

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
20. Oktober 2005 (20.10.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2005/098221 A2

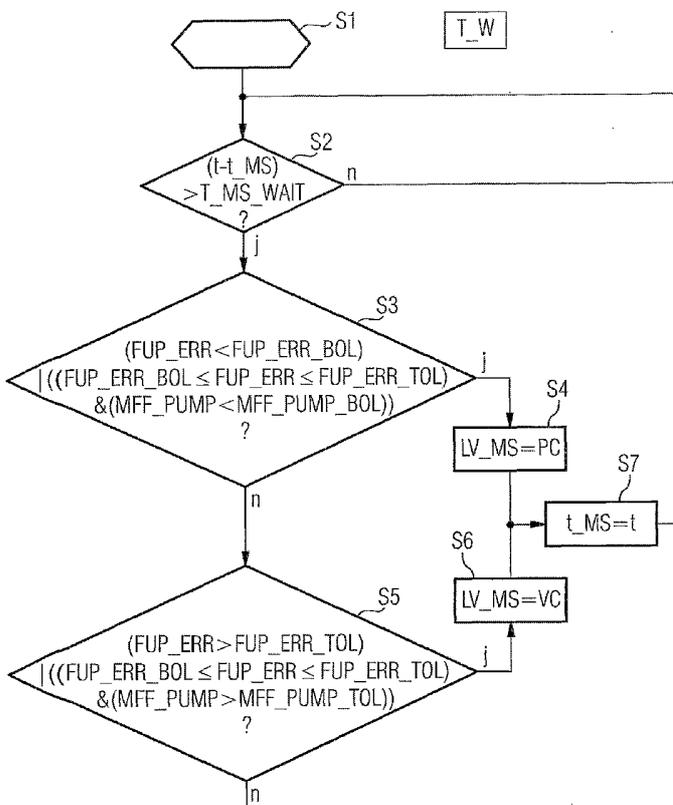
(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F02D 41/00  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050769  
(22) Internationales Anmeldedatum:  
23. Februar 2005 (23.02.2005)  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 016 943.8 6. April 2004 (06.04.2004) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ACHLEITNER,  
Erwin [AT/DE]; Höflinger Ring 19, 93083 Obertraubling  
(DE). CWIELONG, Martin [DE/DE]; Dr.-Leo-Rit-  
ter-Strasse 21, 93049 Regensburg (DE). ESER, Gerhard  
[DE/DE]; Heimweg 11, 93155 Hemau (DE).  
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).  
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A FUEL SUPPLYING DEVICE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM STEUERN EINER KRAFTSTOFFZUFÜHREINRICHTUNG EINER BRENNKRAFT-  
MASCHINE



J = YES  
N = NO

(57) Abstract: Disclosed is a fuel supplying device of an internal combustion engine, comprising a low-pressure circuit, a high-pressure pump whose input end is coupled to the low-pressure circuit and which conveys fuel into a fuel reservoir, a volume flow control valve that is assigned to the high-pressure pump, and an electromechanical pressure regulator which is effectively connected to the fuel reservoir and the low pressure circuit and can direct fuel from the fuel reservoir into the low-pressure circuit. Said fuel supplying device further comprises a regulating mechanism which generates an actuation signal for the volume flow control valve by means of a first controller in a first mode of operation (VC) while generating an actuation signal for the electromechanical pressure regulator with the aid of a second controller in a second mode of operation (PC). The mode of operation of the fuel supplying mechanism is switched in accordance with a fuel pressure error value (FUP ERR) resulting from a detected fuel pressure and a predefined fuel pressure. The mode of operation of the fuel supplying device can additionally be switched according to the throughput (MFF PUMP) of the high-pressure pump.

(57) Zusammenfassung: Die Kraftstoffzuführ-einrichtung einer Brennkraftmaschine hat einen Niederdruckkreis, eine Hochdruckpumpe, die eingangsseitig gekoppelt ist mit dem Niederdruck-kreis und die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher fördert, ein Volumenstromsteuerventil, das der Hochdruckpumpe

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/098221 A2



FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Rechenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

zugeordnet ist und einen elektromechanischen Druckregulator, der mit dem Kraftstoffspeicher und dem Niederdruckkreis wirkverbunden ist und der Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher in den Niederdruckkreis absteuern kann. Die Kraftstoffzuführeinrichtung hat eine Regeleinrichtung, die in einer ersten Betriebsart (VC) mittels eines ersten Reglers ein Stellsignal für das Volumenstromsteuerventil und in einer zweiten Betriebsart (PC) mittels eines zweiten Reglers ein Stellsignal für den elektromechanischen Druckregulator erzeugt. Abhängig von einem Fehlerwert (FUP ERR) des Kraftstoffdrucks, der aus einem erfassten Kraftstoffdruck und einem vorgegebenen Kraftstoffdruck resultiert, wird die Betriebsart der Kraftstoffzuführeinrichtung umgeschaltet. Die Betriebsart der Kraftstoffzuführeinrichtung kann zusätzlich abhängig von dem Förderstrom (MFF PUMP) der Hochdruckpumpe umgeschaltet werden.

## Beschreibung

Verfahren zum Steuern einer Kraftstoffzuführeinrichtung einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Kraftstoffzuführeinrichtung einer Brennkraftmaschine, wobei die Kraftstoffzuführeinrichtung einen Niederdruckkreis, eine Hochdruckpumpe, die eingangsseitig gekoppelt ist mit dem Niederdruckkreis und die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher fördert, ein Volumenstromsteuerventil, das der Hochdruckpumpe zugeordnet ist und einen elektromechanischen Druckregulator, der mit dem Kraftstoffspeicher und dem Niederdruckkreis verbunden ist und der Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher in den Niederdruckkreis absteuern kann, umfasst.

An Brennkraftmaschinen, insbesondere in Kraftfahrzeugen, werden hohe Anforderungen gestellt. Die Schadstoffemissionen unterliegen gesetzlichen Bestimmungen und der Kunde verlangt nach einem geringen Kraftstoffverbrauch, einem sicheren und zuverlässigen Betrieb und nach geringen Wartungskosten. Die Kraftstoffzuführeinrichtung der Brennkraftmaschine hat einen großen Einfluss darauf, dass die Anforderungen erfüllt werden können.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das einen zuverlässigen und sicheren Betrieb von Kraftstoffzuführeinrichtungen in Brennkraftmaschinen ermöglicht.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung zeichnet sich aus durch ein Verfahren zum Steuern einer Kraftstoffzuführeinrichtung einer Brennkraftmaschine, wobei die Kraftstoffzuführeinrichtung einen Niederdruckkreis, eine Hochdruckpumpe, die eingangsseitig gekoppelt ist mit dem Niederdruckkreis und die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher fördert, ein Volumenstromsteuerventil, das der Hochdruckpumpe zugeordnet ist und einen elektromechanischen Druckregulator, der mit dem Kraftstoffspeicher und dem Niederdruckkreis wirkverbunden ist und der Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher in den Niederdruckkreis absteuern kann, umfasst. Bei dem Verfahren wird eine Regeldifferenz ermittelt aus einer Differenz eines vorgegebenen Kraftstoffdrucks und eines erfassten Kraftstoffdrucks. In einer ersten Betriebsart wird mittels eines ersten Reglers ein Stellsignal für das Volumenstromsteuerventil erzeugt, wobei dem ersten Regler die Regeldifferenz zugeführt wird. In einer zweiten Betriebsart wird mittels eines zweiten Reglers ein Stellsignal für den elektromechanischen Druckregulator erzeugt, wobei dem zweiten Regler die Regeldifferenz zugeführt wird. Es wird von der ersten Betriebsart auf die zweite Betriebsart umgeschaltet, wenn der erfasste Kraftstoffdruck um einen ersten vorgegebenen Betrag oder um einen ersten vorgegebenen Faktor größer ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck.

Das Verfahren hat den Vorteil, dass ein zu großer Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher vermieden werden kann und dadurch ein Überdruckventil, das an dem Kraftstoffspeicher vorgesehen sein kann und das Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher ablässt, bevor der Kraftstoffdruck in dem Kraftstoffspeicher so groß wird, dass die Kraftstoffzuführeinrichtung dadurch beschädigt werden könnte, geschont wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass Toleranzen oder Defekte von Komponenten der Kraft-

stoffzuführeinrichtung ausgeglichen werden können, die andernfalls falsche Kraftstoffdrücke im Kraftstoffspeicher verursachen könnten. Dadurch wird ein sicherer und zuverlässiger Betrieb der Kraftstoffzuführeinrichtung ermöglicht.

