Ausgangsgröße des Druckregelventil-Druckreglers 41 ist ein unbegrenzter Volumenstrom V_U , der in einem Begrenzungselement 45 auf den maximalen Volumenstrom V_{max} begrenzt wird. Das Begrenzungselement 45 gibt als Ausgangsgröße schließlich den begrenzten Soll-Volumenstrom V_R aus. Mit diesem als Soll-Volumenstrom V_S wird dann das Druckregelventil 19 angesteuert, indem der Soll-Volumenstrom V_S in bereits beschriebener Weise dem Druckregelventil-Kennfeld 33 zugeführt wird.

[0047] Es erfolgt demnach in dieser Weise in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs eine Ansteuerung des Druckregelventils 19 als Druckstellglied zur Regelung des Hochdrucks in dem Hochdruckspeicher 13 über den zweiten Hochdruck-Regelkreis 39.

[0048] Anhand von Fig. 3 wird nun die Funktionsweise erläutert, die durch Hinzunahme eines zweiten Druckregelventils 20 bei einem Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems 3 mit zwei Druckregelventilen 19, 20 gegeben ist. Auch hier wird zunächst dem besseren Verständnis wegen der Funktionsblock B hinweggedacht, wobei dessen Sinn und Funktionsweise später erläutert werden. Insoweit wird zunächst eine Funktionsweise des Einspritzsystems 3 mit zwei Druckregelventilen 19, 20 ohne den Funktionsblock B beschrieben. Im Folgenden werden insbesondere die Unterschiede beschrieben, die sich zwischen der Ansteuerung von zwei Druckregelventilen 19, 20 gemäß Figur 3 im Unterschied zu der Ansteuerung von nur einem Druckregelventil 19 gemäß Figur 2 ergeben. Insbesondere mit Blick auf die Ansteuerung des ersten Druckregelventils 19 beziehungsweise eines der Druckregelventile 19, 20 wird auf die vorangehende Beschreibung sowie die Darstellung gemäß Figur 2 verwiesen. Insbesondere sind in Figur 2 und Figur 3 gleiche und funktionsgleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen und/oder Beschriftungen versehen, sodass insoweit jeweils auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird.

[0049] Wie in Zusammenhang mit Figur 4 noch näher erläutert wird, nimmt das erste logische Signal SIG1 den logischen Wert "wahr" an, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} - beispielsweise infolge eines Kabelbruchs des Saugdrossel-Steckers -, einen ersten Druckgrenzwert p_{G1} erreicht oder überschreitet. In der Folge wechselt das erste Schaltelement 27 in die in Figur 3 dargestellte obere Schaltstellung, sodass der Hochdruck nun mithilfe des zweiten Hochdruck-Regelkreises 39 und eines der Druckregelventile 19, 20 geregelt wird. Wie ebenfalls in Zusammenhang mit Figur 4 noch erläutert werden wird, weist ein drittes logisches Signal SIG2 den Wert "falsch" auf, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} einen zweiten Druckgrenzwert p_{G2} noch nicht erreicht hat. Ein zweiter Druckregelventil-Sollstrom $I_{S,2}$ für ein zweites Druckregelventil 20, 19 wird dann über ein drittes Schaltelement 47 aus einem zweiten Druckregelventil-Kennfeld 49 ausgelesen, welches den Ist-Hochdruck p_I und den konstanten Wert Null für den Soll-Volumenstrom als Eingangsgröße aufweist. Sind die beiden Druckregelventile 19, 20 identisch ausgebildet, ist das zweite Druckregelventil-Kennfeld 49 gleich dem ersten Druckregelventil-Kennfeld 33 und unterscheidet sich nur in Hinblick auf den konstant zu Null gesetzten, eingehenden Soll-Volumenstrom. Werden verschiedene Druckregelventile 19, 20 verwendet, können sich die beiden Druckregelventil-Kennfelder 33, 49 unterscheiden. Dadurch, dass das zweite Druckregelventil-Kennfeld 49 als eingehenden Soll-Volumenstrom den Wert Null hat, wird das derart angesteuerte Druckregelventil 19, 20 so angesteuert, dass es vollständig geschlossen ist, wobei es keinen Kraftstoff in das Kraftstoffreservoir 7 absteuert. Der Hochdruck wird daher solange, bis der dynamische Raildruck p_{dyn} den zweiten Druckgrenzwert p_{G2} erreicht oder überschreitet, nur

mithilfe eines Druckregelventils 19, 20 der Druckregelventile 19, 20 geregelt.

[0050] Es ist ein viertes Schaltelement 44 vorgesehen, welches den Wert eines Faktors f_{DRV} bestimmt. Dieses vierte Schaltelement 44 wird ebenfalls abhängig von dem dritten logischen Signal SIG2 gesteuert, und nimmt seine in Figur 3 dargestellte untere Schaltstellung ein, wenn das dritte logische Signal SIG2 den Wert "falsch" (false) aufweist. In diesem Fall wird die Ausgangsgröße der Kennlinie 43 mit dem Faktor 1 multipliziert. Entsprechend wird der aus dem Begrenzungselement 45 resultierende begrenzte Sollvolumenstrom V_R durch den Faktor 1 dividiert.

[0051] Es ist im Übrigen möglich, dass für beide Druckregelventile 19, 20 dieselbe Kennlinie 43, und somit insbesondere nur eine Kennlinie 43 verwendet wird, wenn die Druckregelventile 19, 20 identisch ausgebildet sind. Sind die Druckregelventile 19, 20 verschieden ausgebildet, werden bevorzugt verschiedene Kennlinien 43 für die verschiedenen Druckregelventile 19, 20 verwendet.

[0052] Steigt der dynamische Raildruck p_{dyn} an und erreicht oder überschreitet den zweiten Druckgrenzwert p_{G2} , so nimmt das dritte logische Signal SIG2 den Wert "wahr" (true) an. Dies führt dazu, dass das dritte Schaltelement 47 und das vierte Schaltelement 44 in ihre in Figur 3 obere Schaltstellung wechseln. Betrachtet man zunächst das dritte Schaltelement 47, so zeigt sich, dass hierdurch nun der zweite Druckregelventil-Sollstrom $I_{S,2}$ bei dem hier konkret dargestellten Ausführungsbeispiel identisch wird mit dem ersten Druckregelventil-Sollstrom I_S , sodass in der Folge beide Druckregelventile 19, 20 mit demselben Sollstrom beaufschlagt werden. Dies setzt wiederum voraus, dass die beiden Druckregelventile 19, 20 identisch ausgebildet sind, was einer bevorzugten Ausgestaltung entspricht. Selbstverständlich ist es aber möglich, diese mit separaten, insbesondere aus separaten Kennfeldern resultierenden Sollströmen zu beaufschlagen, wenn sich die Druckregelventile 19, 20 unterscheiden. Somit wird insbesondere für die Druckregelventile 19, 20 dasselbe Druckregelventil-Kennfeld 33 verwendet, wenn diese identisch ausgebildet sind. Unterscheiden sie sich aber, können verschiedene Druckregelventil-Kennfelder verwendet werden.

[0053] Zwei gleiche Druckregelventile 19, 20 können eine doppelte Kraftstoffmenge im Vergleich zu einem einzigen Druckregelventil 19, 20 absteuern. Aus diesem Grund nimmt - wenn man nun das vierte Schaltelement 44 betrachtet - der Faktor f_{DRV} jetzt den Wert 2 an, wodurch der aus der Kennlinie 43 resultierende, maximale Volumenstrom V_{max} verdoppelt wird. Der begrenzte Volumenstrom V_R , der aus dem Begrenzungselement 45 resultiert, wird dagegen durch den Faktor f_{DRV} und somit nun durch zwei geteilt, da letztlich der resultierende Druckregelventil-Sollvolumenstrom V_S jeweils mit einem Druckregelventil 19, 20 korrespondiert und jeweils der Ansteuerung eines Druckregelventils 19, 20 dient. Auch diese Vorgehensweise ist abgestimmt auf die bevorzugte Ausgestaltung, bei welcher die beiden verwendeten Druckregelventile 19, 20 gleich ausgebildet sind. Sind sie verschieden ausgebildet, werden dagegen vorzugsweise verschiedene Kennlinien 43, verschiedene zweite Hochdruck-Regelkreise 39, und verschiedene Druckregelventil-Kennfelder 33, 49 zur Ansteuerung der verschiedenen Druckregelventile 19, 20 verwendet. Sind dagegen mehr als zwei gleich ausgebildete Druckregelventile 19, 20 vorgesehen, können diese völlig analog zu der Darstellung in Figur 3 durch eine Vervielfachung der dort für jedes Druckregelventil 19, 20 dargestellten Ansteuerelemente angesteuert werden, wobei als Faktor f_{DRV} in der oberen Schaltstellung des vierten Schaltelements 44 die Zahl der verwendeten Druckregelventile 19, 20 eingesetzt werden kann.

[0054] Der zweite Druckregelventil-Sollstrom $I_{S,2}$ ist die Eingangsgröße eines zweiten Stromreglers 51, der im Übrigen bevorzugt genauso ausgebildet ist wie der erste Stromregler 35. Auch im Übrigen entspricht die Ansteuerungsmimik zur Erzeugung des zweiten Ansteuersignals PWMDRV2 derjenigen zur Erzeugung des ersten Ansteuersignals PWMDRV1 und des einen Ansteuersignals PWMDRV gemäß Figur 2, wobei hier zur Umschaltung zwischen der Normalfunktion und der Stillstandsfunktion noch ein fünftes Schaltelement 53 vorgesehen ist, und wobei zur Filterung einer zweiten, gemessenen Stromgröße $I_{R,2}$ ein zweites Stromfilter 55 vorgesehen ist, welches als Ausgangsgröße einen zweiten Ist-Strom $I_{I,2}$ aufweist, welcher dem zweiten Stromregler 51 zugeführt wird. Die Reglerparameter des zweiten Stromreglers 51 werden vorzugsweise so eingestellt wie die entsprechenden Parameter des ersten Stromreglers 35.

[0055] Anhand des zweiten Schaltelements 29 und des fünften Schaltelements 53 zeigt sich noch, dass die Einschalt-dauer der Ansteuersignale PWMDRV1, PWMDRV2 in der Stillstandsfunktion identisch zu 0 % ist. In der Normalfunktion wird dagegen das jeweilige Ansteuersignal PWMDRV1, PWMDRV2 durch die diesem zugeordnete Ansteuerungsmimik erzeugt, wie dies zuvor bereits erläutert wurde.

