



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Kraftstoff-Einspritzsystem, das zumindest eine unregulierte Hochdruckpumpe aufweist, in deren Kraftstoff-Zuführleitung ein die Menge des der Hochdruckpumpe zugeführten Kraftstoffs einstellendes, von einer elektronischen Regeleinrichtung beherrschtes Niederdruckregelventil eingeschaltet ist, wobei die Hochdruckpumpe über eine Hochdruckleitung mit einer Hochdruckspeichervorrichtung und diese über zumindest eine Einspritzleitung sowie ein Steuerventil mit einem Einspritzventil verschaltet ist sowie ein Verfahren zur Regelung eines derartigen Kraftstoff-Einspritzsystems einer Brennkraftmaschine.

**[0002]** Eine derartige Brennkraftmaschine ist aus der EP 1 298 316 B1 bekannt. Dieses Common-Rail-Einspritzsystem weist zwei direkt in das Kurbelgehäuse der Brennkraftmaschine eingesetzte Hochdruckpumpen auf, die zugemessenen Kraftstoff in den Hochdruckspeicher des Common-Rail-Systems fördern. Die Zumesung des Kraftstoffs erfolgt durch ein Niederdruckregelventil, das von einer elektronischen Regeleinrichtung gesteuert wird. Dieses System hat sich bewährt und ist für Systemdrücke bis 1.600 bar ausgelegt. Dabei ist es so, dass der Betriebsdruck in der Hochdruckspeichervorrichtung in Abhängigkeit von Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine verändert wird. Bei einer gewünschten Erhöhung des Systemdrucks erfolgt dies durch eine entsprechende Steuerung des Niederdruckregelventils hin zu einer Vergrößerung der den beiden Hochdruckpumpen zugeführten Kraftstoffmenge, während eine Regelung hin zu einer Verringerung des Systemdrucks durch eine Verringerung des von dem Niederdruckregelventil zugemessenen Kraftstoffs zu den beiden Hochdruckpumpen bei gleichzeitigem Druckabbau in der Hochdruckspeichervorrichtung durch Leckage an den verschiedenen Komponenten erfolgt.

**[0003]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem weiterentwickelten Common-Rail-Kraftstoff-Einspritzsystem mit keiner oder nur geringer Leckage der einzelnen Komponenten eine zuverlässige, schnelle und kostengünstige Druckanpassung in der Hochdruckspeichervorrichtung zu ermöglichen.

**[0004]** Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass in das Hochdrucksystem ein von der Regeleinrichtung beherrschtes, einen absteuernden Volumenstrom bestimmendes Hochdruckregelventil parallel zu einem Hochdrucküberdruckventil eingeschaltet ist und dass das Niederdruckregelventil und das Hochdruckregelventil ohne Umschaltung zwischen Niederdruckregelung und Hochdruckregelung angesteuert sind. Das zugehörige Verfahren ist **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Hochdrucksystem ein von der Regeleinrichtung beherrschtes, einen abzusteuernden Volumenstrom bestimmendes Hochdruckregelventil eingeschaltet ist und dass das Niederdruckregelventil und das Hochdruckregelventil ohne Umschaltung zwischen Niederdruckregelung und Hoch-

druckregelung angesteuert sind. Dadurch, dass zur Erhöhung des Systemdrucks bis in den Bereich von 2.000 bar die einzelnen Komponenten nahezu leakagefrei ausgestaltet sind bzw. arbeiten, ist es nicht mehr möglich, eine Systemdruckreduzierung durch eine Null-Förderung von Kraftstoff in den Hochdruckspeicher vorzunehmen. Es muss vielmehr eine bewusste Reduzierung des Systemdrucks in dem Hochdruckspeicher durch ein Hochdruckregelventil vorgenommen werden. Dabei liegt eine Besonderheit in der Regeleinrichtung, die ohne Umschaltung zwischen Niederdruckregelung und Hochdruckregelung die beiden Ventile ansteuert.