Vorteilhafterweise wird von der zweiten Betriebsart auf die erste Betriebsart umgeschaltet, wenn der erfasste Kraftstoffdruck um einen zweiten vorgegebenen Betrag oder um einen zweiten vorgegebenen Faktor kleiner ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck. Dies hat den Vorteil, dass ein zu kleiner Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher vermieden werden kann, der eine unzureichende Zumessung von Kraftstoff in die Zylinder der Brennkraftmaschine zur Folge haben kann.

Die Erfindung zeichnet sich ferner aus durch ein Verfahren zum Steuern einer Kraftstoffzuführeinrichtung einer Brennkraftmaschine, wobei die Kraftstoffzuführeinrichtung einen Niederdruckkreis, eine Hochdruckpumpe, die eingangsseitig gekoppelt ist mit dem Niederdruckkreis und die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher fördert, ein Volumenstromventil, das der Hochdruckpumpe zugeordnet ist und einen elektromechanischen Druckregulator, der mit dem Kraftstoffspeicher und dem Niederdruckkreis wirkverbunden ist und der Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher in den Niederdruckkreis absteuern kann, umfasst. In dem Verfahren wird eine Regeldifferenz ermittelt aus einer Differenz eines vorgegebenen Kraftstoffdrucks und eines erfassten Kraftstoffdrucks. In einer ersten Betriebsart wird mittels eines ersten Reglers ein Stellsignal für das Volumenstromsteuerventil erzeugt, wobei dem ersten Regler die Regeldifferenz zugeführt wird. In einer zweiten Betriebsart wird mittels eines zweiten Reglers ein Stellsignal für den elektromechanischen Druckregulator erzeugt, wobei dem zweiten Regler die Regeldifferenz zugeführt wird. Von der zweiten Be-

triebsart wird auf die erste Betriebsart umgeschaltet, wenn der erfasste Kraftstoffdruck um einen zweiten vorgegebenen Betrag oder um einen zweiten vorgegebenen Faktor kleiner ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass ein zu kleiner Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher vermieden werden kann, der eine unzureichende Zumessung von Kraftstoff in die Zylinder der Brennkraftmaschine zur Folge haben kann. Das Verfahren hat ferner den Vorteil, dass Toleranzen und Defekte von Komponenten der Kraftstoffzuführeinrichtung ausgeglichen werden können. Dies ermöglicht einen sicheren und zuverlässigen Betrieb der Kraftstoffzuführeinrichtung.

In einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens wird abhängig von einem Förderstrom der Hochdruckpumpe von der ersten Betriebsart auf die zweite Betriebsart umgeschaltet, wenn der Förderstrom der Hochdruckpumpe kleiner ist als eine untere Umschaltschwelle des Förderstroms und von der zweiten Betriebsart auf die erste Betriebsart umgeschaltet, wenn der Förderstrom der Hochdruckpumpe größer ist als eine obere Umschaltschwelle des Förderstroms. Dadurch kann auf einfache Weise sichergestellt werden, dass der vorgegebene Kraftstoffdruck erreicht werden kann. Dieses Verfahren ist besonders effizient, da nur so viel Kraftstoff von der Hochdruckpumpe in den Kraftstoffspeicher gefördert wird, wie zur Einstellung oder zur Aufrechterhaltung des Kraftstoffdrucks im Kraftstoffspeicher benötigt wird.

Vorteilhafterweise wird die untere Umschaltschwelle des Förderstroms und die obere Umschaltschwelle des Förderstroms aus einem Fehlerwert des Kraftstoffflusses ermittelt, der resultiert aus einem Leckfluss durch das Volumenstromsteuerventil

in seiner geschlossenen Stellung und einem Leckagefluss aus dem Kraftstoffspeicher heraus, wenn der elektromechanische Druckregulator geschlossen ist und kein Kraftstoff zugemessen werden soll. Die Kraftstoffzuführeinrichtung kann effizienter betrieben werden, wenn der Fehlerwert des Kraftstoffflusses bekannt ist und für die Steuerung der Kraftstoffzuführeinrichtung berücksichtigt wird. Durch die Berücksichtigung des Fehlerwerts des Kraftstoffflusses können Toleranzen und Defekte von Komponenten der Kraftstoffzuführeinrichtung sowie der Leckfluss des Volumenstromsteuerventils ausgeglichen werden und so ein zuverlässiger Betrieb der Kraftstoffzuführeinrichtung sichergestellt werden.

In einer bevorzugten Weiterbildung wird der Fehlerwert des Kraftstoffflusses ermittelt abhängig von mindestens zwei mit zeitlichem Abstand erfassten Kraftstoffdrücken, die in einer dritten Betriebsart erfasst werden, in der kein Kraftstoff zugemessen werden soll und das Volumenstromsteuerventil und der elektromechanische Druckregulator so angesteuert werden, dass das Volumenstromsteuerventil und der elektromechanische Druckregulator geschlossen sind. Auf diese Weise ist eine sehr genaue Messung des Fehlerwerts des Kraftstoffflusses möglich.

Günstigerweise wird, um den Fehlerwert des Kraftstoffflusses zu ermitteln, der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher auf einen ersten vorgegebenen Kraftstoffdruck geregelt, so dass der Betrag der Regeldifferenz kleiner ist als ein vorgegebener Schwellenwert, wird ein erster Kraftstoffdruck erfasst, wird die dritte Betriebsart eingestellt und die Betriebsartumschaltung gesperrt, wird ein zweiter Kraftstoffdruck erfasst, und wird der Fehlerwert des Kraftstoffflusses ermittelt abhängig von einer Zeitdauer und einer Differenz des

zweiten erfassten Kraftstoffdrucks und des ersten erfassten Kraftstoffdrucks. Dieses Verfahren ermöglicht eine sehr einfache Bestimmung des Leckflusses.

Günstigerweise wird der zweite Kraftstoffdruck erfasst, wenn der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher größer oder gleich einem zweiten vorgegebenen Kraftstoffdruck ist, dessen Wert größer ist als der des ersten vorgegebenen Kraftstoffdrucks. Dieses Verfahren ist besonders effizient, wenn der Leckfluss des Volumenstromsteuerventils sehr groß ist und der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher schnell größer wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird der zweite Kraftstoffdruck erfasst nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitdauer. Dieses Verfahren ist effizient, wenn der Leckfluss des Volumenstromsteuerventils klein ist, oder wenn Leckagen in der Kraftstoffzuführeinrichtung bestehen, so dass der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher nur sehr langsam größer oder möglicherweise kleiner wird.

Eine bevorzugte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass nach einem Umschalten von der ersten Betriebsart auf die zweite Betriebsart oder von der zweiten Betriebsart auf die erste Betriebsart die Umschaltung der Betriebsart für mindestens eine Sperrzeitdauer gesperrt ist. Dies hat den Vorteil, dass instabile Betriebszustände durch häufiges Umschalten zwischen den Betriebsarten vermieden werden kann.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind im Folgenden anhand der schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Brennkraftmaschine mit einer Kraftstoffzuführeinrichtung,

- Figur 2 ein Kombinationsventil, das ein Volumenstromsteuer-ventil und einen elektromechanischen Druckregulator mit einem gemeinsamen Stellantrieb umfasst,
- Figur 3 die Kennlinie des Kombinationsventils aus Figur 2,
- Figur 4 das Blockschaltbild einer Regeleinrichtung zur Regelung des Kraftstoffdrucks in einem Kraftstoffspeicher,
- Figur 5 ein Ablaufdiagramm zur Steuerung der Umschaltung von Betriebszuständen der Kraftstoffzuführeinrichtung, und
- Figur 6 ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung des Fehlerwerts des Kraftstoffflusses.

Elemente gleicher Konstruktion und Funktion sind figurenübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Eine Brennkraftmaschine (Figur 1) umfasst einen Ansaugtrakt 1, einen Motorblock 2, einen Zylinderkopf 3 und einen Abgas-trakt 4. Der Motorblock 2 umfasst mehrere Zylinder, welche Kolben und Pleuelstangen haben, über die sie mit einer Kur-belwelle 21 gekoppelt sind.

Der Zylinderkopf 3 umfasst einen Ventiltrieb mit einem Gas-einlassventil, einem Gasauslassventil und Ventilantrieben. Der Zylinderkopf 3 umfasst ferner ein Einspritzventil 34 und eine Zündkerze.