[0056] Die beiden Ansteuersignale PWMDRV1, PWMDRV2 werden bevorzugt nicht direkt den Druckregelventilen 19, 20, sondern einer Umschaltlogik 57 zugeführt, die dafür sorgt, dass die Druckregelventile 19, 20 alternierend mit den Ansteuersignalen PWMDRV1, PWMDRV2 angesteuert werden. Ebenso werden die gemessenen Stromgrößen I_R , $I_{R,2}$ bevorzugt auch der Umschaltlogik 57 entnommen, wobei diese dafür sorgt, dass sie stets an den jeweiligen, den Ansteuersignalen PWMDRV1, PWMDRV2 korrekt zugeordneten Druckregelventilen 19, 20 gemessen werden, um eine definierte Regelung jedes der Druckregelventile 19, 20 über die Stromregler 35, 51 zu gewährleisten. Mittels der Umschaltlogik 57 kann eine Belastung der Druckregelventile 19, 20 in vorteilhafter Weise vereinheitlicht werden, sodass insbesondere nicht eines der Druckregelventile 19, 20 sehr viel häufiger angesteuert wird, als das andere.

[0057] Fig. 4 zeigt, unter welchen Bedingungen das erste logische Signal SIG1 und das dritte logische Signal SIG2 jeweils die Werte "wahr" und "falsch" annehmen.

[0058] Dies wird im Folgenden zunächst anhand von Figur 4a) für das erste logische Signal SIG1 erläutert. Die

folgenden Erläuterungen für das erste logische Signal SIG1 treffen sowohl für das Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems mit nur einem Druckregelventil 19 gemäß Figur 2 als auch für das Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems 3 mit zwei Druckregelventilen 19, 20 gemäß Figur 3 zu. Solange der dynamische Raildruck p_{dyn} einen ersten Druckgrenzwert p_{G1} nicht erreicht oder überschreitet, weist der Ausgang eines ersten Komparatorelements 59 den Wert "falsch" auf. Beim Start der Brennkraftmaschine 1 wird der Wert des ersten logischen Signals SIG1 mit "falsch" initialisiert. Dadurch ist auch das Ergebnis eines ersten Veroderungsglieds 61 "falsch", solange der Ausgang des ersten Komparatorelements 59 den Wert "falsch" aufweist. Der Ausgang des ersten Veroderungsglieds 61 wird einem Eingang eines ersten Verundungsglieds 63 zugeführt, dessen anderem Eingang eine durch einen Querstrich dargestellte Verneinung einer Variablen MS zugeführt wird, wobei die Variable MS den Wert "wahr" aufweist, wenn die Brennkraftmaschine 1 steht, und wobei sie den Wert "falsch" aufweist, wenn die Brennkraftmaschine 1 läuft. Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 ist demnach der Wert der Verneinung der Variablen MS "wahr". Insgesamt zeigt sich nun, dass der Ausgang des Verundungsglieds 63 und damit der Wert des ersten logischen Signals SIG1 "falsch" ist, solange der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} nicht erreicht oder überschreitet. Erreicht oder überschreitet der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} , springt der Ausgang des ersten Komparatorelements 59 von "falsch" auf "wahr". Somit springt auch der Ausgang des ersten Veroderungsglieds 61 von "falsch" auf "wahr". Läuft die Brennkraftmaschine 1, springt auch der Ausgang des ersten Verundungsglieds 63 von "falsch" auf "wahr", sodass der Wert des ersten logischen Signals SIG1 "wahr" wird. Dieser Wert wird dem ersten Veroderungsglied 61 wieder zugeführt, was jedoch nichts daran ändert, dass dessen Ausgang "wahr" bleibt. Selbst ein Abfall des dynamischen Raildrucks p_{dyn} unter den ersten Druckgrenzwert p_{G1} kann den Wahrheitswert des ersten logischen Signals SIG1 nicht mehr ändern. Dieser bleibt vielmehr solange "wahr", bis die Variable MS und damit auch deren Verneinung ihren Wahrheitswert ändern, nämlich wenn die Brennkraftmaschine 1 nicht mehr läuft. Somit zeigt sich Folgendes: Der Normalbetrieb wird realisiert, solange der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} unterschreitet. In diesem Fall ist der Soll-Volumenstrom V_S - unter Hinwegdenken des Funktionsblocks B - mit dem berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ identisch. Erreicht oder überschreitet der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} , nimmt das erste logische Signal SIG1 den Wert "wahr" an, und das erste Schaltelement 27 nimmt seine obere Schaltstellung ein. Damit wird der Soll-Volumenstrom V_S in diesem Fall mit dem begrenzten Volumenstrom V_R des zweiten Hochdruck-Regelkreises 39 - gegebenenfalls bis auf den Faktor f_{DRV} - identisch. Dies bedeutet, dass im Normalbetrieb durch das wenigstens eine Druckregelventil 19, 20 eine Hochdruck-Störgröße erzeugt wird. Der Hochdruck wird immer dann, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} den ersten Druckgrenzwert p_{G1} erstmalig erreicht, anschließend von dem Druckregelventil-Druckregler 41 geregelt, und dies solange, bis ein Stillstand der Brennkraftmaschine 1 erkannt wird. In der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs übernimmt demnach das wenigstens eine Druckregelventil 19, 20 über den zweiten Hochdruck-Regelkreis 39 die Regelung des Hochdrucks.

[0059] In Figur 4b) ist die Logik zur Schaltung des dritten logischen Signals SIG2 für das Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems 3 mit zwei Druckregelventilen 19, 20 dargestellt.

[0060] Dabei zeigt sich, dass diese vollständig der Logik zur Schaltung des ersten logischen Signals SIG1 entspricht, wobei lediglich statt des ersten Druckgrenzwerts p_{G1} der zweite Druckgrenzwert p_{G2} als Eingangsgröße verwendet wird. Die entsprechenden logischen Schaltkomponenten sind hier in Vergleich zu Figur 4a) mit gestrichenen Bezugszeichen versehen. Aufgrund der völlig identischen Funktionsweise wird auf die Erläuterungen zu Figur 4a) verwiesen. Analog zu dem ersten logischen Signal SIG1 zeigt sich für das dritte logische Signal SIG2 Folgendes: Dieses wird zu Beginn des Betriebs der Brennkraftmaschine 1 mit dem Wert "falsch" initialisiert, wobei es seinen Wahrheitswert zu "wahr" ändert, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} den zweiten Druckgrenzwert p_{G2} erreicht oder überschreitet. Daraufhin bleibt der Wahrheitswert des dritten logischen Signals SIG2 "wahr", bis ein Stillstand der Brennkraftmaschine 1 erkannt wird.

[0061] Mit Bezug auf Figur 3 zeigt sich, dass die zweite Betriebsart des Schutzbetriebs aktiviert wird, wenn das dritte logische Signal SIG2 seinen Wahrheitswert von "falsch" zu "wahr" ändert, wobei in diesem Fall das bisher nicht aktive Druckregelventil 20, 19 hinzugeschaltet wird, sodass der Hochdruck von beiden Druckregelventilen 19, 20 geregelt wird.

[0062] Zurückkommend auf die Figuren 2 und 3 wird im Folgenden auch die dritte Betriebsart des Schutzbetriebs erläutert: In diese wird geschaltet, wenn das zweite logische Signal Z den Wert 1 annimmt. In diesem Fall wird/werden das zweite Schaltelement 29 und gegebenenfalls auch das fünfte Schaltelement 53 in seine in den Figuren 2 und 3 dargestellte obere Schaltposition gebracht, wobei hierdurch die Stillstandsfunktion für die Druckregelventile 19, 20 gesetzt wird. In dieser Stillstandsfunktion werden die Druckregelventile 19, 20 nicht mehr angesteuert, das heißt, die Ansteuersignale PWMDRV, PWMDRV1, PWMDRV2 werden zu Null gesetzt. Da vorzugsweise zumindest unter Eingangsdruck stromlos offene Druckregelventile 19, 20 verwendet werden, steuern diese nun dauerhaft einen maximalen Kraftstoff-Volumenstrom aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 ab.

[0063] Weist dagegen das zweite logische Signal Z den Wert 2 auf, ist - wie bereits erläutert - die Normalfunktion für die Druckregelventile 19, 20 gesetzt, und diese werden mit ihren jeweiligen Sollströmen I_S , $I_{S,2}$ und den hieraus berechneten Ansteuersignalen PWMDRV, PWMDRV1, PWMDRV2 angesteuert.

[0064] Fig. 5 zeigt schematisch ein Zustandsübergangsdiagramm für die Druckregelventile 19, 20 von der Normal-

funktion in die Stillstandsfunktion und zurück für ein Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems 3 mit zwei Druckregelventilen 19, 20. Es ergibt sich allerdings genau dieselbe Logik auch für das Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems 3 mit nur einem Druckregelventil 19 - bis auf die Tatsache, dass dann keine drei verschiedenen Druckgrenzwerte, sondern nur zwei Druckgrenzwerte, nämlich der erste Druckgrenzwert p_{G1} und der dritte Druckgrenzwert p_{G3} zu berücksichtigen sind. Weiterhin muss dann natürlich im Folgenden überall dort, wo in Zusammenhang mit Figur 5 auf die beiden Druckregelventile 19, 20 Bezug genommen wird, nur von einem Druckregelventil 19 ausgegangen werden.

[0065] Die Druckregelventile 19, 20 sind bevorzugt so ausgebildet, dass sie drucklos und stromlos geschlossen ausgebildet sind, wobei sie weiter bevorzugt so ausgebildet sind, dass sie bei einem eingangsseitig anliegenden Druck bis zu einem Öffnungsdruckwert geschlossen sind, wobei sie öffnen, wenn der eingangsseitig anliegende Druck im stromlosen Zustand den Öffnungsdruckwert erreicht oder überschreitet. Sie sind dann unter Eingangsdruck stromlos offen und können durch Bestromen in Richtung des geschlossenen Zustands angesteuert werden. Der Öffnungsdruckwert kann beispielsweise bei 850 bar liegen.