**[0005]** In Weiterbildung der Erfindung bestimmt das Niederdruckregelventil einen zusteuernden Volumenstrom, der in der Regeleinrichtung als positiver Volumenstrom definiert ist. Dagegen bestimmt das Hochdruckregelventil einen absteuernden Volumenstrom, der in der Regeleinrichtung als negativer Volumenstrom definiert ist. Durch diese Definitionen ist eine eindeutige Trennung zwischen den einzelnen Volumenströmen gegeben, die - wie nachfolgend dargestellt wird - regelungstechnisch eindeutig umgesetzt und ohne aufwendige Schaltungstechnik verwirklicht werden können.

**[0006]** In weiterer Ausgestaltung werden in einem Teilsystem Begrenzungen der Regeleinrichtung, die minimal und maximal darstellbaren Volumenströme des Niederdruckregelventils und des Hochdruckregelventils sowie ein aktueller Vorsteuerwert zur Berechnung einer Stellgrößenbegrenzung eines PID-Reglers und einer I-Anteilbegrenzung abgelegt. In diesem Teilsystem Begrenzungen werden also Eckwerte definiert, die während des gesamten Rechenvorgangs nicht überschritten werden sollen.

**[0007]** In weiterer Ausgestaltung wird in dem Teilsystem Regelrechner PIDT1 der benötigte Volumenstrom (Stellgröße) in Abhängigkeit der Regeldifferenz ( $P_{\text{soll}} - P_{\text{ist}}$ ) und der in Teilsystem Begrenzungen bestimmten Systemgrenzen mit einem PIDT1-Algorithmus berechnet, welcher in einem nachfolgenden Addiererelement zu einer Vorsteuerung additiv hinzugefügt wird. T1 bedeutet bei einem solchen Element eine Verzögerung erster Ordnung. Ausgangsseitig aus dem Addiererelement kann sich aufgrund der vorherigen Definitionen ein positiver Wert ergeben, beispielsweise im Bereich von normierten Grenzen

- 1.000 und +1.000. An dieser Stelle ist es noch unerheblich, welches der Regelventile (Niederdruckregelventil oder Hochdruckregelventil) den vom System gewünschten Volumenstrom letztendlich umsetzt.

**[0008]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird der gewünschte Volumenstrom, soweit möglich, von dem Niederdruckregelventil umgesetzt. Dazu wird das Ausgangssignal des Addiererelements einer Begrenzung-Niederdruckregelventil zugeführt, die beispielsweise die normierten Grenzen 0 bis +1.000 aufweist.

**[0009]** Soweit dies nicht oder nicht vollständig möglich ist, wird die Differenz aus dem gewünschten und der mit dem Niederdruckregelventil umgesetzten Volumenstrom mit dem Hochdruckregelventil realisiert. Dazu wird der Differenzwert einer Begrenzung-Hochdruckregelventil

zugeführt, die beispielsweise die normierten Grenzen -1.000 bis 0 aufweist.

**[0010]** In Weiterbildung der Erfindung werden die Volumenströme in Wandelsystemen in die für die Ansteuerung des Niederdruckventils und des Hochdruckregelventils benötigten elektrischen Ströme umgerechnet, die dann dem Niederdruckventil und dem Hochdruckregelventil zugeführt werden.

**[0011]** Die entsprechenden Verfahrensschritte zur Regelung des Kraftstoff-einspritzsystems sind entsprechend den vorherigen Darstellungen umgesetzt. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in der Zeichnungsbeschreibung wiedergegeben, in der ein in den Fig. dargestelltes Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben ist.

Es zeigen:

**[0012]**

Fig. 1 ein grundsätzliches Schema des Kraftstoff-Einspritzsystems und

Fig. 2 ein Schaltschema der Regelstrategie.