Ferner ist eine Zuführeinrichtung 5 für Kraftstoff vorgese-hen. Sie umfasst einen Kraftstofftank 50, der über eine erste Kraftstoffleitung mit einer Niederdruckpumpe 51 verbunden ist. Die Kraftstoffleitung mündet in einen Schwalltopf 50a. Ausgangsseitig ist die Niederdruckpumpe 51 mit einem Zulauf 53 einer Hochdruckpumpe 54 wirkverbunden. Ferner ist auch

ausgangsseitig der Niederdruckpumpe 51 ein mechanischer Regulator 52 vorgesehen, welcher ausgangsseitig über eine weitere Kraftstoffleitung mit dem Kraftstofftank 50 verbunden ist. Die Niederdruckpumpe 51, der mechanische Regulator 52, die Kraftstoffleitung, die weitere Kraftstoffleitung und der Zulauf 53 bilden einen Niederdruckkreis.

Die Niederdruckpumpe 51 ist vorzugsweise so ausgelegt, dass sie während des Betriebs der Brennkraftmaschine immer eine ausreichend hohe Kraftstoffmenge liefert, die gewährleistet, dass ein vorgegebener Niederdruck nicht unterschritten wird.

Der Zulauf 53 ist hin zu der Hochdruckpumpe 54 geführt, welche ausgangsseitig den Kraftstoff hin zu einem Kraftstoffspeicher 55 fördert. Die Hochdruckpumpe 54 wird in der Regel von der Nockenwelle angetrieben und fördert somit bei konstanter Drehzahl der Kurbelwelle 21 ein konstantes Kraftstoffvolumen in den Kraftstoffspeicher 55.

Die Einspritzventile 34 sind mit dem Kraftstoffspeicher 55 wirkverbunden. Der Kraftstoff wird somit den Einspritzventilen 34 über den Kraftstoffspeicher 55 zugeführt.

In dem Vorlauf der Hochdruckpumpe 54, das heißt stromaufwärts der Hochdruckpumpe 54, ist ein Volumenstromsteuerventil 56 vorgesehen, mittels dessen der Volumenstrom eingestellt werden kann, der der Hochdruckpumpe 54 zugeführt wird. Durch eine entsprechende Ansteuerung des Volumenstromsteuerventils 56 kann ein vorgegebener Kraftstoffdruck FUP\_SP im Kraftstoffspeicher 55 eingestellt werden.

Zusätzlich ist die Kraftstoffzuführeinrichtung 5 mit einem elektromagnetischen Druckregulator 57 ausgangsseitig des

Kraftstoffspeichers 55 und mit einer Rückführleitung in den Niederdruckkreis versehen. Wird ein Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55 größer als der durch entsprechende Ansteuerung des elektromechanischen Druckregulators 57 vorgegebene Kraftstoffdruck FUP\_SP, dann öffnet der elektromechanische Druckregulator 57 und Kraftstoff wird aus dem Kraftstoffspeicher 55 in den Niederdruckkreis abgelassen.

Alternativ kann auch das Volumenstromsteuerventil 56 in die Hochdruckpumpe 54 integriert sein, oder der elektromechanische Druckregulator 57 und das Volumenstromsteuerventil 56 werden über einen gemeinsamen Stellantrieb eingestellt, wie es beispielhaft in Figur 2 dargestellt und weiter unten näher erläutert ist.

Ferner ist der Brennkraftmaschine eine Steuereinrichtung 6 zugeordnet, der wiederum Sensoren zugeordnet sind, die verschiedene Messgrößen erfassen und jeweils den Messwert der Messgröße ermitteln. Die Steuereinrichtung 6 ermittelt abhängig von mindestens einer der Messgrößen Stellgrößen, die dann in entsprechende Stellsignale zum Steuern von Stellgliedern mittels entsprechender Stellantriebe umgesetzt werden.

Die Sensoren sind beispielsweise ein Pedalstellungsgeber, welcher die Stellung eines Fahrpedals erfasst, ein Kurbelwellenwinkelsensor, welcher einen Kurbelwellenwinkel erfasst und welchem dann eine Motordrehzahl zugeordnet wird, ein Luftmassenmesser und ein Kraftstoffdrucksensor 58, welcher einen Kraftstoffdruck FUP\_AV in dem Kraftstoffspeicher 55 erfasst. Je nach Ausführungsform der Erfindung kann eine beliebige Untermenge der Sensoren oder auch zusätzliche Sensoren vorhanden sein.

Die Stellglieder sind beispielsweise als Gaseinlass- oder Gasauslassventile, Einspritzventile 34, Zündkerze, Drosselklappe, Niederdruckpumpe 51, Volumenstromsteuerventil 56 oder auch als elektromechanischer Druckregulator 57 ausgebildet.

Bevorzugt hat die Brennkraftmaschine auch weitere Zylinder, denen dann entsprechende Stellglieder zugeordnet sind.

Figur 2 zeigt ein Kombinationsventil 7, das einen Stellantrieb 70, das Volumenstromsteuerventil 56 und den elektromechanischen Druckregulator 57 umfasst. Das Kombinationsventil 7 hat einen Auslass 71, der mit dem Einlass der Hochdruckpumpe 54 wirkverbunden ist, einen Anschluss 72, der mit dem Zulauf 53 wirkverbunden ist, und einen Einlass 73, der mit dem Kraftstoffspeicher 55 wirkverbunden ist. Das Volumenstromsteuerventil 56 umfasst den Anschluss 72, den Auslass 71, einen Ventilsteller 74 und den Stellantrieb 70. Der elektromechanische Druckregulator 57 umfasst den Einlass 73, den Anschluss 72, den Ventilsteller 74, eine Feder 75, einen Ventilverschluss 76 und den Stellantrieb 70.

Der Stellantrieb 70 bewegt abhängig von einem Stellsignal PWM den Ventilsteller 74 in axialer Richtung. Die Feder 75 ist zwischen dem Ventilsteller 74 und dem Ventilverschluss 76 angeordnet und abhängig von der axialen Position des Ventilstellers 74 vorgespannt. Der Ventilsteller 74 ist so ausgebildet, dass in dem Bereich einer ersten axialen Verschiebung des Ventilstellers 74 in Richtung zu der Feder 75 ausgehend von seiner axialen Position, in die er durch die Feder 75 gedrückt wird ohne ein Beaufschlagen des Stellantriebs 70 mit dem Stellsignal PWM, der Kraftstofffluss im Wesentlichen unterbunden ist. In diesem Zustand strömt von dem Anschluss 72 lediglich ein Leckfluss hin zu dem Auslass 71. In dem Be-

reich einer zweiten axialen Verschiebung des Ventilstellers 74 durch ein entsprechendes Beaufschlagen des Stellantriebs 70 mit dem Stellsignal PWM wird der Anschluss 72 mit dem Auslass 71 hydraulisch gekoppelt. Abhängig von dem Stellsignal PWM kann in dem zweiten Bereich der axialen Verschiebung des Ventilstellers 74 ein verschieden großer Volumenstrom von dem Zulauf 53 in den Anschluss 72 hin zum Auslass 71 und zu der Hochdruckpumpe 54 fließen.

Wenn die durch den Kraftstoffdruck in dem Kraftstoffspeicher 55 hervorgerufene Kraft größer ist als die durch die Vorspannung der Feder hervorgerufene und auf den Ventilverschluss 76 ausgeübte Kraft, wird der Einlass 73 mit dem Anschluss 72 hydraulisch gekoppelt, so dass Kraftstoff von dem Kraftstoffspeicher 55 in den Einlass 73 hin zum Auslass 72 in den Zulauf 53 fließen kann.

Der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55, der zu einem Öffnen des elektromechanischen Druckregulators mindestens erforderlich ist, kann durch Erhöhen oder Verringern des Stellsignals PWM eingestellt werden. Der Stellantrieb 70 erhöht oder verringert entsprechend die Kraft, die über den Ventilsteller 74 auf die Feder 75 einwirkt und die Feder 75 vorspannt. Die durch die Vorspannung der Feder 75 hervorgerufene Kraft schließt den elektromechanischen Druckregulator, wenn die durch den Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55 auf den Ventilverschluss 76 ausgeübte Kraft kleiner ist.

Figur 3 zeigt Kennlinien des in Figur 2 dargestellten Kombinationsventils 7. Eine Druckkurve 80 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Stellsignal PWM in Ampere und dem Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55 in bar. Wird bei gegebenem Stellsignal PWM der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55

über den durch die Druckkurve 80 vorgegebenen Wert erhöht, so öffnet der elektromechanische Druckregulator 57 und verringert durch Ablassen von Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher 55 in den Zulauf 53 den Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55.

