



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 61 446 A1 2004.07.08

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 61 446.6

(22) Anmeldetag: 31.12.2002

(43) Offenlegungstag: 08.07.2004

(51) Int Cl.7: F02D 41/20  
F02D 41/38

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(74) Vertreter:

Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188  
Stuttgart

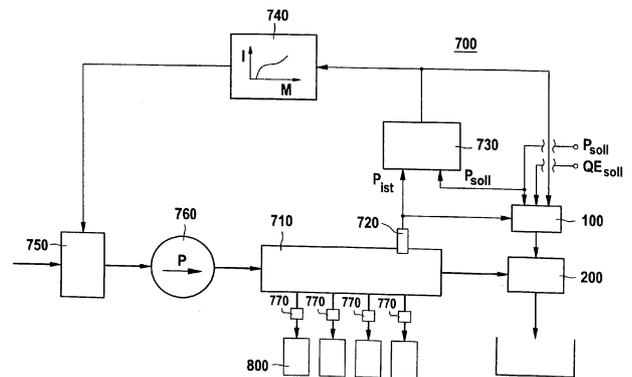
(72) Erfinder:

Ludwig, Thomas, 46569 Hünxe, DE; Kellner,  
Andreas, 71732 Tamm, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Ansteuern eines Druckregelventils in einem Kraftstoffeinspritzsystem einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren, ein Computerprogramm und eine Regelvorrichtung zum Ansteuern eines Druckregelventils (200) in einem Kraftstoffeinspritzsystem (700) einer Brennkraftmaschine. Das Verfahren umfasst die Schritte: Ermitteln eines vorläufigen Strom-Sollwertes mit Hilfe einer Nenn-P/I-Kennlinie von Druckregelventilen zum Ansteuern des Druckregelventils (200); Ermitteln einer Regelabweichung durch Vergleichen eines vorgegebenen Drucksollwertes für einen Kraftstoffspeicher (710) mit dem tatsächlichen Druck in dem Kraftstoffspeicher; Ermitteln eines Strom-Korrekturwertes nach Maßgabe durch die ermittelte Regelabweichung und Ermitteln eines korrigierten Strom-Sollwertes durch Korrigieren des vorläufigen Strom-Sollwertes um den Strom-Korrekturwert. Um eine derartige Anpassung des Strom-Sollwertes beziehungsweise eine derartige Adaption der P/I-Kennlinie auch bei nicht stationärem Betrieb der Brennkraftmaschine zu ermöglichen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, das Verfahren nur dann auszuführen, wenn die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand betrieben wird.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ansteuern eines Druckregelventils in einem Kraftstoffeinspritzsystem einer Brennkraftmaschine. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Computerprogramm und eine Regelvorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens und eine Brennkraftmaschine mit einer entsprechenden Regelvorrichtung.

### Stand der Technik

[0002] Die Erfindung bezieht sich auf ein bekanntes Kraftstoffeinspritzsystem, wie es in **Fig. 7** dargestellt ist und nachfolgend beschrieben wird.

[0003] Aus **Fig. 7** ist zu erkennen, dass das Kraftstoffeinspritzsystem **700** als zentralen Bestandteil einen Kraftstoffspeicher **710** aufweist. Der Druck in diesem Kraftstoffspeicher **710** wird von einem Drucksensor **720** als tatsächlicher Druck  $P_{\text{ist}}$  erfaßt und einem Druckregler **730** zugeführt. Der Druckregler **730** vergleicht den tatsächlichen Druck  $P_{\text{ist}}$  mit einem für den Kraftstoffspeicher **710** vorgegebenen Drucksollwert  $P_{\text{soll}}$ . Für den Fall einer festgestellten Regelabweichung zwischen den beiden Drücken stellt der Druckregler **730** an seinem Ausgang eine Stellgröße für die von einer Hochdruckpumpe **760** zu fördernde Kraftstoffmenge zur Verfügung. Diese Stellgröße wird mit Hilfe einer Berechnungseinrichtung **740** unter Bezugnahme auf eine Kennlinie in einen die Stellgröße repräsentierenden Strom umgewandelt. Dieser Strom dient als Eingangsgröße für eine Zumesseinheit **750**, welche als Kraftstoff-Drossel fungiert, indem sie die von der ihr nachgeschalteten Hochdruckpumpe **760** zu fördernde Kraftstoffmenge nach Maßgabe durch die Größe des ihr zugeführten Stromes einstellt. Der unter Druck in dem Kraftstoffspeicher **710** gespeicherte Kraftstoff wird über Einspritzventile **770** direkt in die Brennkammern **800** der Brennkraftmaschine eingespritzt.

[0004] Um einen eventuell zu großen Druck in dem Kraftstoffspeicher **710** gegebenenfalls schnell reduzieren zu können, ist dem Kraftstoffspeicher **710** ein Druckregelventil **200** nachgeschaltet. Über das Druckregelventil **200** wird Kraftstoff und damit auch Druck aus dem Kraftstoffspeicher abgelassen, wenn der tatsächliche Druck  $P_{\text{ist}}$  in dem Kraftstoffspeicher größer als der vorgegebene Drucksollwert  $P_{\text{soll}}$  ist. Zu diesem Zweck wird das Druckregelventil **200** mit einem den Solldruck repräsentierenden Strom angesteuert. Dieser Strom wird von einer Regelvorrichtung **100** bereitgestellt. Wenn auch der Strom geregelt wird, so ist das Druckregelventil **200** dennoch nicht Bestandteil eines Regelkreises, weil seine Ausgangsgröße nicht rückgekoppelt wird.

[0005] Genauer gesagt umfasst das traditionelle Verfahren zur Ansteuerung des Druckregelventils mit einem von der Regelvorrichtung bereitgestellten Strom folgende Schritte:

a) Vorgeben eines Drucksollwertes für einen Kraft-

stoffspeicher **710** des Einspritzsystems;

b) Ermitteln eines vorläufigen Strom-Sollwertes zum Ansteuern des Druckregelventils **200**, damit dieses einen Druck von mindestens dem Drucksollwert sicher sperrt, mit Hilfe einer Nenn-P/I-Kennlinie von Druckregelventilen;

c) Ermitteln einer Regelabweichung durch Vergleichen des Drucksollwertes mit dem tatsächlichen Druck in dem Kraftstoffspeicher;

d) Ermitteln eines Strom-Korrekturwertes zur Anpassung des vorläufigen Stromwertes an das tatsächlich verwendete Druckregelventil nach Maßgabe durch die Regelabweichung; und

e) Ermitteln eines korrigierten Strom-Sollwertes zur Ansteuerung des tatsächlich verwendeten Druckregelventils **200** durch Korrigieren des vorläufigen Strom-Sollwertes um den Strom-Korrekturwert.