**[0013]** Eine Nockenwelle 1 einer selbstzündenden Brennkraftmaschine weist neben nicht dargestellten, aber vorzugsweise vorhandenen Gaswechsellnocken Einspritznocken 2 auf, von denen die Rollenstößel 3 von Hochdruckpumpen 4 betätigt werden. Die Hochdruckpumpen 4 sind als unregelmäßige Pumpen ausgelegt und die von den Pumpen geförderte Kraftstoffmenge wird dadurch gesteuert, dass in der Kraftstoff-Zuführleitung zu den beiden Hochdruckpumpen 4 ein Niederdruckregelventil 6 eingeschaltet ist, mit dem die den beiden Hochdruckpumpen 4 zugeführte Kraftstoffmenge eingestellt wird. Die beiden Hochdruckpumpen 4 sind direkt nebeneinanderliegend in das Kurbelgehäuse der Brennkraftmaschine eingesetzt und ragen mit ihrem oberen Teil aus diesem hinaus. Zwischen den beiden Hochdruckpumpen ist das später erläuterte Niederdruckregelventil platzsparend angeordnet. Die Nockenwelle 1 ist über einen einzigen geräuscharmen Zahneingriff von der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine angetrieben.

**[0014]** Die so zugemessene Kraftstoffmenge wird von den Hochdruckpumpen 4 über jeweils eine Hochdruckleitung 7 in eine Hochdruckspeichervorrichtung 8 (Rail) gefördert. Der Druck in der Hochdruckspeichervorrichtung 8 beträgt bis zu 2.000 bar. Aus der Hochdruckspeichervorrichtung 8 zweigen sechs Einspritzleitungen 9 ab, die über ein Steuerventil mit je einem Einspritzventil verschaltet sind. Über jedes Einspritzventil wird Kraftstoff in den jeweiligen Arbeitsraum, der von dem jeweiligen Kol-

ben, Zylinder und Zylinderkopf der Brennkraftmaschine begrenzt wird, eingespritzt. Damit in der Hochdruckspeichervorrichtung 8 entsprechend den über die einzelnen Einspritzleitungen wiederum entsprechend der Zündfolge der Brennkraftmaschine entnommener Kraftstoff zur Erreichung eines möglichst gleichmäßigen, nicht schwankenden Drucks nachgefördert wird, sind die Einspritznocken 2 in dem Ausführungsbeispiel mit jeweils drei Erhebungen versehen, so dass die Nockenwelle 1 bei einer vollständigen Umdrehung in dem Ausführungsbeispiel sechs mal die beiden Hochdruckpumpen 4 zu einer - sofern über das Niederdruckregelventil 6 Kraftstoff zugeführt wird - Nachförderung von Kraftstoff in die Hochdruckspeichervorrichtung 8 bewegt. Bei einer vierzylindrigen Brennkraftmaschine weisen die Nocken 2 dann jeweils zwei Erhebungen auf oder aber es ist nur eine Hochdruckpumpe 4 verbaut und der Nocken 2 weist vier Erhebungen auf.

**[0015]** Soll der in der Hochdruckspeichervorrichtung 8 herrschende Kraftstoffdruck verringert werden, was beispielsweise beim Übergang von Vollastbetrieb der Brennkraftmaschine hin zu Leerlaufbetrieb der Brennkraftmaschine gefordert wird, wird aus der Hochdruckspeichervorrichtung 8 gezielt Kraftstoff abgesteuert. Dazu ist an die Hochdruckspeichervorrichtung 8 eine Absteuerleitung 10 angeschlossen, in die ein Hochdruckregelventil 11 eingeschaltet ist. Parallel zu dem Hochdruckregelventil 11 ist ein Hochdrucküberdruckventil 12 eingeschaltet, das unabhängig von dem Schaltzustand des Hochdruckregelventils 11 bei Überschreiten eines (einstellbaren) Maximaldrucks unter Umgehung des Hochdruckregelventils 11 Kraftstoff absteuert. Das Niederdruckregelventil 6 und das Hochdruckregelventil 11 werden von einer in der Fig. 2 beschriebenen Regeleinrichtung 13 beherrscht. Die Regeleinrichtung 13 kann ein eigenständiges System oder aber auch Bestandteil einer Motorregeleinrichtung sein, die auch andere Einrichtungen wie beispielsweise die Steuerventile der Einspritzventile steuert.