Für Werte des Stellsignals PWM, die größer sind als ein Schwellenwert, der in diesem Ausführungsbeispiel einen Wert von etwa 0,5 Ampere hat, öffnet sich das Volumenstromsteuerventil 56 und ermöglicht einen in Liter pro Minute angegebenen Kraftstofffluss. Das Diagramm zeigt eine obere Flusskurve 81, die eine obere Toleranzgrenze für das Kombinationsventil 7 darstellt, eine untere Flusskurve 82, die eine untere Toleranzgrenze für das Kombinationsventil 7 darstellt, und eine mittlere Flusskurve 83, die den Mittelwert zwischen oberer und unterer Flusskurve darstellt. Die Flusskurven 81, 82 und 83 zeigen, dass bei diesem Ausführungsbeispiel unterhalb des Schwellenwerts, also wenn das Volumenstromsteuerventil 56 im Wesentlichen geschlossen ist, noch der Leckfluss fließen kann.

In Figur 4 ist ein Blockschaltbild einer Regeleinrichtung dargestellt, die zur Regelung des Kraftstoffdrucks in der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 verwendet werden kann, die ein Kombinationsventil 7 umfasst, wie es beispielhaft in Figur 2 ausgeführt ist. Die Regelung des Kraftstoffdrucks im Kraftstoffspeicher 55 erfolgt abhängig davon, in welcher Betriebsart die Kraftstoffzuführeinrichtung 5 aktuell betrieben wird.

In einer ersten Betriebsart wird der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55 abhängig von der von der Hochdruckpumpe 54 geförderten Kraftstoffmenge eingestellt. Das Volumenstromsteuerventil 56 ist geöffnet und die geförderte Kraft-

stoffmenge ist abhängig von der Ansteuerung des Volumenstromsteuerventils 56. In dieser Betriebsart ist der elektromechanische Druckregulator 57 geschlossen. Wenn mehr Kraftstoff in den Kraftstoffspeicher 55 gefördert als zugemessen wird, dann steigt der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55. Wenn weniger Kraftstoff in den Kraftstoffspeicher 55 gefördert als zugemessen wird, dann sinkt entsprechend der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55. Diese erste Betriebsart wird Mengenregelung VC genannt.

In einer zweiten Betriebsart ist das Volumenstromsteuerventil 56 geschlossen. Durch das Volumenstromsteuerventil 56 fließt nur der Leckfluss. Ist der elektromechanische Druckregulator 57 geschlossen und wird weniger Kraftstoff zugemessen als durch den Leckfluss in den Kraftstoffspeicher 55 gefördert wird, dann steigt der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55, bis der elektromechanische Druckregulator 57 öffnet und Kraftstoff in den Zulauf 53 absteuert. Dadurch wird der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55 auf den durch den elektromechanischen Druckregulator 57 vorgegebenen Kraftstoffdruck begrenzt. Diese zweite Betriebsart wird deshalb Druckregelung PC genannt.

Figur 4 zeigt zwei Regelkreise, zwischen denen abhängig von der aktuell eingestellten Betriebsart der Kraftstoffzuführungseinrichtung 5 mittels eines Schalters LV\_MS umgeschaltet werden kann. Ist die aktuell eingestellte Betriebsart die erste Betriebsart, also die Mengenregelung VC, dann steht der Schalter LV\_MS in der Position VC. Ist die aktuell eingestellte Betriebsart die zweite Betriebsart, also die Druckregelung PC, dann steht der Schalter LV\_MS in der Position PC.

Aus der Differenz zwischen dem vorgegebenen Kraftstoffdruck FUP\_SP und dem erfassten Kraftstoffdruck FUP\_AV wird eine Regeldifferenz FUP\_DIF bestimmt. Die Regeldifferenz FUP\_DIF wird bei der Mengenregelung VC einem Regler in Block B1 zugeführt. Dieser Regler ist vorzugsweise als PI-Regler ausgebildet. In dem Block B1 wird ein Reglerwert FUEL\_MASS\_FB\_CTRL des ersten Reglers bestimmt. Abhängig von dem vorgegebenen Kraftstoffdruck FUP\_SP und dem erfassten Kraftstoffdruck FUP\_AV wird in einem Block B2 ein Vorsteuerwert FUEL\_MASS\_PRE einer zu fördernden Kraftstoffmasse FUEL\_MASS\_REQ ermittelt. Der Vorsteuerwert FUEL\_MASS\_PRE der zu fördernden Kraftstoffmasse FUEL\_MASS\_REQ, der Reglerwert FUEL\_MASS\_FB\_CTRL des ersten Reglers, eine einzuspritzende Kraftstoffmasse MFF und ein Adaptionwert FUEL\_MASS\_ADAPT werden aufsummiert zu der zu fördernden Kraftstoffmasse FUEL\_MASS\_REQ. In einem Block B3 wird abhängig von der zu fördernden Kraftstoffmasse FUEL\_MASS\_REQ ein Stellsignal PWM\_VC bei Mengenregelung VC bestimmt. Der Block B3 umfasst vorzugsweise ein Kennfeld. Ein Block B4 repräsentiert die in Figur 1 dargestellte Kraftstoffzuföhreinrichtung 5 mit dem in Figur 2 dargestellten Kombinationsventil 7. Das Stellsignal PWM, das bei Mengenregelung VC gleich dem Stellsignal PWM\_VC bei Mengenregelung VC ist, ist die Eingangsgröße des Blocks B4. Die Ausgangsgröße des Blocks B4 ist der erfasste Kraftstoffdruck FUP\_AV, der beispielsweise mittels des Kraftstoffdrucksensors 58 erfasst wird.

Bei Druckregelung PC wird die Regeldifferenz FUP\_DIF einem zweiten Regler in einem Block B5 zugeführt. Der Regler in dem Block B5 ist vorzugsweise als PI-Regler ausgeführt. In einem Block B6 wird abhängig von dem vorgegebenen Kraftstoffdruck FUP\_SP ein Vorsteuerwert PWM\_PRE für ein Stellsignal PWM\_PC bei Druckregelung PC bestimmt, zu dem ein in dem Block B5 er-

mittelter Reglerwert PWM\_FB\_CTRL des zweiten Reglers addiert wird. Die Summe ist das Stellsignal PWM\_PC bei Druckregelung PC. Bei Druckregelung PC ist das Stellsignal PWM gleich dem Stellsignal PWM\_PC bei Druckregelung PC. Der Block B6 umfasst vorzugsweise ein Kennfeld.

In einem Block B7 wird der Adaptionwert FUEL\_MASS\_ADAPT ermittelt abhängig von einem Reglerzustand des ersten Reglers in dem Block B1. Beispielsweise kann ein Betrag eines Integralanteils des ersten Reglers um einen Betrag verkleinert und der Adaptionwert abhängig von diesem Betrag korrigiert werden, wenn eine vorgegebene Betriebsbedingung, beispielsweise ein stationärer Betriebszustand, vorliegt.

Die Kennfelder der Blöcke B3 und B6 werden bevorzugt vorab durch Versuche an einem Motorprüfstand, durch Simulationen oder durch Fahrversuche ermittelt. Alternativ können auch beispielsweise auf physikalischen Modellen basierende Funktionen verwendet werden.

Das in Figur 4 dargestellte Blockdiagramm ist eine bevorzugte Ausführungsform einer Regeleinrichtung für eine Kraftstoffzuführeinrichtung 5 mit einem Kombinationsventil 7 nach Figur 2 und Kennlinien nach Figur 3. Falls das Volumenstromsteuerventil 56 und der elektromechanische Druckregulator 57 jedoch jeweils einen eigenen Stellantrieb haben, dann wirkt das Stellsignal PWM\_VC bei Mengenregelung VC auf den Stellantrieb des Volumenstromsteuerventils 56 und das Stellsignal PWM\_PC bei Druckregelung PC auf den Stellantrieb des elektromechanischen Druckregulators 57. Dem Block B4 werden folglich anstelle des gemeinsamen Stellsignals PWM sowohl das Stellsignal PWM\_VC bei Mengenregelung VC als auch das Stellsignal PWM\_PC bei Druckregelung PC zugeführt. Die Regelkreise für

die erste und die zweite Betriebsart arbeiten in diesem Fall vorzugsweise parallel, so dass auf den in Figur 4 dargestellten Schalter LV\_MS verzichtet werden kann. Den Blöcken B1 und B5 wird gleichzeitig die Regeldifferenz FUP\_DIF zugeführt.