[0006] Anders ausgedrückt, durch das beschriebene Verfahren der Korrektur des Stromes zur Ansteuerung des Druckregelventils **200** wird praktisch eine Adaption der zunächst vorgegebenen Nenn-Druck/Strom P/I-Kennlinie, die das Verhalten von Druckregelventilen im allgemeinen, insbesondere von Ventilen einer Produktionscharge repräsentiert, an das Verhalten des tatsächlich verwendeten Druckregelventils **200** vorgenommen.

[0007] Ein derartiges Verfahren sowie das eingangs erwähnte Computerprogramm, die erwähnte Regelvorrichtung und die erwähnte Brennkraftmaschine sind aus der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 101 31 507.4 bekannt.

[0008] Das dort und oben beschriebene Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass es für die beanspruchte Adaption der Kennlinie des Druckregelventils zwei stationäre Betriebspunkte benötigt; denn nur mit mindestens zwei Punkten lässt sich eine Interpolation einer Kennlinie durchführen. Zwei geeignete Betriebspunkte wären zum Beispiel der Leerlauf und eine Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit auf der Autobahn. Diese beiden Betriebszustände müssen über eine gewisse Zeit aufrechterhalten werden. Während ein Leerlaufbetrieb bei fast jeder Fahrt im Alltag mindestens einmal erreicht wird, ist dies für eine Fahrt mit konstanter hoher Geschwindigkeit nur eher selten der Fall. Insbesondere während kurzer Stadtfahrten schwankt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs in der Regel zu stark, als das eine genaue Bestimmung von Punkten auf der Kennlinie möglich wäre. Deshalb werden im Alltagsbetrieb die für die Kennlinienadaption erforderlichen mindestens zwei stationären Betriebszustände der Brennkraftmaschine so gut wie nie erreicht. Dies hat zur Folge, dass das in besagter Anmeldung beschriebene Verfahren im alltäglichen Betrieb eines Kraftfahrzeugs nicht angewendet werden kann.

### Aufgabenstellung

[0009] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Ansteuern eines Druckregelventils in einem Kraftstoffeinspritzsystem einer Brennkraftmaschine, ein Computerprogramm und eine Regelvorrichtung zum Durchführen des Verfahrens sowie eine Brennkraftmaschine mit einer derartigen Regelvorrichtung derart weiterzubilden, dass das beschriebene Verfahren auch während eines Betriebs des Kraftfahrzeugs ohne stationäre Betriebszustände angewendet werden kann.

[0010] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1 dadurch gelöst, dass das bekannte Verfahren nur dann ausgeführt wird, wenn die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand betrieben wird.

### Vorteile der Erfindung

[0011] Ein Schub-Zustand liegt bei einer Brennkraftmaschine dann vor, wenn kein Kraftstoff in die Brennkammern der Brennkraftmaschine eingespritzt wird. Eine Nenn-Druck/Strom P/I-Kennlinie im Sinne dieser Erfindung beschreibt eine aus allen P/I-Kennlinien einer Charge von produzierten Druckregelventilen gemittelte Kennlinie oder aber die Kennlinie desjenigen Druckregelventils aus der Charge, welches bei einem bestimmten eingespeisten Strom nur bis zu dem geringsten Druck oder den maximalen Druck – im Vergleich zu allen anderen Druckregelventilen aus derselben Charge – sperrt.

[0012] Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist es vorteilhaft, dass das Verfahren nur dann ausgeführt wird, wenn nicht nur der Schub-Zustand eingesetzt hat, sondern wenn zusätzlich auch die von einem Druckregler für die Hochdruckpumpe der Brennkraftmaschine vorgegebene Kraftstofffördermenge kleiner gleich einem vorgegebenen Schwellenwert  $q_{\min}$  ist.

[0013] Weiterhin ist es von Vorteil, dass die Ausführung des Verfahrens dann abgebrochen wird, wenn der Schub-Zustand der Brennkraftmaschine beendet wird oder die vorgegebene Kraftstoff-Fördermenge größer als der Schwellenwert  $q_{\min}$  ist.

[0014] Es ist vorteilhaft, den aus der Regelabweichung abgeleiteten Anpassungsfaktor zur Berechnung des Strom-Korrekturwertes nach Maßgabe durch die Größe der Streuung des von dem Druckregelventil zu sperrenden Druckes zu gewichten, weil diese Streuung mit zunehmender Größe des in das Druckregelventil eingespeisten Stromes wächst.

[0015] Es ist weiterhin vorteilhaft, den im Rahmen einer durchgeführten Anpassung der P/I-Kennlinie an das Verhalten des tatsächlich verwendeten Druckregelventils ermittelten Anpassungsfaktor oder Strom-Korrekturwert zu speichern, damit eine nachfolgende Durchführung des Verfahrens mit dem gespeicherten Anpassungsfaktor oder Strom-Korrektur-

wert als Startwert beginnen kann. Auf diese Weise wird iterativ eine verbesserte Ansteuerung des tatsächlich verwendeten Druckregelventils erreicht.

[0016] Eine weitere Verbesserung des Verfahrens wird durch die Berücksichtigung eines Offset-Wertes bei dem vorgegebenen Drucksollwert erreicht. Durch die Berücksichtigung des Offset-Wertes wird sichergestellt, dass das Druckregelventil bei einem bestimmten eingespeisten Strom einen bestimmten Druck auf jeden Fall sicher sperrt.

[0017] Es ist von Vorteil, das beschriebene Verfahren während eines Betriebs der Brennkraftmaschine kontinuierlich iterativ zu wiederholen, um damit eine stetig verbesserte Ansteuerung des Druckregelventils zu erreichen. Weiterhin ist es vorteilhaft, dieses Verfahren während der gesamten Lebens- bzw. Einsatzdauer des Druckregelventils zu wiederholen, weil dessen Druck/Strom-Kennlinie während seiner Lebensdauer driftet.