**[0016]** Wie erwähnt zeigt Fig. 2 ein Schaltschema der hardwaremäßig umgesetzten Regeleinrichtung 13. In einem ersten Teilsystem Begrenzungen 14 sind die minimal und maximal darstellbaren Volumenströme des Niederdruckregelventils 6 HiLim\_MeUn, LoLim\_MeUn und des Hochdruckregelventils 11 HiLim\_PCV, LoLim\_PCV sowie ein aktueller Vorsteuerwert PreCtl zur Berechnung einer Stellgrößenbegrenzung eines PID-Reglers und einer I-Anteilsbegrenzung abgelegt. Entsprechende Eingangssignale werden mit diesen Grenzwerten verglichen und bei Überschreitung die entsprechenden eingehenden Signale auf die Maximalwerte begrenzt.

**[0017]** In einem weiteren nachfolgenden Teilsystem Regelrechner PIDT1 15 wird der benötigte Volumenstrom in Abhängigkeit der Regeldifferenz und der im Teilsystem Begrenzungen 14 bestimmten Systemgrenzen mit einem PIDT1-Algorithmus berechnet. Dieser berechnete Wert wird einem nachfolgenden Addiererelement 16 zu dem Vorsteuerwert PreCtl additiv hinzugefügt.

Ausgangsseitig aus dem Addiererelement 16 kann sich ein negativer Wert oder ein positiver Wert ergeben. Der negative Wert wird definitionsgemäß als ein über das Hochdruckregelventil 11 abzusteuernder Volumenstrom definiert, während der positive Wert als von dem Niederdruckregelventil 6 zuzusteuernder Volumenstrom definiert ist.

**[0018]** In den nachfolgenden Elementen wird die entsprechende Aufteilung und Zuweisung auf das Niederdruckregelventil 6 und das Hochdruckregelventil 11 vorgenommen. Dazu wird der Ausgangswert aus dem Addiererelement 16 einer Begrenzung-Niederdruckregelventil 17 zugeführt, die den positiven Anteil aus dem Ausgangssignal des Addiererelements 16 austretenden Signals herausfiltert und diesen positiven Anteil in den Grenzen 0 bis 1.000 normiert. Über ein Wandelsystem 18a wird der benötigte Strom zur Ansteuerung des Niederdruckregelventils 6 errechnet. Gleichzeitig wird das Ausgangssignal des Addiererelements 16 und das Ausgangssignal Begrenzung-Niederdruckregelventil 17 einem Addierer 19 zugeführt, der die Differenz aus diesen Signalen bestimmt. Dieses Signal wird einer Begrenzung-Hochdruckregelventil 20 zugeführt, die beispielsweise die normierten Grenzen -1000 bis 0 aufweist. Entsprechend folgt auf diese Begrenzung-Hochdruckregelventil 20 wiederum ein Wandelsystem 18b, das die entsprechenden Signale in die benötigten elektrischen Ströme zur Ansteuerung des Hochdruckregelventils 11 umsetzt.

**[0019]** Bezugszeichen

1	Nockenwelle
2	Einspritznocken
3	Rollenstößel
4	Hochdruckpumpe
5	Kraftstoff-Zuführleitung
6	Niederdruckregelventil
7	Hochdruckleitung
8	Hochdruckspeichervorrichtung
9	Einspritzleitung
10	Absteuerleitung
11	Hochdruckregelventil
12	Hochdrucküberdruckventil
13	Regeleinrichtung
14	Begrenzungen
15	Regelrechner PIDT1
16	Addiererelement
17	Begrenzung-Niederdruckregelventil
18a, 18b	Wandelsystem
19	Addierer
20	Begrenzung-Hochdruckregelventil

#### Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Kraftstoff-Einspritzsystem, das zumindest eine ungeregelte Hochdruckpumpe aufweist, in deren Kraftstoff-

Zuführleitung ein die Menge des der Hochdruckpumpe zugeführten Kraftstoffs einstellendes, von einer elektronischen Regeleinrichtung beherrschtes Niederdruckregelventil eingeschaltet ist, wobei die Hochdruckpumpe über eine Hochdruckleitung mit einer Hochdruckspeichervorrichtung und diese über zumindest eine Einspritzleitung sowie ein Steuerventil mit einem Einspritzventil verschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Hochdrucksystem ein von der Regeleinrichtung (13) beherrschtes, einen abzusteuernden Volumenstrom bestimmendes Hochdruckregelventil (11) eingeschaltet ist und dass das Niederdruckregelventil (6) und das Hochdruckregelventil (11) ohne Umschaltung zwischen Niederdruckregelung und Hochdruckregelung angesteuert sind.