Figur 5 zeigt ein Ablaufdiagramm, das die Steuerung der Betriebsartumschaltung der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 darstellt. Die Bearbeitung beginnt mit einem Schritt S1, der vorzugsweise mit dem Start der Brennkraftmaschine ausgeführt wird. Der Schritt S1 kann weitere, hier nicht dargestellte, Schritte enthalten, wie zum Beispiel eine Initialisierung von Variablen zur Festlegung eines definierten Ausgangszustands der Kraftstoffzuführeinrichtung 5.

In einem Schritt S2 wird überprüft, ob eine Differenz aus einer aktuellen Zeit  $t$  und einer Zeit  $t_{MS}$  der letzten Betriebsartumschaltung größer ist als eine Sperrzeitdauer  $T_{MS\_WAIT}$ . Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird der Schritt S2 nach einer Wartezeitdauer  $T_W$  wiederholt. Seit der letzten Betriebsartumschaltung muss also mindestens die Sperrzeitdauer  $T_{MS\_WAIT}$  verstrichen sein, bevor die Betriebsart erneut umgeschaltet werden kann. Ist die Bedingung in dem Schritt S2 jedoch erfüllt, so wird die Bearbeitung in einem Schritt S3 fortgesetzt.

In dem Schritt S3 wird sowohl ein Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks als auch ein Förderstrom MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54 überprüft. Der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks ist abhängig von einem Betrag oder einem Faktor, um den der erfasste Kraftstoffdruck FUP\_AV größer oder kleiner ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck FUP\_SP und ist in diesem Ausführungsbeispiel so definiert, dass der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks größer ist, wenn der vorgegebene

Kraftstoffdruck FUP\_SP größer ist als der erfasste Kraftstoffdruck FUP\_AV, als wenn der vorgegebene Kraftstoffdruck FUP\_SP kleiner ist als der erfasste Kraftstoffdruck FUP\_AV. Der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks ist beispielsweise ein Quotient aus dem vorgegebenen Kraftstoffdruck FUP\_SP und dem erfassten Kraftstoffdruck FUP\_AV oder die Differenz zwischen dem vorgegebenen Kraftstoffdruck FUP\_SP und dem erfassten Kraftstoffdruck FUP\_AV. Ist der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks kleiner als eine vorgegebene untere Toleranzgrenze FUP\_ERR\_BOL für den Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks oder ist der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks größer oder gleich der vorgegebenen unteren Toleranzgrenze FUP\_ERR\_BOL für den Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks und kleiner oder gleich einer vorgegebenen oberen Toleranzgrenze FUP\_ERR\_TOL für den Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks und ist der Förderstrom MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54 gleichzeitig kleiner als eine untere Umschaltswelle MFF\_PUMP\_BOL des Förderstroms MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54, dann wird die Bearbeitung in einem Schritt S4 fortgesetzt, in dem die Betriebsart der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 auf Druckregelbetrieb PC umgeschaltet wird. Ist die Bedingung in dem Schritt S3 nicht erfüllt, dann wird ein Schritt S5 ausgeführt.

In dem Schritt S5 werden wiederum der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks und der Förderstrom MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54 überprüft. Ist der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks größer als eine vorgegebene obere Toleranzgrenze FUP\_ERR\_TOL für den Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks oder ist der Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks größer oder gleich der vorgegebenen unteren Toleranzgrenze FUP\_ERR\_BOL für den Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks und kleiner oder gleich der vorgegebenen oberen Toleranzgren-

ze FUP\_ERR\_TOL für den Fehlerwert FUP\_ERR des Kraftstoffdrucks und ist der Förderstrom MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54 gleichzeitig größer als eine obere Umschaltschwelle MFF\_PUMP\_TOL des Förderstroms MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54, dann wird die Bearbeitung in einem Schritt S6 fortgesetzt, in dem die Betriebsart der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 auf Mengenregelbetrieb VC umgeschaltet wird. Ist die Bedingung in dem Schritt S5 nicht erfüllt, dann wird die Bearbeitung nach der Wartezeitdauer T\_W mit dem Schritt S2 fortgesetzt.

Nach der Umschaltung der Betriebsart in dem Schritt S4 oder in dem Schritt S6 wird jeweils ein Schritt S7 ausgeführt, in dem die aktuelle Zeit t als die Zeit der letzten Betriebsartumschaltung t\_MS gespeichert wird, wenn zuvor von der ersten Betriebsart auf die zweite Betriebsart oder von der zweiten Betriebsart auf die erste Betriebsart umgeschaltet wurde. Nach dem Schritt S7 wird die Bearbeitung, wiederum nach der Wartezeitdauer T\_W, in dem Schritt S2 fortgeführt.

Die untere Umschaltschwelle MFF\_PUMP\_BOL und die obere Umschaltschwelle MFF\_PUMP\_TOL des Förderstroms MFF\_PUMP der Hochdruckpumpe 54 können abhängig von dem Leckfluss des Volumenstromsteuerventils 56 und einem möglichen Leckagefluss aus dem Kraftstoffspeicher 55 heraus ermittelt werden, so dass Toleranzen und mögliche Fehler und Defekte in Komponenten der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 ausgeglichen werden können, damit die Hochdruckpumpe 54 nur so wenig Kraftstoff wie möglich, aber so viel Kraftstoff wie nötig, in den Kraftstoffspeicher 55 zu fördern braucht.

In Figur 6 ist ein Ablaufdiagramm dargestellt, das die Schritte zur Bestimmung eines Fehlerwerts Q\_ERR des Kraftstoffflusses in der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 zeigt. Die

Bearbeitung beginnt mit einem Schritt S11, der vorzugsweise ausgeführt wird, wenn sich die Brennkraftmaschine im Schubetrieb befindet, also wenn sich die Kurbelwelle 21 dreht ohne dass Kraftstoff zugemessen wird. Ferner kann der Schritt S11 weitere, hier nicht dargestellte, vorbereitende Schritte umfassen. In einem Schritt S12 wird ein erster Kraftstoffdruck FUP\_SP1 eingestellt. Der erste Kraftstoffdruck FUP\_SP1 ist vorzugsweise kleiner als der aktuelle Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55. Nachdem der erste Kraftstoffdruck FUP\_SP1 so eingestellt ist, dass der Betrag der Regeldifferenz FUP\_DIF kleiner ist als ein vorgegebener Schwellenwert, wird ein erster Kraftstoffdruck FUP\_AV1 und eine erste Zeit t1 in einem Schritt S13 erfasst. Anschließend wird in einem Schritt S14 eine dritte Betriebsart der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 eingestellt und gleichzeitig verhindert, dass die Betriebsart automatisch umgeschaltet wird.

In der dritten Betriebsart werden alle Ventile der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 so angesteuert, dass sie geschlossen sind. Diese Betriebsart kann zum Beispiel dadurch eingestellt werden, dass auf Druckregelbetrieb PC umgeschaltet wird und gleichzeitig der vorgegebene Kraftstoffdruck FUP\_SP auf einen so großen Wert gesetzt wird, dass der elektromechanische Druckregulator 57 geschlossen ist. In dem Druckregelbetrieb PC ist das Volumenstromsteuerventil 56 so angesteuert, dass es geschlossen ist. Die Einspritzventile 34 sind ebenfalls so angesteuert, dass sie geschlossen sind, da kein Kraftstoff zugemessen werden soll. Änderungen des Kraftstoffdrucks im Kraftstoffspeicher 55 können so nur durch den Leckfluss des Volumenstromsteuerventils 56 oder durch den möglichen Leckgefluss aus dem Kraftstoffspeicher 55 heraus verursacht werden.

In einem Schritt S15 wird solange gewartet, bis der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher 55 größer oder gleich einem zweiten vorgegebenen Kraftstoffdruck  $FUP\_SP2$  ist oder bis eine vorgegebene Zeitdauer verstrichen ist. Dann wird in einem Schritt S16 ein zweiter Kraftstoffdruck  $FUP\_AV2$  und eine zweite Zeit  $t2$  erfasst. In einem Schritt S17 wird eine Differenz  $FUP\_AV\_DIF$  aus dem zweiten erfassten Kraftstoffdruck  $FUP\_AV2$  und dem ersten erfassten Kraftstoffdruck  $FUP\_AV1$  und eine Zeitdauer  $T$  aus der zweiten Zeit  $t2$  und der ersten Zeit  $t1$  ermittelt. Der Fehlerwert  $Q\_ERR$  des Kraftstoffflusses wird in Abhängigkeit von der Differenz  $FUP\_AV\_DIF$  der erfassten Kraftstoffdrücke und der Zeitdauer  $T$  ermittelt. Der Fehlerwert  $Q\_ERR$  des Kraftstoffflusses kann zusätzlich abhängig von einem Volumen  $V\_RAIL$  des Kraftstoffspeichers 55, einer Kraftstoffdichte  $r$  und einer Kraftstoffkompressibilität  $b$  ermittelt werden. Der Fehlerwert  $Q\_ERR$  des Kraftstoffflusses repräsentiert die Bilanz der Kraftstoffzuflüsse in den Kraftstoffspeicher 55 und der Kraftstoffabflüsse aus dem Kraftstoffspeicher 55, wenn alle Ventile der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 so angesteuert werden, dass die Ventile geschlossen sein sollten.