[0066] In Figur 5 links unten ist mit einem ersten Kreis K1 die Stillstandsfunktion symbolisiert, wobei rechts oben mit einem zweiten Kreis K2 die Normalfunktion symbolisiert ist. Ein erster Pfeil P1 stellt einen Übergang zwischen der Stillstandsfunktion und der Normalfunktion dar, wobei ein zweiter Pfeil P2 einen Übergang zwischen der Normalfunktion und der Stillstandsfunktion darstellt. Mit einem dritten Pfeil P3 ist eine Initialisierung der Brennkraftmaschine 1 nach dem Einschalten des Steuergeräts angedeutet, wobei die Druckregelventile 19, 20 zunächst in der Stillstandsfunktion initialisiert werden. Erst wenn zugleich ein laufender Betrieb der Brennkraftmaschine 1 erkannt wird, und der Ist-Hochdruck p_i einen vorbestimmten Startwert p_{St} überschreitet, wird für die Druckregelventile 19, 20 - entlang des Pfeils P1 - die Normalfunktion gesetzt und die Stillstandsfunktion zurückgesetzt, insbesondere indem das zweite logische Signal Z seinen Wert von 1 zu 2 ändert. Die Normalfunktion wird zurückgesetzt und die Stillstandsfunktion wird entlang des Pfeils P2 gesetzt, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} den dritten Druckgrenzwert p_{G3} überschreitet, oder wenn ein Defekt eines Hochdrucksensors - hier dargestellt durch eine logische Variable HDSD - erkannt wird, oder wenn erkannt wird, dass die Brennkraftmaschine 1 steht. In der Stillstandsfunktion, in welcher das zweite logische Signal Z wiederum den Wert 1 annimmt, werden die Druckregelventile 19, 20 nicht angesteuert, wobei sie in der Normalfunktion - wie bereits in Zusammenhang mit Figur 3 erläutert - mittels der ihnen jeweils zugeordneten Sollströme I_S , $I_{S,2}$ angesteuert werden.

[0067] Es ergibt sich nun folgende Funktionalität: Startet die Brennkraftmaschine 1, liegt zunächst kein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 vor, und die Druckregelventile 19, 20 sind in ihrer Stillstandsfunktion angeordnet, sodass sie druck- und stromlos, also geschlossen sind. Beim Hochlaufen der Brennkraftmaschine 1 kann sich daher rasch ein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher ausbilden, der irgendwann den Startwert p_{St} überschreitet. Dieser liegt bevorzugt niedriger als der Öffnungsdruckwert der Druckregelventile 19, 20, sodass für diese zunächst die Normalfunktion gesetzt wird, bevor sie öffnen. Hierdurch wird in vorteilhafter Weise sichergestellt, dass die Druckregelventile 19, 20 in jedem Fall angesteuert werden, wenn sie erstmals öffnen. Da sie drucklos geschlossen sind, bleiben sie auch unter Ansteuerung weiter geschlossen, bis der Ist-Hochdruck p_i auch den Öffnungsdruckwert überschreitet, wobei sie dann öffnen und in der Normalfunktion angesteuert werden, nämlich entweder in dem Normalbetrieb oder in der ersten Betriebsart des Schutzbetriebs.

[0068] Tritt allerdings einer der zuvor beschriebenen Fälle auf, wird wiederum die Stillstandsfunktion für die Druckregelventile 19, 20 gesetzt.

[0069] Dies ist insbesondere der Fall, wenn der dynamische Raildruck p_{dyn} den dritten Druckgrenzwert p_{G3} überschreitet, wobei dieser vorzugsweise größer gewählt ist als der erste Druckgrenzwert p_{G1} und der zweite Druckgrenzwert p_{G2} , und insbesondere einen Wert aufweist, bei welchem in einer herkömmlichen Ausgestaltung des Einspritzsystems ein mechanisches Überdruckventil öffnen würde. Da die Druckregelventile 19, 20 unter Druck stromlos offen sind, öffnen diese in der Stillstandsfunktion in diesem Fall vollständig und erfüllen so sicher und zuverlässig die Funktion eines Überdruckventils.

[0070] Der Übergang von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion erfolgt auch, wenn ein Defekt an dem Hochdrucksensor 23 festgestellt wird. Liegt hier ein Defekt vor, kann der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 nicht mehr geregelt werden. Um die Brennkraftmaschine 1 trotzdem noch sicher betreiben zu können, wird der Übergang von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion für die Druckregelventile 19, 20 herbeigeführt, sodass diese öffnen und damit einen unzulässigen Anstieg des Hochdrucks verhindern.

[0071] Weiterhin erfolgt der Übergang von der Normalfunktion in die Stillstandsfunktion in einem Fall, in welchem ein Stillstand der Brennkraftmaschine 1 festgestellt wird. Dies entspricht einem Zurücksetzen der Druckregelventile 19, 20, sodass bei einem erneuten Start der Brennkraftmaschine 1 der hier beschriebene Zyklus wieder von neuem beginnen kann.

[0072] Wird für die Druckregelventile 19, 20 unter Druck in dem Hochdruckspeicher 13 die Stillstandsfunktion gesetzt, sind diese maximal weit geöffnet und steuern einen maximalen Volumenstrom aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 ab. Dies entspricht einer Schutzfunktion für die Brennkraftmaschine 1 und das Einspritzsystem 3, wobei diese Schutzfunktion insbesondere das Fehlen eines mechanischen Überdruckventils ersetzen kann.

[0073] Wichtig ist hier, dass die Druckregelventile 19, 20 nur zwei Funktionszustände, nämlich die Stillstandsfunktion

und die Normalfunktion aufweisen, wobei diese beiden Funktionszustände vollauf genügen, um die gesamte relevante Funktionalität der Druckregelventile 19, 20 einschließlich der Schutzfunktion zum Ersetzen eines mechanischen Überdruckventils darzustellen.

[0074] Es zeigt sich, dass auch nach Überschreiten des zweiten Druckgrenzwerts p_{G2} noch eine stabile Regelung des Hochdrucks mittels der Druckregelventile möglich ist, da das Fördervermögen der Hochdruckpumpe 11 drehzahlabhängig ist. Damit können Motorbetriebswerte, vor allem Emissionswerte, in diesem Fall noch eingehalten werden. Erst im höheren Drehzahlbereich muss mit einem Überschreiten des dritten Druckgrenzwerts p_{G3} gerechnet werden. In diesem Fall öffnen die Druckregelventile 19, 20 vollständig, und es muss mit einer Verschlechterung der Motorbetriebswerte, vor allem der Emissionen, gerechnet werden. Zumindest ein stabiler Betrieb des Motors wird dann aber auch weiterhin gewährleistet.

[0075] Auch bei einem Ausfall des Hochdrucksensors 23 ist ein stabiler Motorbetrieb noch möglich, auch wenn eventuell in diesem Fall eine Verschlechterung der Motorbetriebswerte, insbesondere der Emissionswerte, eintritt.

[0076] Dadurch, dass der zweite Druckgrenzwert p_{G2} größer ist als der erste Druckgrenzwert p_{G1} , wird vermieden, dass beide Druckregelventile 19, 20 gleichzeitig vom geschlossenen in einen geöffneten Zustand überführt werden. Auf diese Weise werden große Druckgradienten, welche sich schädigend auf das Einspritzsystem 3 auswirken könnten, vermieden.

[0077] Im Folgenden wird nun die Funktionsweise des Funktionsblocks B mit Bezug auf die Figuren 2 und 3 erläutert: Bei einem Lastabwurf der Brennkraftmaschine 1, insbesondere bei einem plötzlichen, vollständigen Lastabwurf aus einem Vollast-Zustand heraus, steigt zunächst der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 an, da die in die Brennräume 16 der Brennkraftmaschine 1 einzuspritzende Kraftstoffmenge schnell zurückgenommen wird, wobei die Hochdruck-Regelung erst verzögert anspricht. Zugleich mit dem Lastabwurf wird typischerweise eine Soll-Drehzahl auf eine Leerlaufdrehzahl reduziert, insbesondere in Form einer Rampe. Die aktuelle Motordrehzahl n_i schwingt zunächst über und nähert sich schließlich der Soll-Drehzahl von oben her an. Die Soll-Einspritzmenge Q_S nimmt mit dem Ansteigen der Motordrehzahl n_i in Form des Überschwingers nach dem Lastabwurf sehr schnell - insbesondere bis auf Null - ab. Fällt die Soll-Einspritzmenge Q_S auf sehr kleine Werte, steigt der über das Berechnungsglied 31 berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ wiederum schnell - insbesondere bis auf einen Maximalwert von vorzugsweise 2 l/min - an. Unterschreitet dann die Motordrehzahl n_i die Solldrehzahl, ergibt sich eine positive Drehzahl-Regelabweichung. Dies führt dazu, dass die Soll-Einspritzmenge Q_S wieder ansteigt. Eine ansteigende Soll-Einspritzmenge Q_S führt wiederum zu einem Abfall des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$, insbesondere bis auf den Wert 0 l/min. Erfolgt dies sehr schnell, führt die damit verbundene, sehr schnelle Rücknahme des im Normalbetrieb über das Druckregelventil 19 abgesteuerten Kraftstoff-Volumenstroms VDRV zu einem signifikanten Anstieg des Ist-Hochdrucks p_i , beispielsweise um circa 500 bar. Eine sehr schnelle Reduzierung des über das Druckregelventil 19 abgesteuerten Kraftstoff-Volumenstroms VDRV führt also zu einem starken, plötzlichen Anstieg des Ist-Hochdrucks p_i . Dadurch kann die Brennkraftmaschine 1 einerseits unzulässig stark belastet werden, andererseits verschlechtert sich ihr Emissionsverhalten aufgrund der großen Abweichung vom Soll-Hochdruck p_S . Während also ein rasches Ansteigen des im Normalbetrieb zur Ansteuerung des Druckregelventils 19 verwendeten Soll-Volumenstroms V_S im Fall eines zu hohen Ist-Hochdrucks p_i erwünscht ist, ist ein ähnlich dynamischer Abfall des Soll-Volumenstroms V_S aus den zuvor erläuterten Gründen unerwünscht. Gemäß den Figuren 2 und 3 verhält sich der Soll-Volumenstrom V_S im Normalbetrieb jedoch - unter Hinwegdenken des Funktionsblocks B - in beiden Situationen gleich, insbesondere mit gleicher Dynamik.

[0078] Um das zuvor beschriebene Problem zu lösen, sieht eine erfindungsgemäße Ausführungsform des Verfahrens zum Betreiben der Brennkraftmaschine 1 mit dem Einspritzsystem 3 und dem Hochdruckspeicher 13 vor, dass der Hochdruck in dem Hochdruckspeicher 13 über die niederdruckseitige Saugdrossel 9 als erstem Druckstellglied in dem ersten Hochdruck-Regelkreis geregelt wird, wobei in dem Normalbetrieb die Hochdruck-Störgröße VDRV über das wenigstens eine erste hochdruckseitige Druckregelventil 19 als weiterem Druckstellglied erzeugt wird, über welches Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher 13 in das Kraftstoffreservoir 7 abgesteuert wird, wobei das Druckregelventil 19 in dem Normalbetrieb auf der Grundlage des Soll-Volumenstroms V_S für den abzusteuernenden Kraftstoff angesteuert wird, wobei eine zeitliche Entwicklung des Soll-Volumenstroms erfasst wird, und wobei der Soll-Volumenstrom gefiltert wird, wobei weiterhin eine Zeitkonstante für die Filterung des Soll-Volumenstroms in Abhängigkeit von der erfassten zeitlichen Entwicklung des Soll-Volumenstroms gewählt wird.