[0018] Die oben beschriebene Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Computerprogramm nach Anspruch 8, durch eine Regelvorrichtung nach Anspruch 10 sowie durch eine Brennkraftmaschine nach Anspruch 17 gelöst. Die Vorteile des Computerprogramms, der Regelvorrichtung und der Brennkraftmaschine entsprechen den oben mit Bezug auf das beanspruchte Verfahren beschriebenen Vorteilen. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

### Ausführungsbeispiel

[0019] Es folgt nun eine detaillierte Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren, wobei

[0020] **Fig. 1a** das Kraftstoffeinspritzsystem gemäß der Erfindung;

[0021] **Fig. 1b** das Verfahren und den Aufbau der Regelvorrichtung gemäß der Erfindung;

[0022] **Fig. 2** Nenn-P/I-Kennlinien eines Druckregelventils;

[0023] **Fig. 3** die Ansteuerung von Druckregelventilen unterschiedlicher Güte während des Schubbetriebs der Brennkraftmaschine vor Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0024] **Fig. 4** die Ansteuerung von Druckregelventilen unterschiedlicher Güte während des Schubbetriebs bei einer ersten Anwendung des beanspruchten Verfahrens;

[0025] **Fig. 5** die Ansteuerung der Druckregelventile unterschiedlicher Güte während des Schubbetriebs der Brennkraftmaschine nach der ersten Lernphase;

[0026] **Fig. 6** eine durch das erfindungsgemäße Verfahren angepasste P/I-Kennlinie des Druckregelventils für unterschiedliche von dem Druckregelventil für eine Hochdruckpumpe vorgegebene Kraftstofffördermengen; und

[0027] **Fig. 7** ein Kraftstoffeinspritzsystem gemäß dem Stand der Technik zeigt.

## Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0028] **Fig. 1a** zeigt ein Kraftstoffeinspritzsystem **700** gemäß der Erfindung. Dessen prinzipieller Aufbau und prinzipielle Funktionsweise wurden bereits oben einleitend unter Bezugnahme auf **Fig. 7** näher erläutert. Gleiche Bauteile der Kraftstoffeinspritzsysteme in den **Fig. 1a** und **7** sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

[0029] Der wesentliche Unterschied zwischen dem erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzsystem gemäß **Fig. 1a** und dem bekannten System gemäß **Fig. 7** besteht darin, dass bei dem erfindungsgemäßen System die von dem Druckregler **730** für die Hochdruckpumpe **760** vorgegebene Kraftstoff-Fördermenge  $q_{ZME}$  und die von der Motorsteuerung (hier nicht gezeigt) vorgegebene Einspritzmenge  $QE$ , beide in Form von Sollwerten, der Regeleinrichtung **100** zugeführt und von dieser ausgewertet werden. Erfindungsgemäß berücksichtigt die Regeleinrichtung **100** diese beiden Soll-Mengen für die Regelung des Stromes zur Ansteuerung des Druckregelventils **200**, wie nachfolgend detailliert beschrieben wird.

[0030] **Fig. 1b** veranschaulicht unter gelegentlicher Bezugnahme auf **Fig. 1a** den Aufbau und die Funktionsweise der Regelvorrichtung **100** gemäß der Erfindung. Demnach wird zunächst ein Drucksollwert für einen Kraftstoffspeicher **710** eines Kraftstoffeinspritzsystems **700** einer Brennkraftmaschine vorgegeben. Es wird dann mit Hilfe einer ersten Berechnungseinheit **110** ein vorläufiger Strom-Sollwert zur Ansteuerung des tatsächlich verwendeten Druckregelventils **200** berechnet, damit das Druckregelventil den vorgegebenen Drucksollwert sicher sperrt. Die Berechnung erfolgt unter Zuhilfenahme einer in einer ersten Speichereinrichtung (nicht gezeigt) hinterlegten Nenn-Druck/Strom P/I-Kennlinie von Druckregelventilen des gleichen Typs wie das tatsächlich verwendete Druckregelventil **200**.

[0031] **Fig. 2** zeigt verschiedene Beispiele für eine derartige Nenn-P/I-Kennlinie. Alle drei dort gezeigten Kennlinien sind vorzugsweise aus einer Produktionscharge von Druckregelventilen ermittelt worden. So zeigt eine erste, mit "minimaler Sperrdruck" bezeichnete Kennlinie das Verhalten desjenigen Druckregelventils aus der Charge, welches – im Vergleich zu allen anderen Druckregelventilen derselben Charge – bei einem eingespeisten Strom nur den kleinsten, das heißt minimalen Druck sicher sperrt. Demgegenüber repräsentiert die mit "durchschnittlicher Sperrdruck" bezeichnete Kennlinie eine aus den Kennlinien aller Druckregelventile der Produktionscharge statistisch gemittelte P/I-Kennlinie. Schließlich bezeichnet die mit „maximaler Sperrdruck“ bezeichnete Kennlinie das Verhalten desjenigen Druckregelventils der Charge, welches bei einem gleichen eingespeisten Strom den im Vergleich zu allen anderen Druckregelventilen derselben Produktionscharge maximalen Druck sicher sperrt.

[0032] Eine Nenn-P/I-Kennlinie wie in **Fig. 2** gezeigt

repräsentiert das Verhalten eines tatsächlich in einer Brennkraftmaschine verwendeten Druckregelventils nur unzureichend, weil dessen Verhalten aufgrund von Fertigungstoleranzen mehr oder weniger stark von dem durch die Nenn-P/I-Kennlinie repräsentierten Verhalten abweichen kann. Für eine präzise Ansteuerung des Druckregelventils ist es deshalb erforderlich, eine bekannte Nenn-P/I-Kennlinie an das Verhalten des tatsächlich verwendeten Druckregelventils **200** anzupassen. Erfindungsgemäß geschieht dies, wie nachfolgend erläutert wird, während des normalen Betriebs der Brennkraftmaschine in einem Kraftfahrzeug.

[0033] Gemäß **Fig. 1b** ist deshalb in der Regelvorrichtung **100** eine erste Subtrahiereinrichtung **120** vorgesehen, mit deren Hilfe eine Regelabweichung ermittelt wird, welche die Differenz zwischen dem tatsächlichen Druck in dem Kraftstoffspeicher und dem vorgegebenen Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher repräsentiert. Der ersten Subtrahiereinrichtung nachgeschaltet ist beispielsweise ein Glättungsfilter **130** und eine Integrationseinrichtung **140**, um aus der Regelabweichung einen Anpassungsfaktor zu errechnen.