In einem Schritt S18 wird die dritte Betriebsart abgeschaltet und auf die in der Figur 5 beschriebene Umschaltung der Betriebsarten umgeschaltet. Der ermittelte Fehlerwert  $Q\_ERR$  des Kraftstoffflusses kann, vorzugsweise nach einer Überprüfung auf möglicherweise in der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 vorhandene Fehler und Defekte, in die Steuerung der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 übernommen werden. Der ermittelte Fehlerwert  $Q\_ERR$  des Kraftstoffflusses kann so bei dem weiteren Betrieb der Kraftstoffzuführeinrichtung 5 berücksichtigt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern einer Kraftstoffzuführeinrichtung (5) einer Brennkraftmaschine, wobei die Kraftstoffzuführeinrichtung (5) umfasst:
- einen Niederdruckkreis,
  - eine Hochdruckpumpe (54), die eingangsseitig gekoppelt ist mit dem Niederdruckkreis und die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher (55) fördert,
  - ein Volumenstromsteuerventil (56), das der Hochdruckpumpe (54) zugeordnet ist, und
  - einen elektromechanischen Druckregulator (57), der mit dem Kraftstoffspeicher (55) und dem Niederdruckkreis wirkverbunden ist und der Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher (55) in den Niederdruckkreis absteuern kann,
- bei dem
- eine Regeldifferenz (FUP\_DIF) ermittelt wird aus einer Differenz eines vorgegebenen Kraftstoffdrucks (FUP\_SP) und eines erfassten Kraftstoffdrucks (FUP\_AV),
  - in einer ersten Betriebsart (VC) mittels eines ersten Reglers ein Stellsignal für das Volumenstromsteuerventil (56) erzeugt wird, wobei dem ersten Regler die Regeldifferenz (FUP\_DIF) zugeführt wird,
  - in einer zweiten Betriebsart (PC) mittels eines zweiten Reglers ein Stellsignal für den elektromechanischen Druckregulator (57) erzeugt wird, wobei dem zweiten Regler die Regeldifferenz (FUP\_DIF) zugeführt wird,
  - von der ersten Betriebsart (VC) auf die zweite Betriebsart (PC) umgeschaltet wird, wenn der erfasste Kraftstoffdruck (FUP\_AV) um einen ersten vorgegebenen Betrag oder um einen ersten vorgegebenen Faktor größer ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck (FUP\_SP).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass von der zweiten Betriebsart (PC) auf die erste Betriebsart (VC) umgeschaltet wird, wenn der erfasste Kraftstoffdruck (FUP\_AV) um einen zweiten vorgegebenen Betrag oder um einen zweiten vorgegebenen Faktor kleiner ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck (FUP\_SP).
3. Verfahren zum Steuern einer Kraftstoffzuführeinrichtung (5) einer Brennkraftmaschine, wobei die Kraftstoffzuführeinrichtung (5) umfasst:
- einen Niederdruckkreis,
  - eine Hochdruckpumpe (54), die eingangsseitig gekoppelt ist mit dem Niederdruckkreis und die Kraftstoff in einen Kraftstoffspeicher (55) fördert,
  - ein Volumenstromsteuerventil (56), das der Hochdruckpumpe (54) zugeordnet ist, und
  - einen elektromechanischen Druckregulator (57), der mit dem Kraftstoffspeicher (55) und dem Niederdruckkreis wirkverbunden ist und der Kraftstoff aus dem Kraftstoffspeicher (55) in den Niederdruckkreis absteuern kann,
- bei dem
- eine Regeldifferenz (FUP\_DIF) ermittelt wird aus einer Differenz eines vorgegebenen Kraftstoffdrucks (FUP\_SP) und eines erfassten Kraftstoffdrucks (FUP\_AV),
  - in einer ersten Betriebsart (VC) mittels eines ersten Reglers ein Stellsignal für das Volumenstromsteuerventil (56) erzeugt wird, wobei dem ersten Regler die Regeldifferenz (FUP\_DIF) zugeführt wird,
  - in einer zweiten Betriebsart (PC) mittels eines zweiten Reglers ein Stellsignal für den elektromechanischen Druckregulator (57) erzeugt wird, wobei dem zweiten Regler die Regeldifferenz (FUP\_DIF) zugeführt wird,

- von der zweiten Betriebsart (PC) auf die erste Betriebsart (VC) umgeschaltet wird, wenn der erfasste Kraftstoffdruck (FUP\_AV) um einen zweiten vorgegebenen Betrag oder um einen zweiten vorgegebenen Faktor kleiner ist als der vorgegebene Kraftstoffdruck (FUP\_SP).
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig von einem Förderstrom (MFF\_PUMP) der Hochdruckpumpe (54) von der ersten Betriebsart (VC) auf die zweite Betriebsart (PC) umgeschaltet wird, wenn der Förderstrom (MFF\_PUMP) der Hochdruckpumpe (54) kleiner ist als eine untere Umschaltswelle (MFF\_PUMP\_BOL) des Förderstroms (MFF\_PUMP), und von der zweiten Betriebsart (PC) auf die erste Betriebsart (VC) umgeschaltet wird, wenn der Förderstrom (MFF\_PUMP) der Hochdruckpumpe (54) größer ist als eine obere Umschaltswelle (MFF\_PUMP\_TOL) des Förderstroms (MFF\_PUMP).
  5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die untere Umschaltswelle (MFF\_PUMP\_BOL) des Förderstroms (MFF\_PUMP) und die obere Umschaltswelle (MFF\_PUMP\_TOL) des Förderstroms (MFF\_PUMP) aus einem Fehlerwert (Q\_ERR) des Kraftstoffflusses ermittelt werden, der resultiert aus einem Leckfluss durch das Volumenstromsteuerventil in seiner geschlossenen Stellung und einem Leakagefluss aus dem Kraftstoffspeicher (55) heraus, wenn der elektromechanische Druckregulator (57) geschlossen ist und kein Kraftstoff zugemessen werden soll.
  6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Fehlerwert (Q\_ERR) des Kraftstoffflusses ermittelt wird abhängig von mindestens zwei mit zeitlichem Abstand erfassten Kraftstoffdrücken (FUP\_AV1, FUP\_AV2), die in ei-

ner dritten Betriebsart erfasst werden, in der kein Kraftstoff zugemessen werden soll und das Volumenstromsteuerventil (56) und der elektromechanische Druckregulator (57) so angesteuert werden, dass das Volumenstromsteuerventil (56) und der elektromechanische Druckregulator (57) geschlossen sind.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass
  - der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher (55) auf einen ersten vorgegebenen Kraftstoffdruck (FUP\_SP1) geregelt wird, so dass der Betrag der Regeldifferenz (FUP\_DIF) kleiner ist als ein vorgegebener Schwellenwert,
  - ein erster Kraftstoffdruck (FUP\_AV1) erfasst wird,
  - die dritte Betriebsart eingestellt und die Betriebsartumschaltung gesperrt wird,
  - ein zweiter Kraftstoffdruck (FUP\_AV2) erfasst wird, und
  - der Fehlerwert (Q\_ERR) des Kraftstoffflusses ermittelt wird abhängig von einer Zeitdauer (T) und einer Differenz (FUP\_AV\_DIF) des zweiten erfassten Kraftstoffdrucks (FUP\_AV2) und des ersten erfassten Kraftstoffdrucks (FUP\_AV1).
  
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Kraftstoffdruck (FUP\_AV2) erfasst wird, wenn der Kraftstoffdruck im Kraftstoffspeicher (55) größer oder gleich einem zweiten vorgegebenen Kraftstoffdruck (FUP\_SP2) ist, dessen Wert größer ist als der des ersten vorgegebenen Kraftstoffdrucks (FUP\_SP1).
  