[0079] Dabei wird in dem Funktionsblock B insbesondere die zeitliche Entwicklung des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ erfasst, und dieser wird mit einer Zeitkonstante gefiltert, die von der erfassten zeitlichen Entwicklung abhängt. Hierzu weist der Funktionsblock B ein Soll-Volumenstrom-Filter 65 auf, in welches der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ eingeht. Weiterhin geht in das Soll-Volumenstrom-Filter 65 eine Zeitkonstante T_V zur Filterung des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ ein.

[0080] Das Soll-Volumenstrom-Filter 65 ist vorzugsweise als Proportionalfilter mit Verzögerungsglied, insbesondere als PT_1 -Filter ausgeführt, dessen Übertragungsfunktion insbesondere lautet:

$$G(s) = 1 / (1 + T^V s). \quad (1)$$

[0081] Dabei ist die Zeitkonstante T^V frei wählbar.

[0082] Ein sechstes Schaltelement 67 legt abhängig von einem vierten logischen Signal SIG4 fest, welchen Wert die Zeitkonstante T^V annimmt. Ist der Wert des vierten logischen Signales SIG4 "wahr" (true - T), nimmt das sechste Schaltelement 67 seine in Figur 2 dargestellte linke Schalterstellung ein, und der Zeitkonstante T^V wird ein erster Wert T_1^V zugewiesen. Nimmt das vierte logische Signal SIG4 dagegen den Wert "falsch" (false - F) an, nimmt das sechste Schaltelement 67 seine rechte Schalterstellung ein, und der Zeitkonstante T^V wird ein zweiter Wert T_2^V zugewiesen.

[0083] Der Wert des vierten logischen Signals SIG4 wird ermittelt, indem in einem Ableitungsglied 69 eine - vorzugsweise gemittelte - zeitliche Ableitung des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ berechnet wird, wobei demnach die Zeitkonstante T^V in Abhängigkeit von der vorzugsweise gemittelten zeitlichen Ableitung gewählt wird.

[0084] Hierzu wird die vorzugsweise gemittelte zeitliche Ableitung als Ausgangsgröße des Ableitungsglieds 69 einem zweiten Komparatorelement 71 zugeführt, welches außer der durch das Ableitungsglied 69 ermittelten zeitlichen Ableitung noch den konstanten Wert Null als Eingangsgröße aufweist. Die vorzugsweise gemittelte zeitliche Ableitung des Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ wird demnach in dem zweiten Komparatorelement 71 insbesondere mit Null verglichen. Das zweite Komparatorelement 71 weist das vierte logische Signal SIG4 als Ausgangsgröße auf. Dieses nimmt den Wert "wahr" an, wenn die aus dem Ableitungsglied 69 resultierende zeitliche Ableitung größer oder gleich Null ist. Sie nimmt den Wert "falsch" an, wenn die aus dem zeitlichen Ableitungsglied 69 resultierende zeitliche Ableitung kleiner als Null ist.

[0085] Demnach wird der erste Wert T_1^V für die Zeitkonstante T^V gewählt, wenn die zeitliche Ableitung ein positives Vorzeichen aufweist oder gleich Null ist, wobei der zweite Wert T_2^V für die Zeitkonstante T^V gewählt wird, wenn die zeitliche Ableitung ein negatives Vorzeichen aufweist.

[0086] Die Werte T_1^V , T_2^V für die Zeitkonstante T^V werden nun insbesondere so gewählt, dass die zeitliche Entwicklung des Soll-Volumenstroms V_S verzögert wird, wenn dieser abfällt, wobei sie zugleich nicht oder nur wenig verzögert wird, wenn der Soll-Volumenstrom V_S und insbesondere der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ ansteigt. Hierzu wird der erste Wert T_1^V bevorzugt zu Null gewählt, wobei der zweite Wert T_2^V bevorzugt größer als Null, mithin echt positiv gewählt wird. Somit existieren verschiedene Werte für die Zeitkonstante T^V für zu- und abnehmenden Soll-Volumenstrom V_S , wobei der abnehmende Soll-Volumenstrom V_S zeitlich verzögert wird, wobei ein zunehmender Soll-Volumenstrom V_S hingegen zeitlich möglichst nicht verzögert wird. Bevorzugt wird der zweite Wert T_2^V von mindestens 0,1 s bis höchstens 1,1 s, vorzugsweise von mindestens 0,2 s bis höchstens 1 s gewählt.

[0087] Aus dem Soll-Volumenstromfilter 65 und damit aus dem Funktionsblock B resultiert ein gefilterter Soll-Volumenstrom $V_{S,gef}$, der im Normalbetrieb gleich dem Soll-Volumenstrom V_S gesetzt wird. Dieser gefilterte Soll-Volumenstrom $V_{S,gef}$ wird bevorzugt auch dem Druckregelventil-Druckregler 41 als Eingangsgröße zugeführt.

[0088] Die Funktionsweise des Funktionsblocks B ist für das Ausführungsbeispiel des Einspritzsystems 3 mit zwei Druckregelventilen 19, 20 gemäß Figur 3 identisch zu der mit Bezug auf Figur 2 beschriebenen Funktionsweise. Es wird daher insoweit auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen.

[0089] Es wird noch eine besonders vorteilhafte Berechnung eines gemittelten Gradienten $\text{Gradient}_{\text{Mittel}}^V$ als gemittelte zeitliche Ableitung des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ des Berechnungsglieds 31 erläutert: Ein aktueller Gradient $\text{Gradient}_{\text{Aktuell}}^V(t_1)$ des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ zum Zeitpunkt t_1 wird berechnet, indem der um die Zeitspanne Δt_{Grad}^V zurückliegende Wert $V_{S,ber}(t_1 - \Delta t_{\text{Grad}}^V)$ vom aktuellen Wert $V_{S,ber}(t_1)$ subtrahiert und die Differenz durch die Zeitspanne Δt_{Grad}^V dividiert wird. Der Gradient zum Zeitpunkt $(t_1 - Ta)$, wobei mit Ta eine Abtastzeit bezeichnet ist, wird berechnet, indem der um die Zeitspanne Δt_{Grad}^V zurückliegende Wert $V_{S,ber}(t_1 - \Delta t_{\text{Grad}}^V - Ta)$ vom Wert $V_{S,ber}(t_1 - Ta)$ subtrahiert und die Differenz ebenfalls durch die Zeitspanne Δt_{Grad}^V dividiert wird. Ganz allgemein wird der Gradient des Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ zum Zeitpunkt $(t_1 - (k - 1) Ta)$ berechnet, indem der um die Zeitspanne Δt_{Grad}^V zurückliegende Wert $V_{S,ber}(t_1 - \Delta t_{\text{Grad}}^V - (k - 1) Ta)$ vom Wert $V_{S,ber}(t_1 - (k - 1) Ta)$ subtrahiert und die Differenz durch die Zeitspanne Δt_{Grad}^V dividiert wird.

[0090] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Berechnung des gemittelten Gradienten ist es, wenn dieser über eine vorgebbare Zeitspanne $\Delta t_{\text{mittel}}^V$ gemittelt wird. Bei einer Abtastzeit Ta ergibt sich der gemittelte Gradient $\text{Gradient}_{\text{Mittel}}^V(t_1)$ zum Zeitpunkt t_1 dabei, indem über insgesamt k Gradienten gemittelt wird, wobei die Anzahl k folgendermaßen berechnet wird:

$$k = \Delta t_{\text{Mittel}}^V / Ta. \quad (2)$$

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung der sich in Zusammenhang mit dem Verfahren ergebenden Effekte, insbesondere in Form von vier Zeitdiagrammen. Ein erstes Zeitdiagramm bei a) zeigt die Motor-Solldrehzahl n_S als durchgezogene Linie und die Motor-Istdrehzahl n_I als punktierte Linie. Bis zu einem ersten Zeitpunkt t_1 ist die Motor-Solldrehzahl n_S mit dem konstanten Wert n_{Start} identisch. Vom ersten Zeitpunkt t_1 bis zu einem vierten Zeitpunkt t_4 fällt die Motor-

Solldrehzahl n_S von dem Wert n_{Start} bis zu einer Leerlaufdrehzahl n_{Leer} ab. In der Folge bleibt die Motor-Solldrehzahl n_S unverändert. Die Motor-Istdrehzahl n_I steigt zum ersten Zeitpunkt t_1 an und nähert sich der Motor-Solldrehzahl n_S anschließend an, bis zu einem siebten Zeitpunkt t_7 schließlich die Motor-Solldrehzahl n_S und die Motor-Istdrehzahl n_I identisch sind.

[0091] Ein zweites Zeitdiagramm bei b) zeigt die Soll-Einspritzmenge Q_S . Bis zum ersten Zeitpunkt t_1 ist die Soll-Einspritzmenge Q_S mit dem konstanten Wert Q_{Start} identisch. Da die Motor-Istdrehzahl n_I anschließend über die Motor-solldrehzahl n_S ansteigt, fällt die Soll-Einspritzmenge Q_S in der Folge ab. Zu einem zweiten Zeitpunkt t_2 erreicht die Soll-Einspritzmenge Q_S den Wert $10 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ und zu einem dritten Zeitpunkt t_3 den Wert $2 \text{ mm}^3/\text{Hub}$. Da die Motor-Istdrehzahl n_I im weiteren Verlauf oberhalb der Motor-Solldrehzahl n_S verläuft, fällt die Soll-Einspritzmenge Q_S auf den Wert $0 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ und verharrt auf diesem Wert so lange, bis die Motor-Istdrehzahl n_I unter die Motor-Solldrehzahl n_S fällt. Ist dies der Fall, steigt die Soll-Einspritzmenge Q_S wieder an und erreicht zu einem fünften Zeitpunkt t_5 wieder den Wert $2 \text{ mm}^3/\text{Hub}$. Zu einem sechsten Zeitpunkt t_6 erreicht die Soll-Einspritzmenge Q_S wieder den Wert $10 \text{ mm}^3/\text{Hub}$, zu einem siebten Zeitpunkt t_7 ist diese auf eine Leerlauf-Einspritz-Sollmenge Q_{Leer} eingeschwungen.