2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Niederdruckregelventil (6) einen zusteuernden Volumenstrom bestimmt, der in der Regeleinrichtung (13) als positiver Volumenstrom definiert ist.

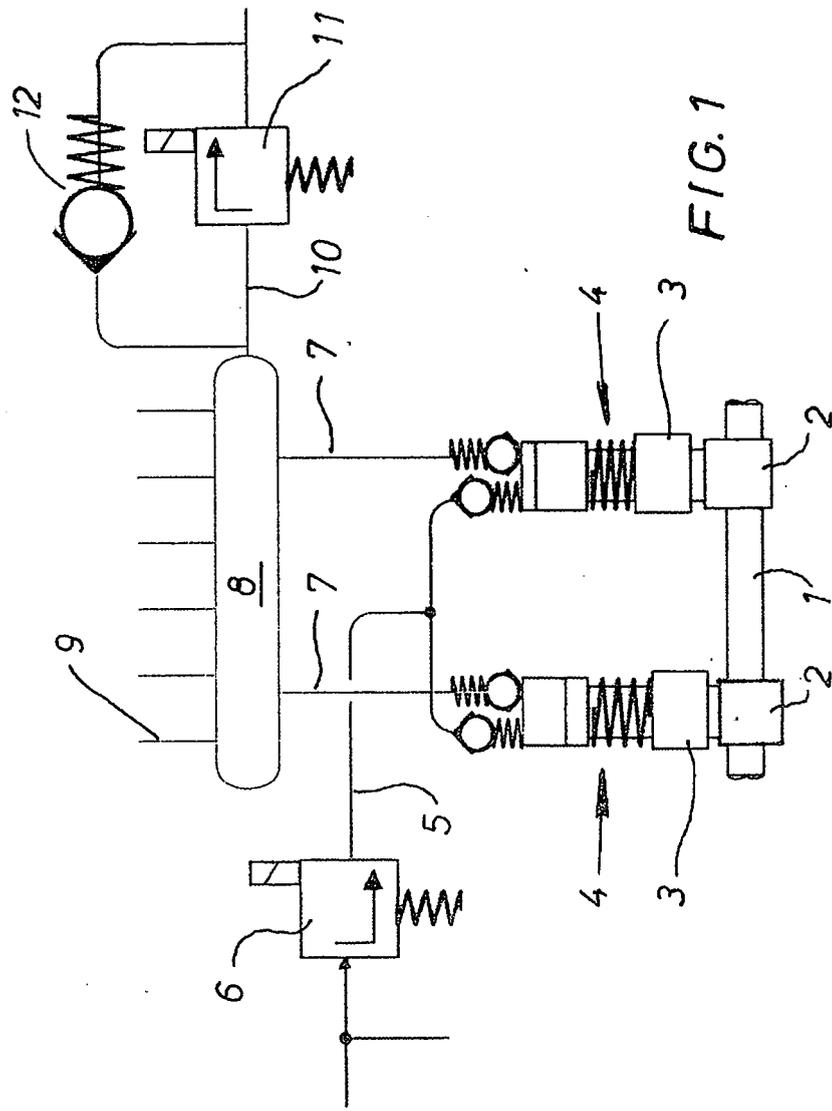
3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Hochdruckregelventil (11) einen absteuernden Volumenstrom bestimmt, der in der Regeleinrichtung (13) als negativer Volumenstrom definiert ist.

4. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Teilsystem Begrenzungen (14) der Regeleinrichtung (13), die minimal und maximal darstellbaren Volumenströme des Niederdruckregelventils (6) und des Hochdruckregelventils (11) sowie ein aktueller Vorsteuerwert zur Berechnung einer Stellgrößenbegrenzung eines PID-Reglers und der 1-Anteilbegrenzung abgelegt sind.

5. Brennkraftmaschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Teilsystem Regelrechner PIDT1 (15) der benötigte Volumenstrom (Stellgröße) in Abhängigkeit der Regeldifferenz ( $p_{Soll} - p_{Ist}$ ) und der im Teilsystem Begrenzungen (14) bestimmten Systemgrenzen mit einem PIDT1-Algorithmus berechnet wird, welcher zu einer Vorsteuerung additiv hinzugefügt wird.

6. Brennkraftmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der gewünschte Volumenstrom, soweit möglich, von dem Niederdruckregelventil (6) umgesetzt wird und, soweit dies nicht vollständig möglich ist, die Differenz aus dem gewünschten und dem mit dem Niederdruckregelventil (6) umgesetzten Volumenstrom mit dem Hochdruckregelventil (11) realisiert wird.

7. Brennkraftmaschine nach einem der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen Volumenströme in Wandelsystemen (18a, 18b) in die zur Ansteuerung des Niederdruckventils (6) und des Hochdruckregelventils (11) benötigten elektrischen Ströme umgerechnet werden. 5
8. Verfahren zur Regelung eines Common-Rail-Kraftstoff-Einspritzsystems einer Brennkraftmaschine, das zumindest eine unregulierte Hochdruckpumpe aufweist, in deren Kraftstoff-Zuführleitung ein die Menge des der Hochdruckpumpe zugeführten Kraftstoffs einstellendes, von einer elektronischen Regeleinrichtung beherrschtes Niederdruckregelventil eingeschaltet ist, wobei die Hochdruckpumpe über eine Hochdruckleitung mit einer Hochdruckspeichervorrichtung und diese über zumindest eine Einspritzleitung sowie ein Steuerventil mit einem Einspritzventil verschaltet ist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** in das Hochdrucksystem ein von der Regeleinrichtung (13) beherrschtes, einen abzusteuernden Volumenstrom bestimmendes Hochdruckregelventil (11) eingeschaltet ist und dass das Niederdruckregelventil (6) und das Hochdruckregelventil (11) ohne Umschaltung zwischen Niederdruckregelung und Hochdruckregelung angesteuert werden. 10 15 20 25
9. Verfahren zur Regelung des Common-Rail-Kraftstoff-Einspritzsystems nach Anspruch 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** das Niederdruckregelventil (6) einen zusteuernden Volumenstrom bestimmt, der in der Regeleinrichtung (13) als positiver Volumenstrom bestimmt wird. 30 35
10. Verfahren zur Regelung des Kraftstoff-Einspritzsystems nach Anspruch 8 oder 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** das Hochdruckregelventil (11) einen absteuernden Volumenstrom bestimmt, der in der Regeleinrichtung (13) als negativer Volumenstrom bestimmt wird. 40
11. Verfahren zur Regelung des Kraftstoff-Einspritzsystems nach einem der vorherigen Ansprüche 8 bis 10,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Teilsystem Begrenzungen (14) der Regeleinrichtung (13) die minimal und maximal darstellbaren Volumenströme des Niederdruckregelventils (6) und des Hochdruckregelventils (11) sowie ein aktueller Vorsteuerwert zur Berechnung einer Stellgrößenbegrenzung eines PID-Reglers und der I-Anteilbegrenzung abgelegt sind und in einem nachfolgenden Regelrechner (15) herangezogen werden. 45 50 55
12. Verfahren zur Regelung des Kraftstoff-Einspritzsystems nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Teilsystem Regelrechner (15) der benötigte Volumenstrom (Stellgröße) in Abhängigkeit der Regeldifferenz ( $p_{\text{Soll}} - p_{\text{Ist}}$ ) und der im Teilsystem Begrenzungen (14) bestimmten Systemgrenzen mit einem PIDT1-Algorithmus berechnet wird, welcher zu einer Vorsteuerung additiv hinzugefügt wird.
13. Verfahren zur Regelung des Kraftstoff-Einspritzsystems nach Anspruch 12,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der gewünschte Volumenstrom, soweit möglich, von dem Niederdruckregelventil (6) umgesetzt wird und, soweit dies nicht vollständig möglich ist, die Differenz aus dem gewünschten und dem mit dem Niederdruckregelventil umgesetzten Volumenstrom mit dem Hochdruckregelventil (11) realisiert wird.
14. Verfahren zur Regelung des Kraftstoff-Einspritzsystems nach einem der Ansprüche 8 bis 13,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen Volumenströme in Wandelsystemen (18a, 18b) in die zur Ansteuerung des Niederdruckventils (6) und des Hochdruckregelventils (11) benötigten elektrischen Ströme umgerechnet werden.