[0034] Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Regelvorrichtung **100** wird dieser Anpassungsfaktor bereits unmittelbar für eine Korrektur des vorläufigen Strom-Sollwertes verwendet. Dies setzt allerdings einen linearen Zusammenhang zwischen dem Gewichtungsfaktor  $G$  und  $P$  voraus. In diesem Fall kann die Korrektur des vorläufigen Strom-Sollwertes dadurch erfolgen, dass dieser einfach mit dem Anpassungsfaktor multipliziert wird. Die dritte Berechnungseinrichtung **160** sowie die zweite Subtrahiereinrichtung **150** sind dann entbehrlich; letztere wird durch die Multiplikationseinrichtung **170** ersetzt, die dann den vorläufigen Strom-Sollwert und den Anpassungsfaktor als miteinander zu multiplizierende Faktoren an ihren Eingängen empfängt. Am Ausgang der Multiplikationseinrichtung wird dann der durch Multiplikation der beiden Faktoren berechnete korrigierte Strom-Sollwert zur Ansteuerung des Druckregelventils **200** ausgegeben. Dieser korrigierte Strom-Sollwert ist im Vergleich zu dem vorläufigen Strom-Sollwert besser an das Verhalten des tatsächlich verwendeten Druckregelventils angepasst und führt bei seiner Einspeisung in das Druckregelventil in erster Näherung schon zu einer recht präzisen Realisierung des vorgegebenen Drucksollwertes für den Kraftstoffspeicher **710**.

[0035] Gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel kann der zuvor berechnete Strom-Korrekturwert dadurch weiter präzisiert werden, dass der Anpassungsfaktor, der zu seiner Berechnung diente, gewichtet wird. Diese Gewichtung erfolgt vorzugsweise nach Maßgabe durch den vorgegebenen Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher **710** und einen in Abhängigkeit von diesem Drucksollwert zu bestimmenden Gewichtungsfaktor, wobei die Größe dieses Gewichtungsfaktors einer in einer zweiten Speicherein-

richtung (nicht gezeigt) der Regelvorrichtung **100** hinterlegten Gewichtungskurve entnommen werden kann. Durch den Gewichtungsfaktor wird berücksichtigt, dass die Größe des von einem Druckregelventil gesperrten Druckes in verschiedenen Betriebszuständen, das heißt insbesondere in Abhängigkeit der Größe des gewünschten Sperrdruckes, streut. In einer dritten Berechnungseinrichtung **160** wird der Gewichtungsfaktor mit Hilfe der hinterlegten Gewichtungskurve aus dem vorgegebenen Drucksollwert berechnet, um nachfolgend mit Hilfe einer Multiplikationseinrichtung **170** mit dem Anpassungsfaktor zu dem verbesserten Strom-Korrekturwert multipliziert zu werden.

[0036] Gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst der vorgegebene Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher einen Offset-Wert. Dieser Offset-Wert wird mit Hilfe einer Additionseinrichtung **180** zu einem ursprünglichen Drucksollwert hinzuaddiert. Der Offsetwert stellt sicher, dass das tatsächlich verwendete Druckregelventil **200** bei einem eingespeisten Strom-Sollwert den ursprünglichen Drucksollwert auf jeden Fall sicher sperrt.

[0037] Für alle soeben beschriebenen Ausführungsbeispiele der Regelvorrichtung **100** ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass sie nur bei einem Schub-Betrieb der Brennkraftmaschine zur Anwendung kommen, das heißt, dass sie nur bei diesem Betriebszustand zur Berechnung des korrigierten Strom-Sollwertes eingesetzt werden. Dies wird erfindungsgemäß durch eine Schuberkennungseinrichtung **300** sichergestellt, welche die Berechnung des korrigierten Strom-Sollwertes mit Hilfe der beanspruchten Regelvorrichtung **100** insbesondere dann unterbricht, wenn kein Schub-Betrieb vorliegt. Für die Unterbrechung des Verfahrens beziehungsweise der Berechnung steuert die Schuberkennungseinrichtung **300** eine Schalteinrichtung **190** entsprechend an. Diese Schalteinrichtung **190** besteht aus einer Vielzahl von Schaltelementen **190-1**, **190-2** und **190-3**, die an verschiedenen Stellen innerhalb der Regeleinrichtung **100** angeordnet sind. So befindet sich ein solches Schaltelement **190-1** vorzugsweise an dem Offset-Eingang der Additionseinrichtung **180**, um gegebenenfalls die Hinzuschaltung des Offset-Wertes zu unterbinden. Weiterhin kann ein solches Schaltelement **190-2** vor dem Glättungsfilter **130** vorgesehen sein, um das Aufschalten der Regeleinrichtung auf das Glättungsfilter zu verhindern. Weiterhin kann ein solches Schaltelement **190-3** zwischen dem Glättungsfilter **130** und der Integrationseinrichtung **140** vorgesehen sein.

[0038] Die Schuberkennungseinrichtung **300** leitet das erfindungsgemäße Verfahren zur Kennlinienadaptation durch Ansteuern der Schaltelemente **190** dann ein, wenn ein Schub-Zustand der Brennkraftmaschine vorliegt, d.h. wenn die in die Brennkammern der Brennkraftmaschine eingespritzte Kraftstoffmenge gleich null ist und wenn die von der Zummessungseinheit **750** für eine Hochdruckpumpe der

Brennkraftmaschine vorgegebene Kraftstoff-Sollfördermenge kleiner gleich einem vorgegebenen Schwellenwert  $q_{\min}$  ist. Die zuletzt genannte Bedingung stellt sicher, dass der in **Fig. 1a** gezeigte Regelkreis bestehend aus Kraftstoffspeicher **710**, Drucksensor **720**, Druckregler **730**, Berechnungseinrichtung **740**, Zummessungseinheit **750** und Hochdruckpumpe **760** nicht aktiv ist, d.h. dass eine konstante kleine oder keine Fördermenge eingestellt ist.