[0092] Ein drittes Zeitdiagramm bei c) zeigt den berechneten Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ als durchgezogene Linie sowie den gefilterten Soll-Volumenstrom $V_{S,gef}$ als gestrichelte Linie. Der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ ist beispielsweise identisch zu 0 l/min , wenn die Soll-Einspritzmenge Q_S größer oder gleich $10 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ ist. Dies hat zur Folge, dass sowohl $V_{S,ber}$ als auch $V_{S,gef}$ bis zu dem zweiten Zeitpunkt t_2 identisch 0 l/min sind. Vom zweiten Zeitpunkt t_2 bis zu dem dritten Zeitpunkt t_3 fällt die Soll-Einspritzmenge Q_S vom Wert $10 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ auf den Wert $2 \text{ mm}^3/\text{Hub}$. Dies führt dazu, dass der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ vom Wert 0 l/min auf den Wert 2 l/min ansteigt. Da der erste Wert T_1^V für die Zeitkonstante T^V für ansteigenden Soll-Volumenstrom identisch 0 s ist, wird die Eingangsgröße $V_{S,ber}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 nicht verzögert und ist damit mit der Ausgangsgröße $V_{S,gef}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 identisch. Vom dritten Zeitpunkt t_3 bis zu dem fünften Zeitpunkt t_5 ist die Soll-Einspritzmenge Q_S kleiner oder gleich $2 \text{ mm}^3/\text{Hub}$. Damit ergibt sich eine konstante Eingangsgröße $V_{S,ber}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 von 2 l/min . Da die Zeitkonstante T^V auch in diesem Fall identisch 0 s ist, ist die Ausgangsgröße $V_{S,gef}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 auch in diesem Fall mit der Eingangsgröße $V_{S,ber}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 identisch und beträgt somit konstant 2 l/min . Vom fünften Zeitpunkt t_5 bis zum sechsten Zeitpunkt t_6 steigt die Soll-Einspritzmenge Q_S von $2 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ auf $10 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ an. In der Folge steigt die Soll-Einspritzmenge Q_S weiter und pendelt sich schließlich auf der Leerlauf-Einspritz-Sollmenge Q_{Leer} ein. Die Eingangsgröße $V_{S,ber}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 fällt damit vom fünften Zeitpunkt t_5 bis zum sechsten Zeitpunkt t_6 vom Wert 2 l/min auf den Wert 0 l/min ab. Anschließend verharrt $V_{S,ber}$ auf dem Wert 0 l/min . Da der zweite Wert T_2^V für die Zeitkonstante T^V für abfallenden Druckregelventil-Sollvolumenstrom größer als 0 s ist und typischerweise Werte von $0,2$ bis 1 s annimmt, fällt die Ausgangsgröße $V_{S,gef}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 vom fünften Zeitpunkt t_5 an zeitverzögert ab und nähert sich schließlich der Eingangsgröße $V_{S,ber}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 und damit dem Wert 0 l/min an. Dies ist in Form einer gestrichelten Linie dargestellt.

[0093] Ein viertes Zeitdiagramm bei d) zeigt den Soll-Hochdruck p_S als durchgezogene Linie. Dieser ist bis zu dem ersten Zeitpunkt t_1 mit einem Startwert p_{Start} identisch. Nach dem ersten Zeitpunkt t_1 fällt der Soll-Hochdruck p_S ab und pendelt sich schließlich zu dem siebten Zeitpunkt t_7 auf einen Leerlaufwert p_{Leer} ein. Eine punktierte Linie zeigt den Verlauf des Ist-Hochdrucks p_I ohne den Funktionsblock B. Von dem ersten Zeitpunkt t_1 an steigt der Ist-Hochdruck p_I zunächst an und nähert sich in der Folge, bedingt durch das Absteuern von Kraftstoff mithilfe des Druckregelventils 19, 20, dem Soll-Hochdruck p_{Soll} an. Zum fünften Zeitpunkt t_5 kommt es zu einem signifikanten Anstieg des Ist-Hochdrucks p_I . Hierfür ist die Rücknahme des über das Druckregelventil 19, 20 abzusteuernden Kraftstoffs verantwortlich. Dabei steigt der Ist-Hochdruck p_I zunächst sehr schnell bis auf einen ersten Maximalwert p_1 an. In der Folge nähert sich der Ist-Hochdruck p_I langsam wieder dem Soll-Hochdruck p_S an und ist zu einem neunten Zeitpunkt t_9 mit diesem identisch. Für das verlangsamte Abfallen des Ist-Hochdrucks p_I ist das Fehlen der Kraftstoff-Absteuerung verantwortlich. Der Verlauf des Ist-Hochdrucks $p_{I,gef}$ bei Anwendung des Funktionsblocks B ist gestrichelt dargestellt. Da dieser bei Wahl eines ersten Werts T_1^V für die Zeitkonstante T^V von 0 s nur dann einen Effekt entfaltet, wenn die Eingangsgröße $V_{S,ber}$ des Soll-Volumenstrom-Filters 65 abfällt, kommt dieser Effekt erst ab dem fünften Zeitpunkt t_5 zur Geltung. Da die Filterung dazu führt, dass der abzusteuernde Soll-Volumenstrom V_S langsamer abfällt, kommt es lediglich zu einem kleinen Anstieg des Ist-Hochdrucks $p_{I,gef}$. Dabei wird ein zweiter Maximalwert p_2 erreicht. Außerdem ist der Ist-Hochdruck $p_{I,gef}$ früher, bereits zu einem achten Zeitpunkt t_8 , auf dem Soll-Hochdruck p_S eingeschwungen. Die Filterung ermöglicht es damit, den Anstieg des Ist-Hochdrucks p_I um den Differenzwert Δp zu reduzieren. In der Praxis handelt es sich bei Δp um Werte von 300 bis 400 bar .

[0094] Fig. 7 zeigt eine schematische Detaildarstellung des Verfahrens in Form eines Flussdiagramms.

[0095] In einem ersten Schritt S1 wird das Verfahren gestartet. In einem zweiten Schritt S2 wird der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ durch das Berechnungsglied 31 berechnet. In einem dritten Schritt S3 wird eine momentane zeitliche Ableitung des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ berechnet. In einem vierten Schritt S4 wird eine gemittelte zeitliche Ableitung des berechneten Soll-Volumenstroms $V_{S,ber}$ berechnet. In einem fünften Schritt S5 wird überprüft, ob die gemittelte zeitliche Ableitung größer oder gleich Null ist. Ist dies der Fall, wird der Zeitkonstante T^V in einem sechsten Schritt S6 der erste Wert T_1^V zugewiesen. Ist dies nicht der Fall, wird der Zeitkonstante T^V in einem siebten

Schritt S7 der zweite Wert T_2^V zugewiesen. In einem achten Schritt S8 wird der berechnete Soll-Volumenstrom $V_{S,ber}$ durch das Soll-Volumenstrom-Filter 65 mit der Zeitkonstante T^V gefiltert, woraus der gefilterte Soll-Volumenstrom $V_{S,gef}$ resultiert. Das Verfahren endet in einem neunten Schritt S9. Das Verfahren wird vorzugsweise fortlaufend, zumindest im Normalbetrieb dauerhaft während des Betriebs der Brennkraftmaschine 1, durchgeführt. Es beginnt also insbesondere

in dem ersten Schritt S1 neu, wenn es in dem neunten Schritt S9 geendet hat.

[0096] Die Erfindung hat folgende Vorteile:

- Im Stationärbetrieb - insbesondere bei konstanter Drehzahl und konstanter Last der Brennkraftmaschine 1 - wird über das Druckregelventil 19, 20 vorteilhafterweise kein Kraftstoff abgesteuert, da eine solche Absteuerung den Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine 1 verschlechtern würde. Tritt jedoch ein Lastabwurf auf, so ermöglicht es die Erfindung insbesondere, die Absteuermenge des Druckregelventils 19, 20 sehr schnell zu erhöhen, wodurch der Überschwinger des Hochdrucks wirksam reduziert wird.
- Erfolgt nach dem Lastabwurf wieder der Übergang in den Stationärbetrieb, so muss die Absteuermenge wieder auf den Wert Null reduziert werden. Die Erfindung ermöglicht dabei insbesondere, die Rücknahme der Absteuermenge zu verlangsamen, um den dadurch entstehenden Anstieg des Hochdrucks zu reduzieren. Gleichzeitig ist der Hochdruck schneller wieder auf seinem Sollwert eingeschwungen.
- In beiden Fällen ermöglicht es die Erfindung insbesondere, signifikante Anstiege des Hochdrucks zu reduzieren. Dadurch wird das Emissionsverhalten der Brennkraftmaschine 1 verbessert sowie unzulässige Belastungen infolge zu hoher Raildrücke verhindert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), mit einem Einspritzsystem (3) mit einem Hochdruckspeicher (13), wobei ein Hochdruck in dem Hochdruckspeicher (13) über eine niederdruckseitige Saugdrossel (9) als erstem Druckstellglied in einem ersten Hochdruck-Regelkreis geregelt wird, wobei in einem Normalbetrieb eine Hochdruck-Störgröße über wenigstens ein erstes hochdruckseitiges Druckregelventil (19,20) als weiterem Druckstellglied erzeugt wird, über welches Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher (13) in ein Kraftstoff-Reservoir (7) abgesteuert wird, wobei das wenigstens eine Druckregelventil (19,20) in dem Normalbetrieb auf der Grundlage eines Soll-Volumenstroms (V_s) für den abzusteuern Kraftstoff angesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zeitliche Entwicklung des Soll-Volumenstroms (V_s) erfasst wird, und dass der Soll-Volumenstrom (V_s) gefiltert wird, wobei eine Zeitkonstante (T^V) für die Filterung des Soll-Volumenstroms (V_s) in Abhängigkeit von der erfassten zeitlichen Entwicklung gewählt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine - vorzugsweise gemittelte - zeitliche Ableitung des Soll-Volumenstroms (V_s) berechnet wird, wobei die Zeitkonstante (T^V) in Abhängigkeit von der zeitlichen Ableitung gewählt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster Wert (T_1^V) für die Zeitkonstante (T^V) gewählt wird, wenn die zeitliche Ableitung ein positives Vorzeichen aufweist oder gleich Null ist, wobei ein zweiter Wert (T_2^V) für die Zeitkonstante (T^V) gewählt wird, wenn die zeitliche Ableitung ein negatives Vorzeichen aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Wert (T_1^V) für die Zeitkonstante (T^V) gleich Null gewählt wird, wobei der zweite Wert (T_2^V) für die Zeitkonstante (T^V) größer als Null gewählt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Wert (T_2^V) für die Zeitkonstante (T^V) von mindestens 0,1 s bis höchstens 1,1 s, vorzugsweise von 0,2 s bis höchstens 1 s, gewählt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Soll-Volumenstrom (V_s) mit einem Proportionalfilter mit Verzögerungsglied, insbesondere mit einem PT_1 -Filter, gefiltert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - a) der Hochdruck in einer ersten Betriebsart eines Schutzbetriebs mittels des wenigstens einen Druckregelventils (19,20) über einen zweiten Hochdruck-Regelkreis (39) geregelt wird, und/oder dass

b) in einer zweiten Betriebsart des Schutzbetriebs wenigstens ein zweites hochdruckseitiges Druckregelventil (19,20), das von dem wenigstens einen ersten Druckregelventil (19,20) verschieden ist, zusätzlich zu dem wenigstens einen ersten Druckregelventil (19,20) als Druckstellglied zur Regelung des Hochdrucks - vorzugsweise durch den zweiten Hochdruck-Regelkreis (39) - angesteuert wird, und/oder dass

c) in einer dritten Betriebsart des Schutzbetriebs das wenigstens eine Druckregelventil (19,20) dauerhaft geöffnet wird.