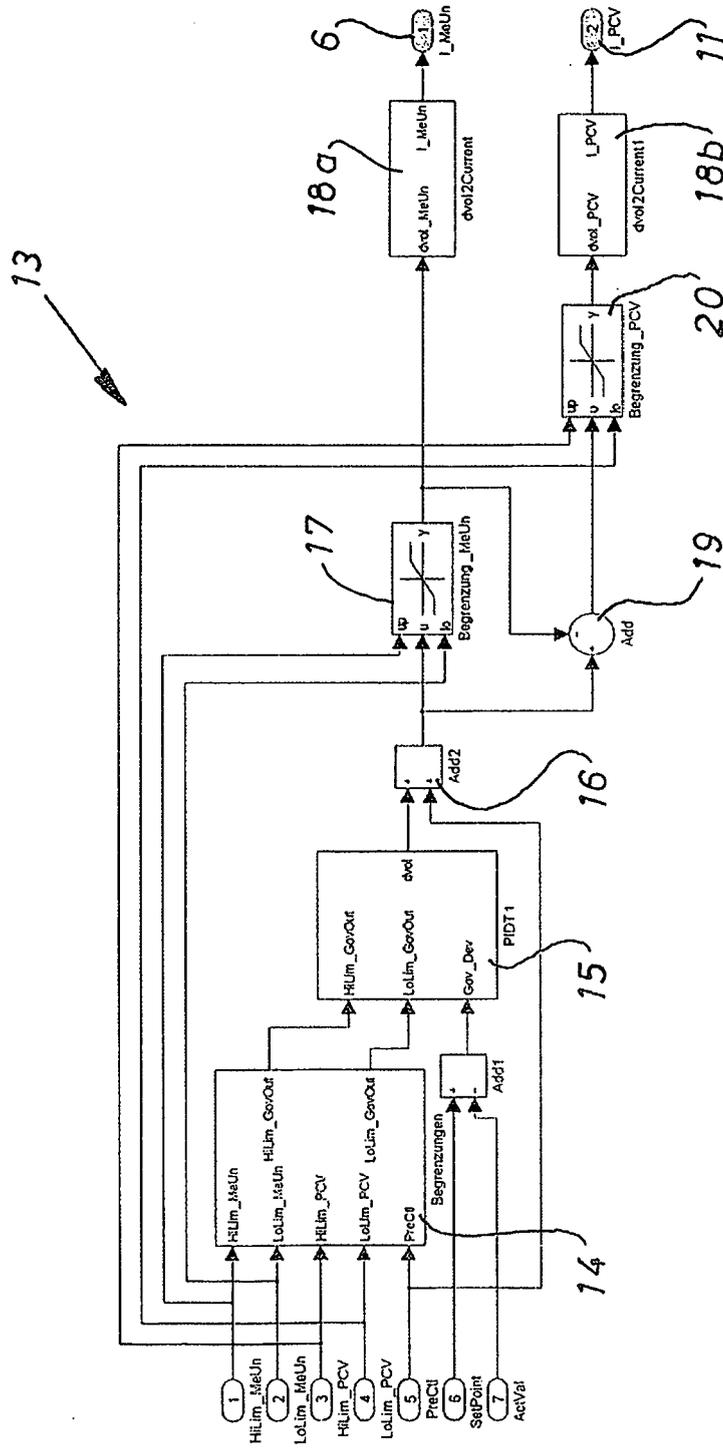


FIG. 2

**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**

- EP 1298316 B1 [0002]