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Kraftstoffdruck (FUP\_AV2) erfasst wird nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitdauer.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach einem Umschalten von der ersten Betriebsart (VC) auf die zweite Betriebsart (PC) oder von der zweiten Betriebsart (PC) auf die erste Betriebsart (VC) die Umschaltung der Betriebsart für mindestens eine vorgegebene Sperrzeitdauer (T\_MS\_WAIT) gesperrt ist.

FIG 1

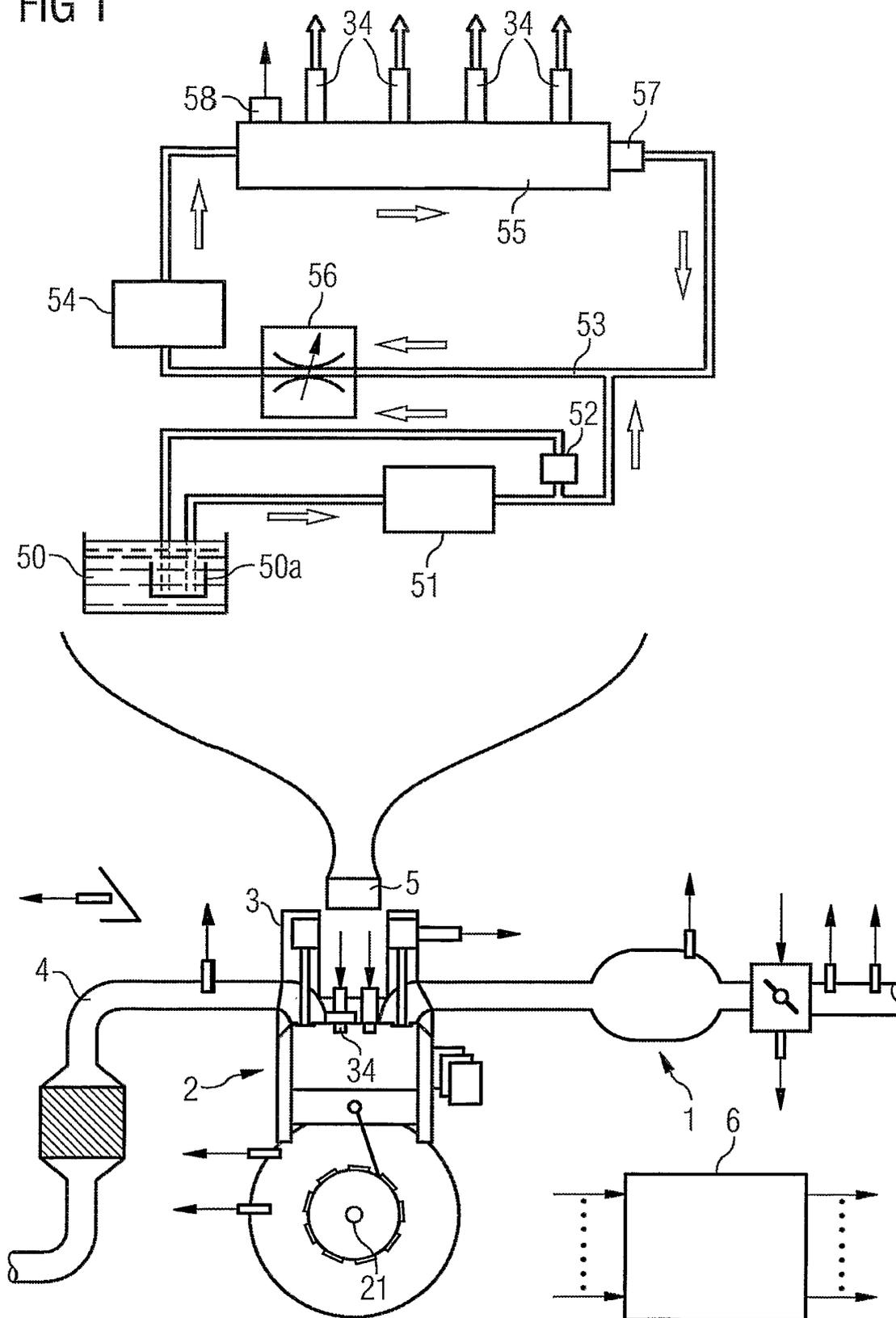


FIG 2

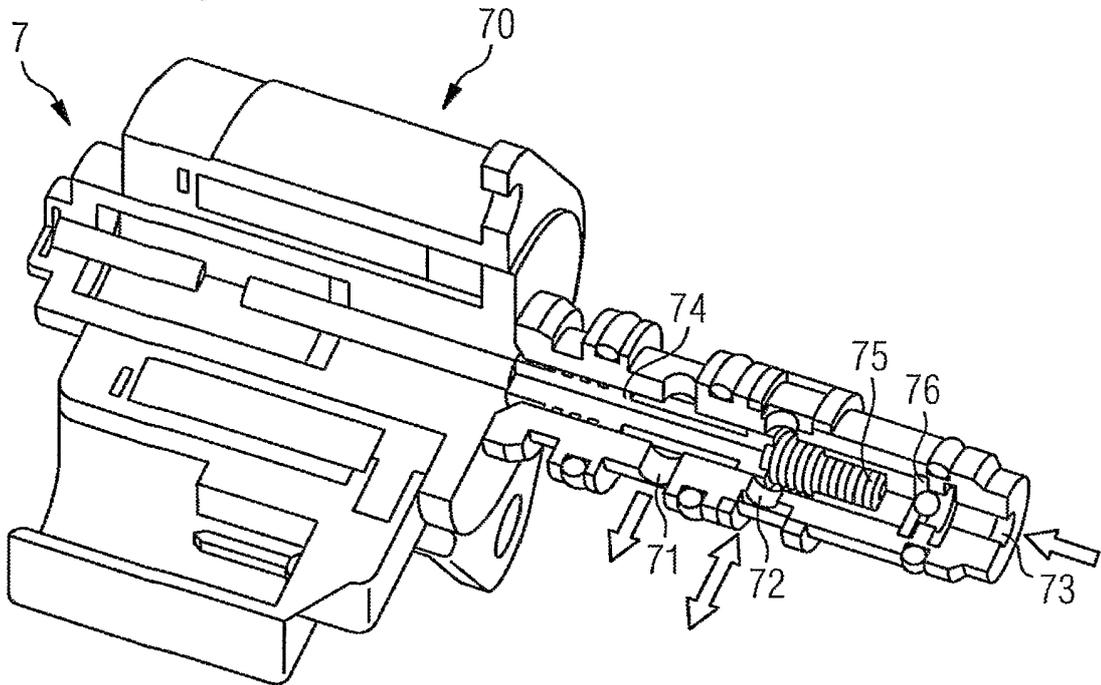
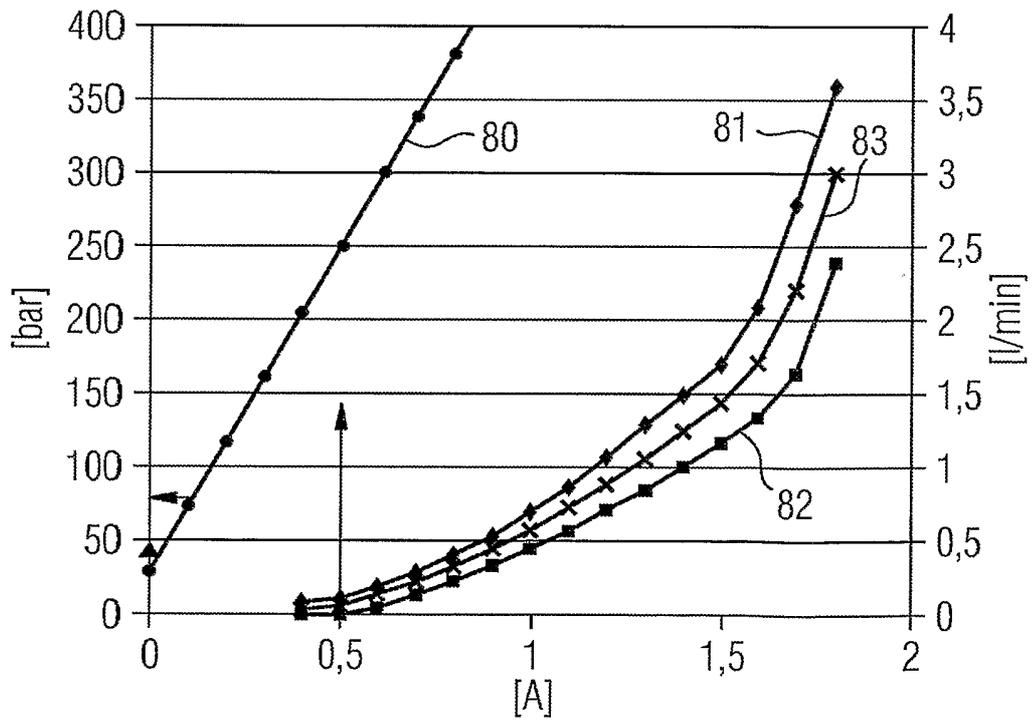