8. Einspritzsystem (3) für eine Brennkraftmaschine (1), mit

- wenigstens einem Injektor (15),
- einem Hochdruckspeicher (13), der einerseits mit dem wenigstens einen Injektor (15) und andererseits über eine Hochdruckpumpe (11) mit einem Kraftstoff-Reservoir (7) in Fluidverbindung ist, wobei
- der Hochdruckpumpe (11) eine Saugdrossel (9) als erstes Druckstellglied zugeordnet ist, mit
- wenigstens einem Druckregelventil (19,20), über welches der Hochdruckspeicher (13) mit dem Kraftstoff-Reservoir (7) fluidverbunden ist, und mit
- einem Steuergerät (21), das mit dem wenigstens einen Injektor (15), der Saugdrossel (9) und dem Druckregelventil (19,20) wirkverbunden ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Steuergerät (21) eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Einspritzsystem (3) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das wenigstens eine Druckregelventil (19,20) stromlos offen ausgebildet ist.

10. Brennkraftmaschine (1), **gekennzeichnet durch** ein Einspritzsystem (3) nach einem der Ansprüche 8 oder 9.

Claims

1. Method for operating an internal combustion engine (1), having an injection system (3) with a high-pressure accumulator (13), wherein a high pressure in the high-pressure accumulator (13) is regulated via a low-pressure-side suction throttle (9) as a first pressure actuator in a first high-pressure control loop, wherein in a normal mode a high-pressure disturbance variable is generated via at least one first high-pressure-side pressure control valve (19, 20) as a further pressure actuator, via which fuel is discharged from the high-pressure accumulator (13) into a fuel reservoir (7), wherein the at least one pressure control valve (19, 20) is actuated in the normal mode on the basis of a setpoint volumetric flow (V_s) for the fuel to be controlled, **characterized in that** a development over time of the setpoint volumetric flow (V_s) is detected, and **in that** the setpoint volumetric flow (V_s) is filtered, wherein a time constant (T^V) for filtering the setpoint volumetric flow (V_s) is selected as a function of the detected development over time.
2. Method according to claim 1, **characterized in that** a - preferably averaged - time derivative of the setpoint volumetric flow (V_s) is calculated, wherein the time constant (T^V) is selected as a function of the time derivative.
3. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a first value (T_1^V) is chosen for the time constant (T^V) when the time derivative has a positive sign or is equal to zero, wherein a second value (T_2^V) is chosen for the time constant (T^V) when the time derivative has a negative sign.
4. Method according to claim 3, **characterized in that** the first value (T_1^V) for the time constant (T^V) is chosen to be equal to zero, wherein the second value (T_2^V) for the time constant (T^V) is chosen to be greater than zero.
5. Method according to any one of claims 3 or 4, **characterized in that** the second value (T_2^V) for the time constant (T^V) is chosen from at least 0.1 s to at most 1.1 s, preferably from 0.2 s to at most 1 s.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the setpoint volumetric flow (V_s) is filtered with a proportional filter with delay element, in particular with a PT_1 -filter.
7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that**

- a) in a first operating mode of a protective mode, the high pressure is controlled by means of the at least one pressure control valve (19, 20) via a second high pressure control circuit (39), and/or **in that**
 b) in a second operating mode of the protective mode, at least one second pressure control valve (19, 20) on the high-pressure side, which is different from the at least one first pressure control valve (19, 20), is actuated in addition to the at least one first pressure control valve (19, 20) as a pressure actuator for controlling the high pressure - preferably by the second high pressure control circuit (39), and/or **in that**
 c) in a third operating mode of the protective mode, the at least one pressure control valve (19, 20) is permanently opened.

8. Injection system (3) for an internal combustion engine (1), having

- at least one injector (15),
- a high-pressure accumulator (13) which is in fluid connection on the one hand with the at least one injector (15) and on the other hand via a high-pressure pump (11) with a fuel reservoir (7), wherein
- the high-pressure pump (11) is assigned a suction throttle (9) as first pressure actuator, with
- at least one pressure control valve (19, 20), via which the high-pressure accumulator (13) is fluid-connected to the fuel reservoir (7), and having
- a control unit (21) which is operatively connected to the at least one injector (15), the suction throttle (9) and the pressure control valve (19, 20),

characterized in that

- the control unit (21) is set up to carry out a method according to one of claims 1 to 7.

9. Injection system (3) according to claim 8, characterized in that the at least one pressure control valve (19, 20) is configured to be open when currentless.

10. Internal combustion engine (1), characterized by an injection system (3) according to one of the claims 8 or 9.

Revendications

1. Procédé de fonctionnement d'un moteur à combustion interne (1), comprenant un système d'injection (3) avec un accumulateur haute pression (13), une haute pression dans l'accumulateur haute pression (13) étant régulée par un étrangleur d'aspiration (9) côté basse pression comme premier organe de réglage de pression dans un premier circuit de régulation haute pression, dans lequel, en fonctionnement normal, une grandeur perturbatrice de haute pression est générée par au moins une première soupape de régulation de pression (19, 20) côté haute pression en tant qu'autre organe de réglage de pression, par laquelle le carburant est commandé de l'accumulateur haute pression (13) dans un réservoir de carburant (7), l'au moins une soupape de régulation de pression (19, 20) étant commandée en fonctionnement normal sur la base d'un débit volumique de consigne (V_s) pour le carburant à commander, **caractérisé en ce qu'**une évolution dans le temps du débit volumique de consigne (V_s) est détectée, **et en ce que** le débit volumique de consigne (V_s) est filtré, une constante de temps (T^V) pour le filtrage du débit volumique de consigne (V_s) étant choisie en fonction de l'évolution dans le temps détectée.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**une dérivée temporelle - de préférence moyennée - du débit volumique de consigne (V_s) est calculée, la constante de temps (T^V) étant choisie en fonction de la dérivée temporelle.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une première valeur (T_1^V) est choisie pour la constante de temps (T^V) lorsque la dérivée temporelle est de signe positif ou est égale à zéro, une deuxième valeur (T_2^V) étant choisie pour la constante de temps (T^V) lorsque la dérivée temporelle est de signe négatif.
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la première valeur (T_1^V) pour la constante de temps (T^V) est choisie égale à zéro, la deuxième valeur (T_2^V) pour la constante de temps (T^V) étant choisie supérieure à zéro.
5. Procédé selon l'une des revendications 3 ou 4, **caractérisé en ce que** la deuxième valeur (T_2^V) pour la constante de temps (T^V) est choisie de 0,1 s minimum à 1,1 s maximum, de préférence de 0,2 s à 1 s maximum.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le débit volumique de consigne (Vs) est filtré par un filtre proportionnel à retard, notamment par un filtre PT₁.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**

a) la haute pression est régulée dans un premier mode de fonctionnement d'un mode de protection au moyen de l'au moins une soupape de régulation de pression (19, 20) par un deuxième circuit de régulation de haute pression (39), et/ou que

b) dans un deuxième mode de fonctionnement du mode de protection, au moins une deuxième soupape de régulation de pression (19, 20) côté haute pression, qui est différente de la au moins une première soupape de régulation de pression (19, 20), est commandée en plus de la au moins une première soupape de régulation de pression (19, 20) en tant qu'organe de réglage de pression pour la régulation de la haute pression - de préférence par le deuxième circuit de régulation haute pression (39), et/ou **en ce que**

c) dans un troisième mode de fonctionnement du mode de protection, l'au moins une soupape de régulation de pression (19, 20) est ouverte en permanence.

8. Système d'injection (3) pour un moteur à combustion interne (1), avec

- au moins un injecteur (15),

- un accumulateur haute pression (13) qui est en communication fluïdique d'une part avec l'au moins un injecteur (15) et d'autre part avec un réservoir de carburant (7) via une pompe haute pression (11), dans lequel

- un étrangleur d'aspiration (9) est associé à la pompe haute pression (11) en tant que premier organe de réglage de la pression, avec

- au moins une soupape de régulation de pression (19, 20), par laquelle l'accumulateur haute pression (13) est en communication fluïdique avec le réservoir de carburant (7), et avec

- un appareil de commande (21) connecté de manière fonctionnelle à l'au moins un injecteur (15), l'étrangleur d'aspiration (9) et la soupape de régulation de pression (19,20),

caractérisé en ce que

- l'appareil de commande (21) est conçu pour mettre en oeuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 7.

9. Système d'injection (3) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'au moins une soupape de régulation de pression (19, 20) est conçue ouverte sans courant.

10. Moteur à combustion interne (1), **caractérisé par** un système d'injection (3) selon l'une des revendications 8 ou 9.