[0039] In **Fig. 3** ist der Zusammenhang zwischen Kraftstoff-Fördermenge und Schub-Betrieb der Brennkraftmaschine mit Hilfe der unteren Kennlinie im Diagramm graphisch veranschaulicht. Im linken Teil des Diagramms ist zu erkennen, dass bei einem Übergang der Brennkraftmaschine von einem Lastbetrieb in den Schubbetrieb die Menge des von der Hochdruckpumpe **760** zu fördernden Kraftstoffs deutlich abfällt und dass umgekehrt, bei einer erneuten Aufnahme eines Last-Betriebs, ausgehend von einem vorherigen Schub-Betrieb der Brennkraftmaschine, die Kraftstofffördermenge wieder steigt.

[0040] Im oberen Teil von **Fig. 3** ist zu erkennen, dass bei einem Übergang von einem Last- in einen Schubbetrieb auch der erwartete Drucksollwert für das tatsächlich verwendete Druckregelventil und der tatsächliche Druck im Kraftstoffspeicher **710** sowie der Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher zunächst sehr stark und dann während des Schub-Betriebes nur relativ langsam abfallen. Um jedoch sicherzustellen, dass der vorgegebene Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher von dem tatsächlich verwendeten Druckregelventil **200** in jedem Fall gesperrt wird, werden tatsächlich nur Druckregelventile aus einer Produktionscharge verwendet, deren P/I-Kennlinien in jedem Fall über der Kennlinie für den Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher liegen. Genauer gesagt müssen nicht nur die Kennlinien "maximaler Sperrdruck" und "durchschnittlicher Sperrdruck" (Erläuterung siehe oben zu **Fig. 2**), sondern auch die Kennlinie für das Druckregelventil der Charge mit dem geringsten Sperrdruck „minimaler Sperrdruck“ oberhalb der Drucksollwert-Kennlinie für den Kraftstoffspeicher liegen. Um dies in jedem Fall sicherzustellen, wurde bisher, das heißt ohne Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, ein ausreichend großer Offsetwert zwischen dem Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher und dem Druckverlauf für das Druckregelventil mit dem minimalen Sperrdruck vorgesehen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass wenn als tatsächlich verwendetes Druckregelventil das Druckregelventil mit minimalem Sperrdruck aus der Produktionscharge eingesetzt wird, der vorgegebene Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher sicher gesperrt wird. Bei Verwendung eines anderen Druckregelventils aus derselben Charge mit besserer Güte wird dieses Kriterium nicht nur ebenfalls erfüllt, sondern insofern sogar übertroffen, weil dann auch größere Drücke als der vorgegebene Drucksollwert gesperrt werden, wie dies durch die beiden nahezu parallelen Linien in **Fig. 3** – "durchschnittlicher Sperr-

druck", "maximaler Sperrdruck" – veranschaulicht ist. [0041] Weiterhin ist zu erkennen, dass die vorgegebene Kraftstoff-Fördermenge für die Hochdruckpumpe im Schubbetrieb deutlich absinkt.

[0042] **Fig. 4** veranschaulicht die Auswirkungen einer ersten Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf den Druckabfall im Schubbetrieb der Brennkraftmaschine. Im oberen Teil von **Fig. 4** ist zunächst zu erkennen, dass der Offset zwischen der Linie für den minimalen Sperrdruck und der Linie für den Drucksollwert des Kraftstoffspeichers entfällt, das heißt, dass diese beiden Linien zusammengefallen sind. Gleichzeitig rücken die unterschiedlichen Kennlinien für minimalen, durchschnittlichen und maximalen Sperrdruck insbesondere bei längerem Andauern des Schubbetriebs enger zusammen. Die Fördermenge der Hochdruckpumpe **760** bleibt im Schubbetrieb größer Null, aber unter einer vorgegebenen Schwelle  $q_{\min}$ . Dadurch ist sichergestellt, dass das Druckregelventil den Druck einstellt und nicht irgendwelche Leckagen.

[0043] Im unteren Teil von **Fig. 4** ist die Berechnung des Anpassungsfaktors gemäß der vorliegenden Erfindung für Druckregelventile mit unterschiedlichem Sperrdruck dargestellt. Im linken Teil des unteren Diagramms ist zunächst zu erkennen, dass bei Lastbetrieb, das heißt vor Einsetzen des Schubbetriebs, das erfindungsgemäße Verfahren nicht einsetzt, und dementsprechend auch keine Anpassung des Anpassungsfaktors erfolgt; er bleibt null. Erst mit Einsetzen des Schub-Betriebs wird durch das dann einsetzende erfindungsgemäße Verfahren eine Regelabweichung zwischen dem tatsächlichen Druck im Kraftstoffspeicher **710** und dem Drucksollwert festgestellt. Die festgestellte Regelabweichung ist naturgemäß je nach tatsächlich verwendetem Druckregelventil unterschiedlich: Sie ist besonders groß, wenn als Druckregelventil das Druckregelventil mit maximalem Sperrdruck verwendet wird. Sie ist durchschnittlich bei Verwendung des Druckregelventils mit durchschnittlichem Sperrdruck und sie ist minimal, in **Fig. 4** sogar null, bei Verwendung eines Druckregelventils mit minimalem Sperrdruck. Aufgrund der verwendeten Integrationseinrichtung **140** bewirkt eine große Regelabweichung einen starken Anstieg und eine kleine Regelabweichung nur einen geringen zeitlichen Anstieg des Anpassungsfaktors, wie dies im unteren Teil von **Fig. 4** dargestellt ist. Dem Diagramm dort ist ebenfalls zu entnehmen, dass der Anstieg des Anpassungsfaktors im Laufe der Zeit während des Schubbetriebs zunehmend geringer wird, weil dann zunehmend auch die Regelabweichungen geringer werden. Die individuellen Anpassungsfaktoren für die Druckregelventile unterschiedlicher Güte sind der Grund für den oben beschriebenen Effekt, dass die Druckkurven, wie im oberen Teil von **Fig. 4** gezeigt, während der Zeitdauer des Schubbetriebs enger zusammenrücken.

[0044] **Fig. 5** veranschaulicht die Auswirkungen einer iterativen Wiederholung der Anwendung des er-

findungsgemäßen Verfahrens. Im Unterschied zu **Fig. 4** ist hier im linken Bereich, das heißt bei Lastbetrieb der Brennkraftmaschine, der Anpassungsfaktor auf einen solchen Wert  $\neq 0$  voreingestellt, wie er bei zuvor durchgeführten Durchläufen des Verfahrens ermittelt und in der Integrationseinrichtung **140** gehalten wurde. Bei Abschalten des Steuergerätes wird der Anpassungsfaktor in einem Speicher **195** gespeichert und nach dem Wiedereinschalten des Steuergerätes wird dieser gespeicherte Anpassungsfaktor in einen Initialisierungseingang der Integrationseinrichtung **140** geschrieben.