FIG 3



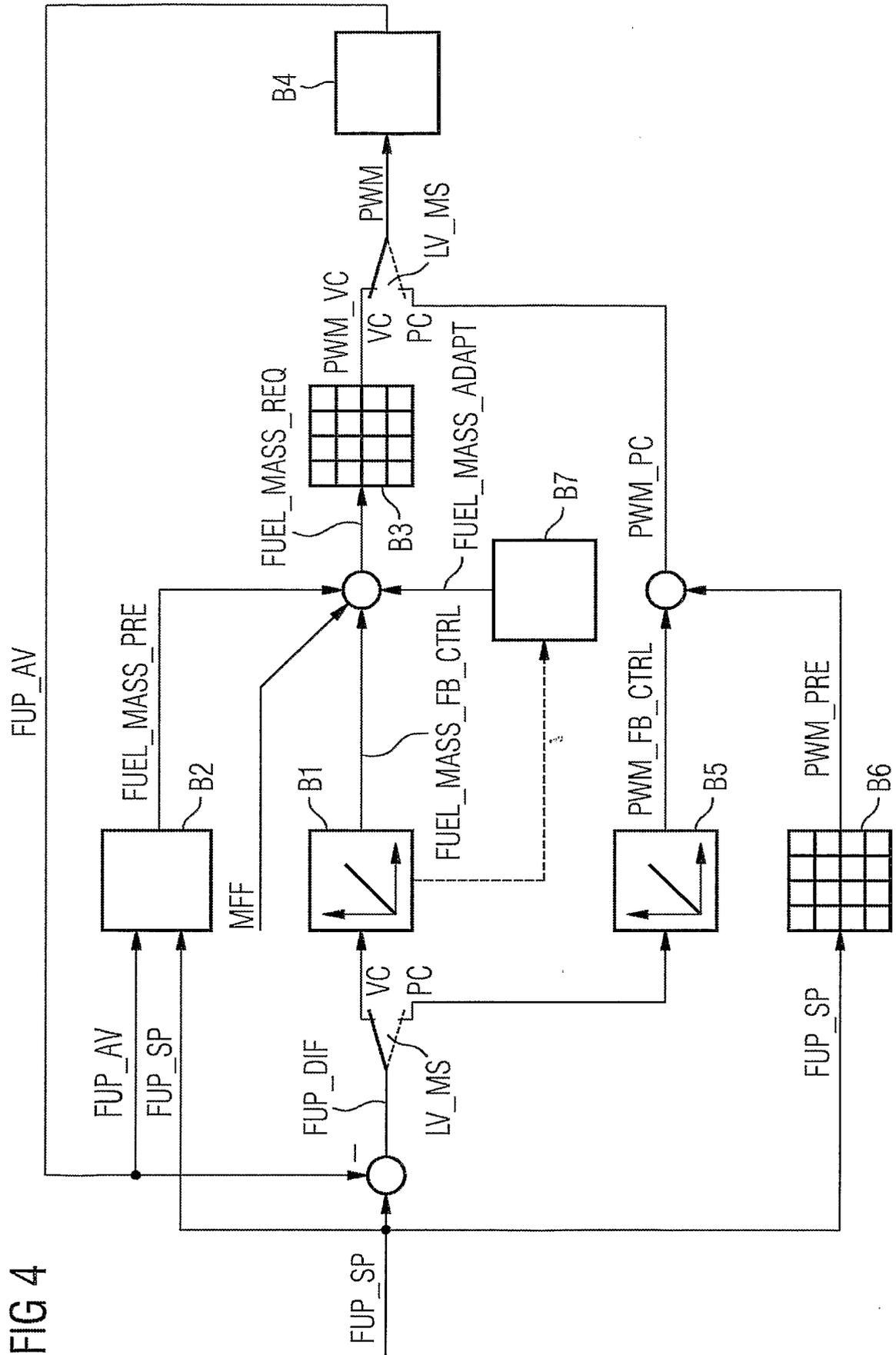


FIG 4

FIG 5

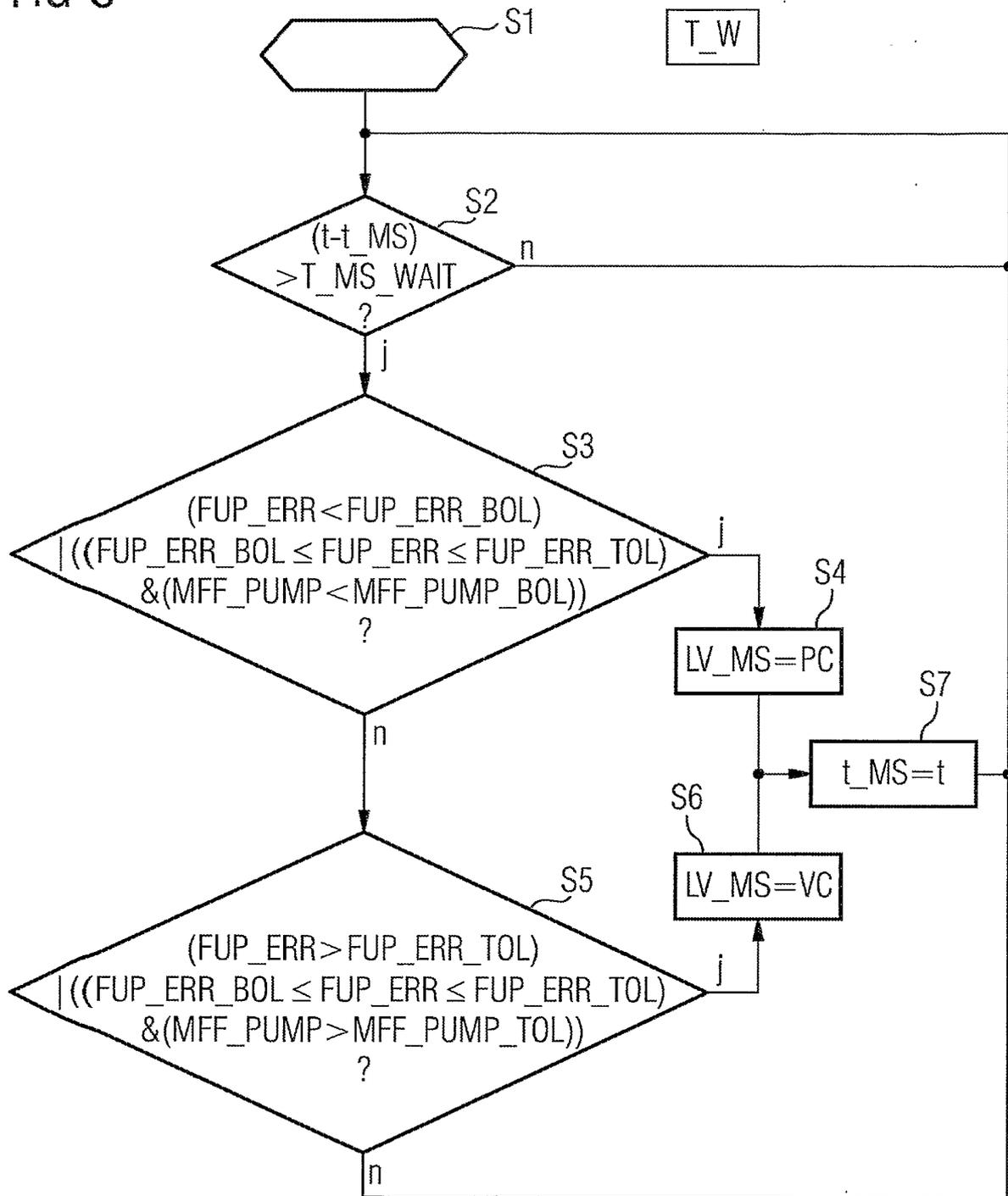


FIG 6