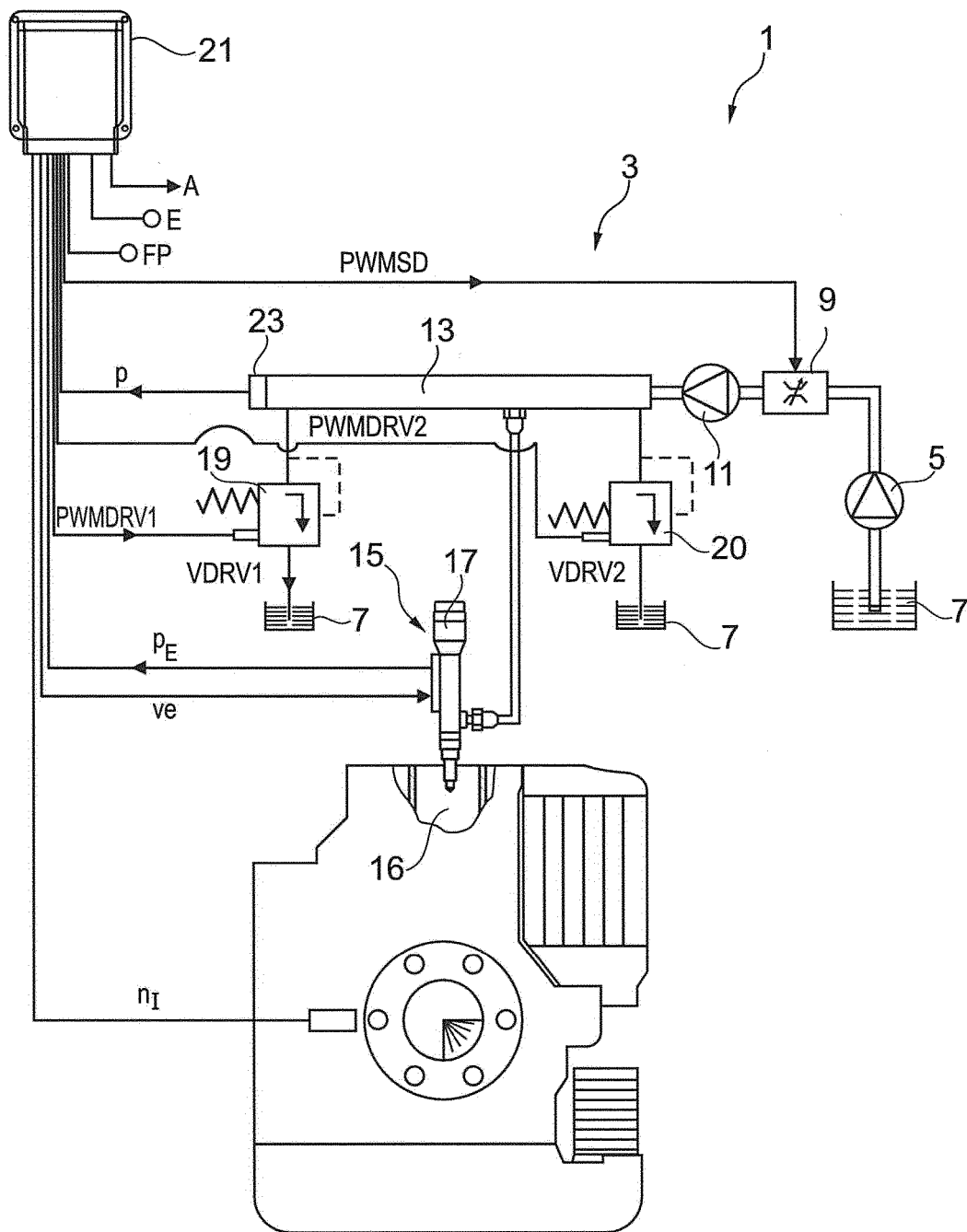


Fig. 1

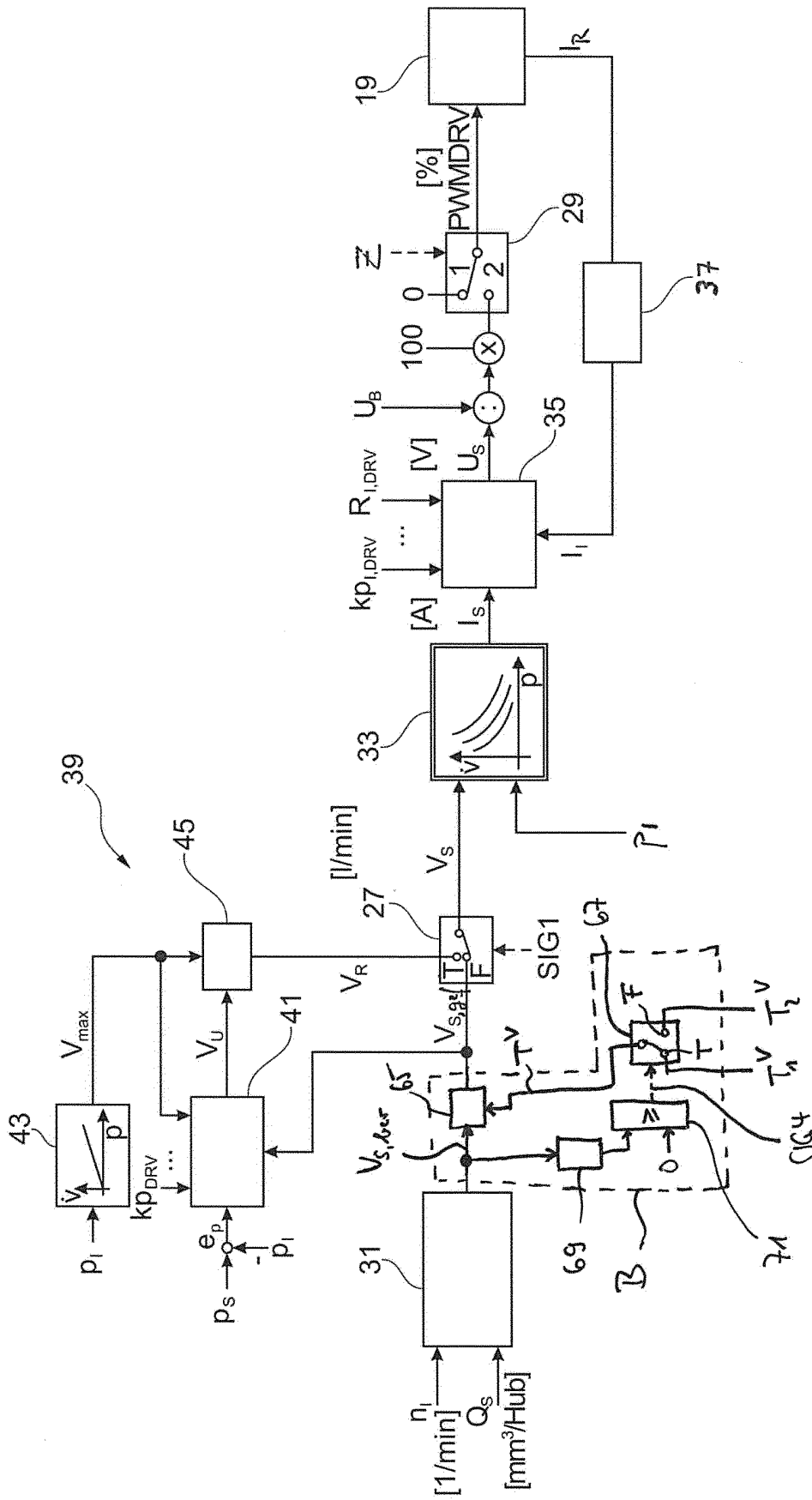


Fig. 2

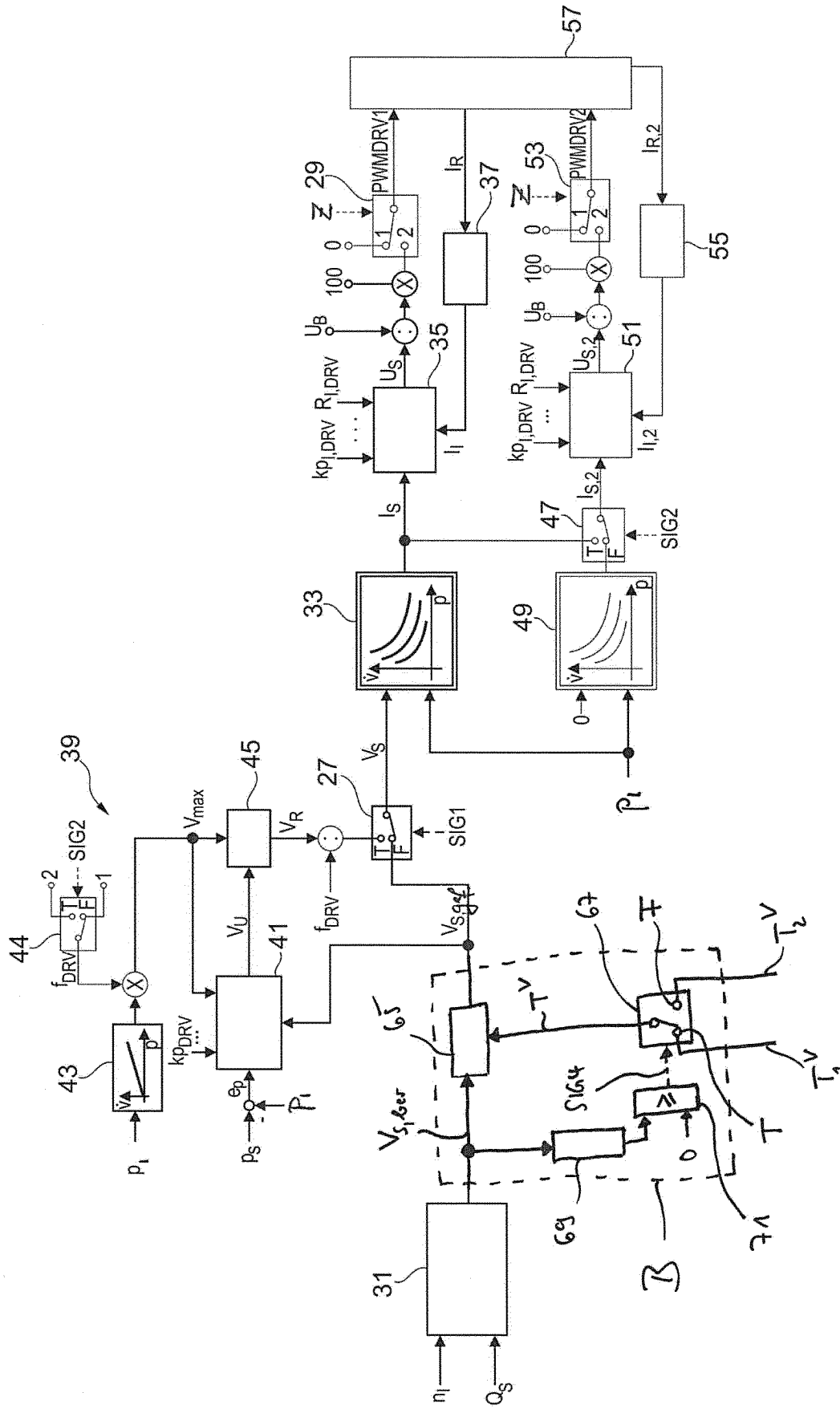


Fig. 3

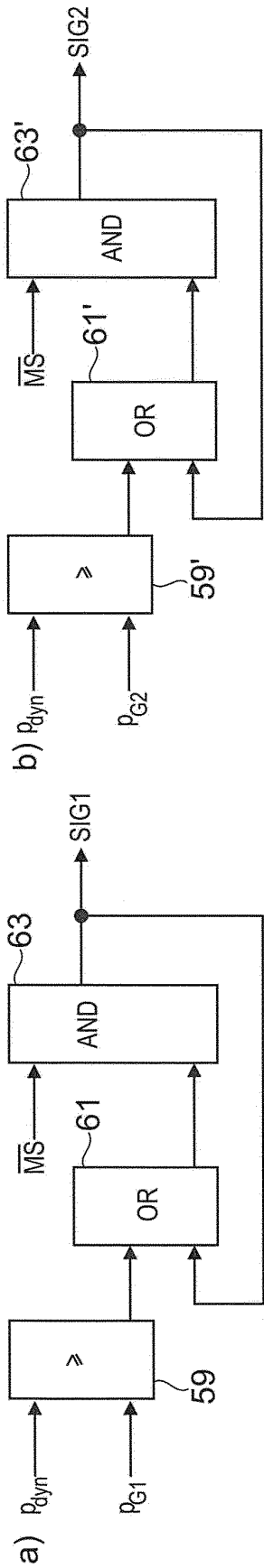


Fig. 4

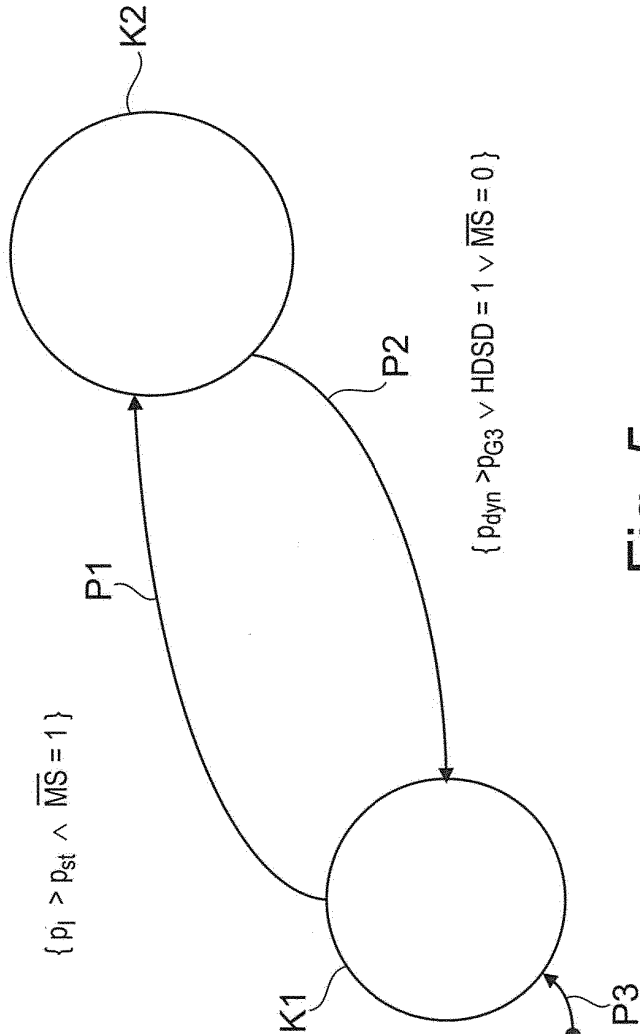