[0045] Aufgrund der durchgeführten Initialisierung mit einem Startwert  $\neq 0$  oder des in der Integrationseinrichtung **140** gehaltenen Wertes sind in **Fig. 5** auch schon zu Beginn des Schubbetriebs die Kurven für die Drücke der Druckregelventile von unterschiedlicher Güte bereits so eng zusammengefasst, wie sie am Ende des ersten Schubbetriebs gemäß **Fig. 3** waren. Eine nochmalige Wiederholung des Verfahrens führt zu einer noch weiteren Verbesserung des Anpassungsfaktors, bis schließlich alle drei genannten Kurven im Optimalfall zusammenfallen würden. Dann ist der Anpassungsfaktor für das Druckregelventil mit dem minimalen Sperrdruck **0**, weil dessen Druckverlauf dann exakt dem vorgegebenen Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher entspricht.

[0046] Durch die durch das erfindungsgemäße Verfahren verbesserte Ansteuerung des Druckregelventils wird eine verbesserte Druckregelqualität bei Schubphasen und Übergängen Last/Schub und Schub/Last erzielt.

[0047] **Fig. 6** zeigt schließlich das simulierte Ergebnis einer häufigen Wiederholung des beanspruchten Verfahrens. Es ist zu erkennen, dass die P/I-Kennlinien für Druckregelventile unterschiedlicher Güte einer Charge enger zusammenrücken. Das heißt, für einen gewünschten Soll-Strom ist die Streuung der Drücke bei unterschiedlichen Druckregelventilen einer Charge wesentlich geringer als ohne die Anwendung des Verfahrens, das die eingespeisten Sollströme korrigiert. Falls Kennlinien in Abhängigkeit der Lebens- bzw. Einsatzdauer driften, kann die Auswirkung derartiger unerwünschter Driften auf die P/I-Kennlinie dadurch entgegengewirkt werden, dass das beanspruchte Verfahren immer wieder während der Einsatz- bzw. der Lebensdauer der Druckregelventile wiederholt wird.

[0048] Das oben beschriebene Verfahren zur Ansteuerung eines Druckregelventils kann sowohl in Form einer elektronischen Hardwareschaltung, wie auch in Form einer Software realisiert werden. Im Falle einer Software-Realisierung bedeutet dies, dass ein Computerprogramm mit einer Folge von Befehlen, das heißt einem Programmcode generiert werden muss, wobei die Befehle letztendlich die in **Fig. 1b** dargestellten Funktionen durchführen müssen.

[0049] Die Regelvorrichtung umfasst dann entweder die Hardwareschaltung oder die Software oder

ein Kombination von beidem, um das beanspruchte Verfahren zur Ansteuerung eines Druckregelventils auszuführen. Im Falle einer Software-Realisierung ist es möglich, das der Fig. 1b entsprechende Computerprogramm gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen zur Steuerung und/oder Regelung des Kraftstoffeinspritzsystems auf einem computerlesbaren Datenträger abzuspeichern. Dabei kann es sich um eine Diskette, eine Compact-Disk (sogenannte CD), einen sogenannten Flash-Memory oder dergleichen handeln. Die auf dem Datenträger abgespeicherte Software kann dann als Produkt an einen Kunden verkauft werden. [0050] Im Falle einer Software-Realisierung ist es weiterhin möglich, das der Fig. 1b entsprechende Computerprogramm gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen zur Steuerung und/oder Regelung des Kraftstoff-Einspritzsystems **700** – ohne die Zuhilfenahme eines elektronischen Speichermediums – über ein elektronisches Kommunikationsnetzwerk als Produkt an einen Kunden zu übertragen und auf diese Weise zu verkaufen. Bei dem Kommunikationsnetzwerk kann es sich insbesondere um das Internet handeln.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines Druckregelventils (**200**) in einem Kraftstoffeinspritzsystem (**700**) einer Brennkraftmaschine, umfassend die folgenden Schritte:

- a) Vorgeben eines Drucksollwertes für einen Kraftstoffspeicher (**710**) des Einspritzsystems (**700**);
- b) Ermitteln eines vorläufigen Strom-Sollwertes zum Ansteuern des Druckregelventils (**200**), damit dieses einen Druck in dem Kraftstoffspeicher (**710**) von mindestens dem Drucksollwert sicher sperrt, mit Hilfe einer Nenn-P/I-Kennlinie von Druckregelventilen;
- c) Ermitteln einer Regelabweichung durch Vergleichen des Drucksollwertes mit dem tatsächlichen Druck in dem Kraftstoffspeicher (**710**);
- d) Ermitteln eines Strom-Korrekturwertes zur Anpassung des vorläufigen Strom-Sollwertes an das tatsächlich verwendete Druckregelventil (**200**) nach Maßgabe durch die Regelabweichung; und
- e) Ermitteln eines korrigierten Strom-Sollwertes zur Ansteuerung des tatsächlich verwendeten Druckregelventils (**200**) durch Korrigieren des vorläufigen Strom-Sollwertes um den Strom-Korrekturwert;

**dadurch gekennzeichnet**, dass

das Verfahren nur dann ausgeführt wird, wenn die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand betrieben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausführung des Verfahrens dann einsetzt, wenn kein Kraftstoff die in die Brennkammern (**800**) der Brennkraftmaschine eingespritzt wird und von einem Druckregler (**730**) eine Kraftstoff-Fördermenge für eine Hochdruckpumpe (**710**) der

Brennkraftmaschine vorgegeben wird, die kleiner gleich einem vorgegebenen Schwellenwert ( $q_{\min}$ ) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausführung des Verfahrens dann abgebrochen wird, sobald wieder Kraftstoff in die Brennkammern (**800**) der Brennkraftmaschine eingespritzt wird oder von dem Druckregler (**730**) eine Kraftstofffördermenge für die Hochdruckpumpe (**760**) vorgegeben wird, die größer als der Schwellenwert ( $q_{\min}$ ) ist.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom-Korrekturwert ermittelt wird durch Gewichten eines aus der Regelabweichung abgeleiteten Anpassungsfaktors nach Maßgabe durch die Größe der Streuung des von dem Druckregelventil (**200**) zu sperrenden Druckes in verschiedenen Betriebszuständen des Druckregelventils (**200**).

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweils zuletzt ermittelte Anpassungsfaktor vorzugsweise auch während einer Abschaltung der Brennkraftmaschine gespeichert wird.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Drucksollwert für den Kraftstoffspeicher ein Offsetwert berücksichtigt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren während des kontinuierlichen Betriebs der Brennkraftmaschine und/oder während der Lebensdauer Brennkraftmaschine wiederholt wird.

8. Computerprogramm für eine Regelvorrichtung (**100**) eines Kraftstoffeinspritzsystems (**700**) einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, dadurch gekennzeichnet, dass ein Programmcode des Computerprogramms dazu geeignet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1–7 durchzuführen, wenn er auf einem Computer ausgeführt wird.

9. Computerprogramm nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Programmcode auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist.

10. Regelvorrichtung (**100**) zum Regeln eines Stromes für ein Druckregelventil (**200**) in einem Kraftstoffeinspritzsystem (**700**) einer Brennkraftmaschine, umfassend:

- a) eine erste Berechnungseinrichtung (**110**) zum Ermitteln eines vorläufigen Strom-Sollwertes zur Ansteuerung des Druckregelventils (**200**), damit dieses mindestens einen vorgegebenen Drucksollwert sicher sperrt, unter Zuhilfenahme einer in einer ersten

Speichereinrichtung hinterlegten Nenn-Druck/Strom-Kennlinie von Druckregelventilen;

b) eine erste Subtrahiereinrichtung (**120**) zum Ermitteln einer Regelabweichung durch Subtrahieren des vorgegebenen Drucksollwertes für den Kraftstoffspeicher (**710**) von dem tatsächlichen Druck in dem Kraftstoffspeicher;

c) eine zweite Berechnungseinrichtung (**130**, **140**) zum Ermitteln eines Strom-Korrekturwertes nach Maßgabe durch die Regelabweichung; und

d) eine zweite Subtraktionseinrichtung (**150**) zum Ermitteln eines korrigierten Strom-Sollwertes durch Subtrahieren des Strom-Korrekturwertes von dem vorläufigen Strom-Sollwert;

gekennzeichnet durch e) eine Schuberkennungseinrichtung (**300**) zum Erkennen, ob sich die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand befindet; und

f) eine Schalteinrichtung (**190**) zum Aktivieren der Regeleinrichtung (**100**) nur dann, wenn die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand ist.

11. Regelvorrichtung (**100**) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schuberkennungseinrichtung (**300**) eine Einrichtung (**310**) zur Überwachung der in die Brennkammern (**800**) der Brennkraftmaschine eingespritzten Kraftstoffmenge und eine Einrichtung (**320**) zur Überwachung der von einem Druckregler (**730**) für eine Hochdruckpumpe (**760**) der Brennkraftmaschine vorgegebenen Kraftstoff-Fördermenge im Hinblick auf einen vorgegebenen Schwellenwert  $g_{min}$  aufweist.

12. Regelvorrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 10 oder 11, gekennzeichnet durch eine Multiplikationseinrichtung (**170**) zum Berechnen des Strom-Korrekturwertes durch Multiplizieren eines nach Maßgabe durch die Regelabweichung berechneten Anpassungsfaktors mit einem Gewichtungsfaktor, der die Größe der Streuung von Druckregelventilen in verschiedenen Betriebszuständen repräsentiert.

13. Regelvorrichtung (**100**) nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch eine zweite Speichereinrichtung zum Speichern einer Gewichtungskurve, welche die Größe des Gewichtungsfaktors in Abhängigkeit des gewünschten vorgegebenen Druckes zeigt.

14. Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 10–13, gekennzeichnet durch eine dritte Speichereinrichtung (**195**) zum Speichern des Adaptionfaktors oder des Strom-Korrekturwertes.

15. Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 10–14, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Berechnungseinrichtung ein Proportionalfilter (**130**) und/oder eine Integrationseinrichtung (**140**) zum Berechnen des Strom-Korrekturwertes aus der Regel-

abweichung aufweist.

16. Regelvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Integrationseinrichtung (**140**) einen Initialisierungseingang aufweist zum Vorgeben eines Startwertes zu Beginn einer Integration, vorzugsweise nach Maßgabe durch den in der dritten Speichereinrichtung (**195**) gespeicherten Anpassungsfaktor.

17. Brennkraftmaschine, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, mit einer Regelvorrichtung (**100**) nach einem der Ansprüche 10–16 zum Ansteuern eines Druckregelventils (**200**) in einem Kraftstoffeinspritzsystem (**700**) der Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelvorrichtung (**100**) eine Schuberkennungseinrichtung (**300**) zum Erkennen, ob sich die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand befindet, und eine Schalteinrichtung (**190**) aufweist zum Aktivieren der Regeleinrichtung nur dann, wenn die Brennkraftmaschine in einem Schub-Zustand ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