Fig. 5

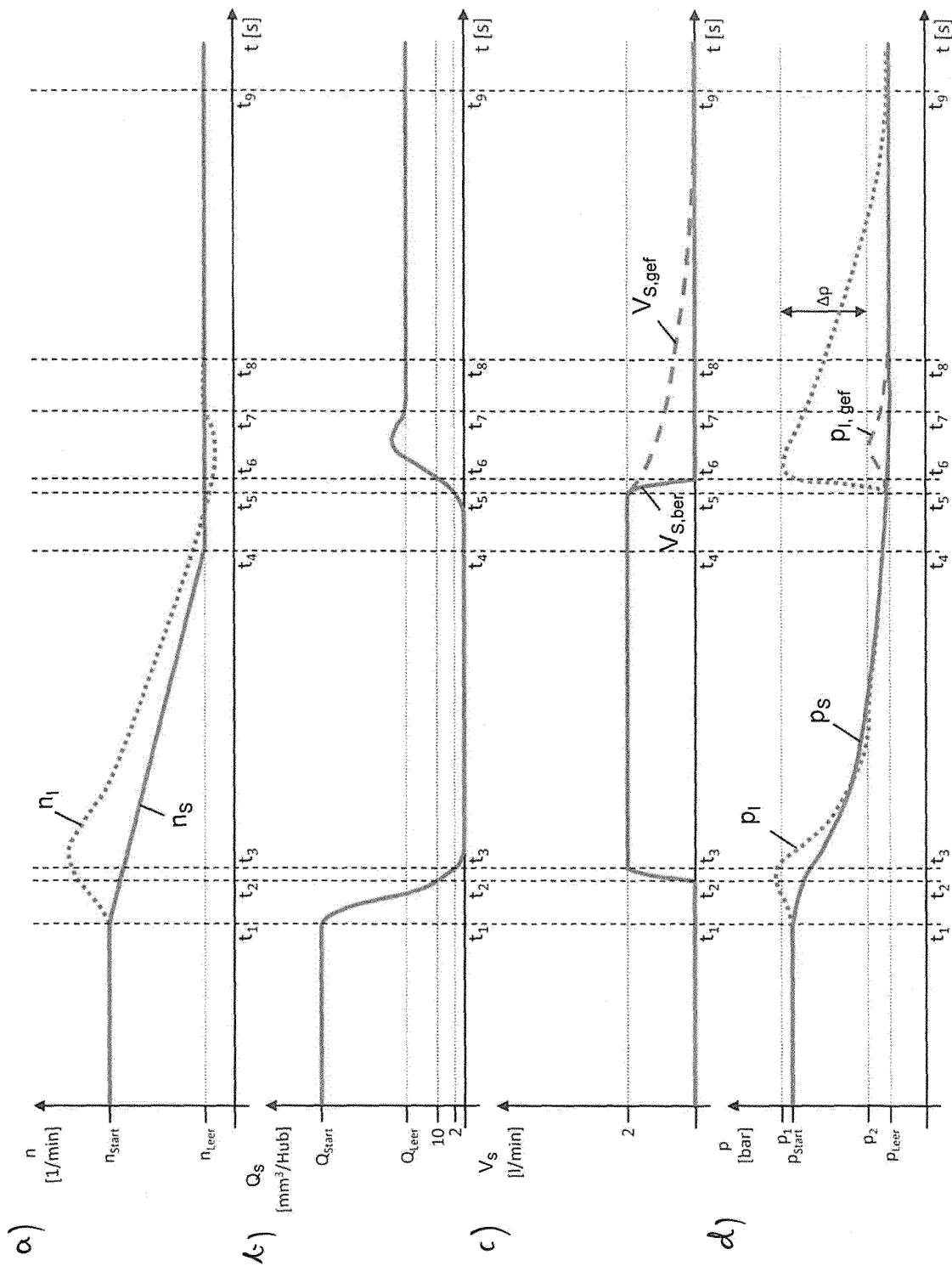


Fig. 6

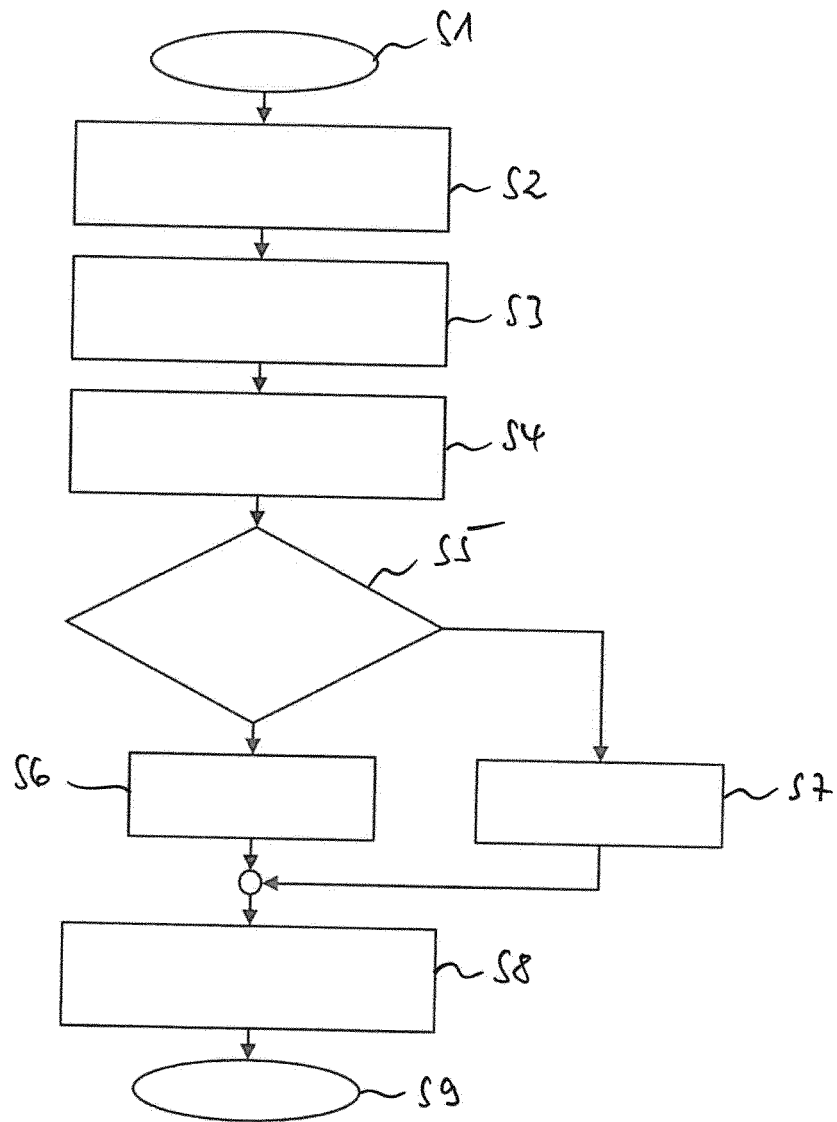


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102014213648 B3 **[0002]**
- DE 102009031528 B3 **[0041] [0042]**
- DE 102009031527 B3 **[0041]**