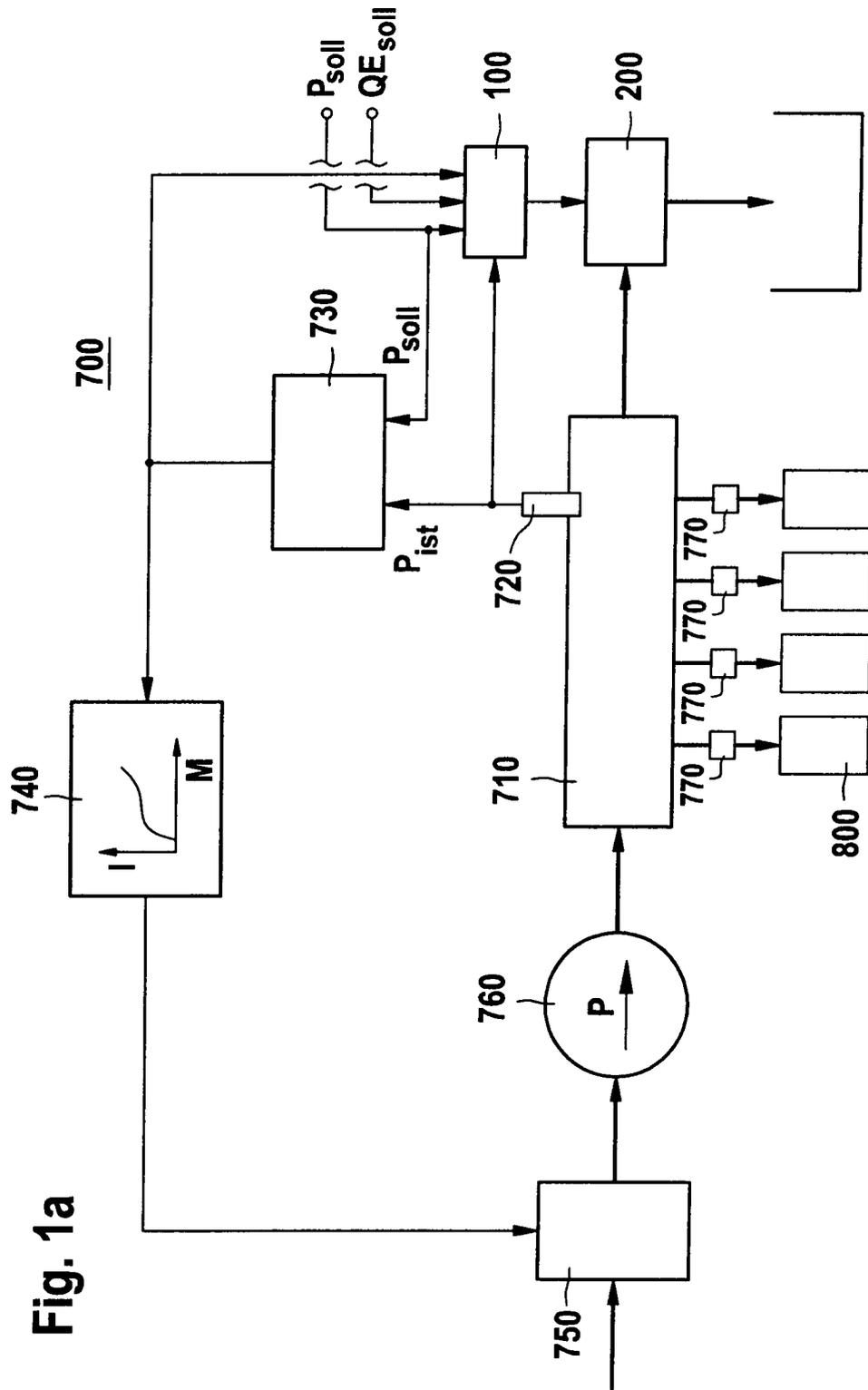
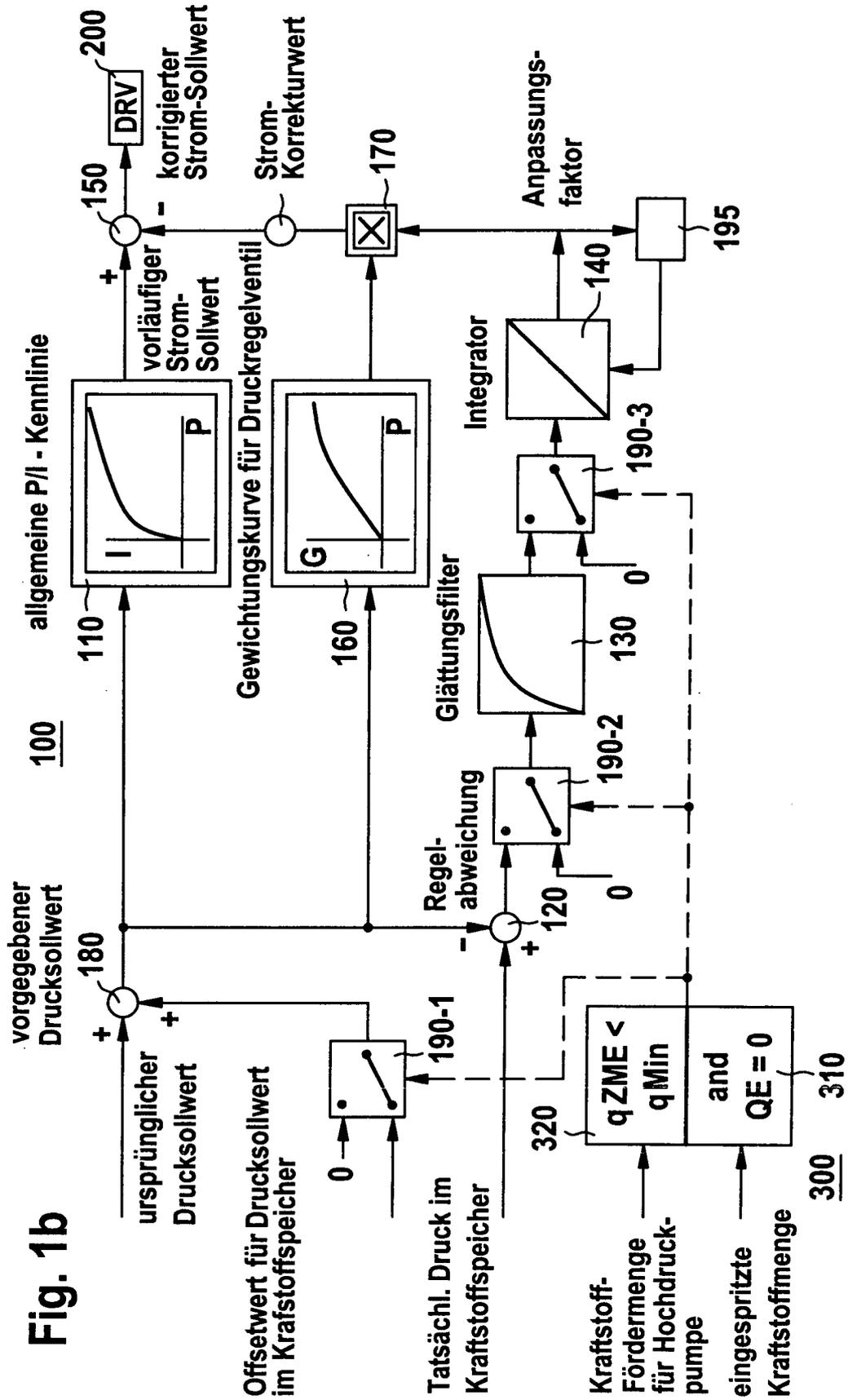


Fig. 1a



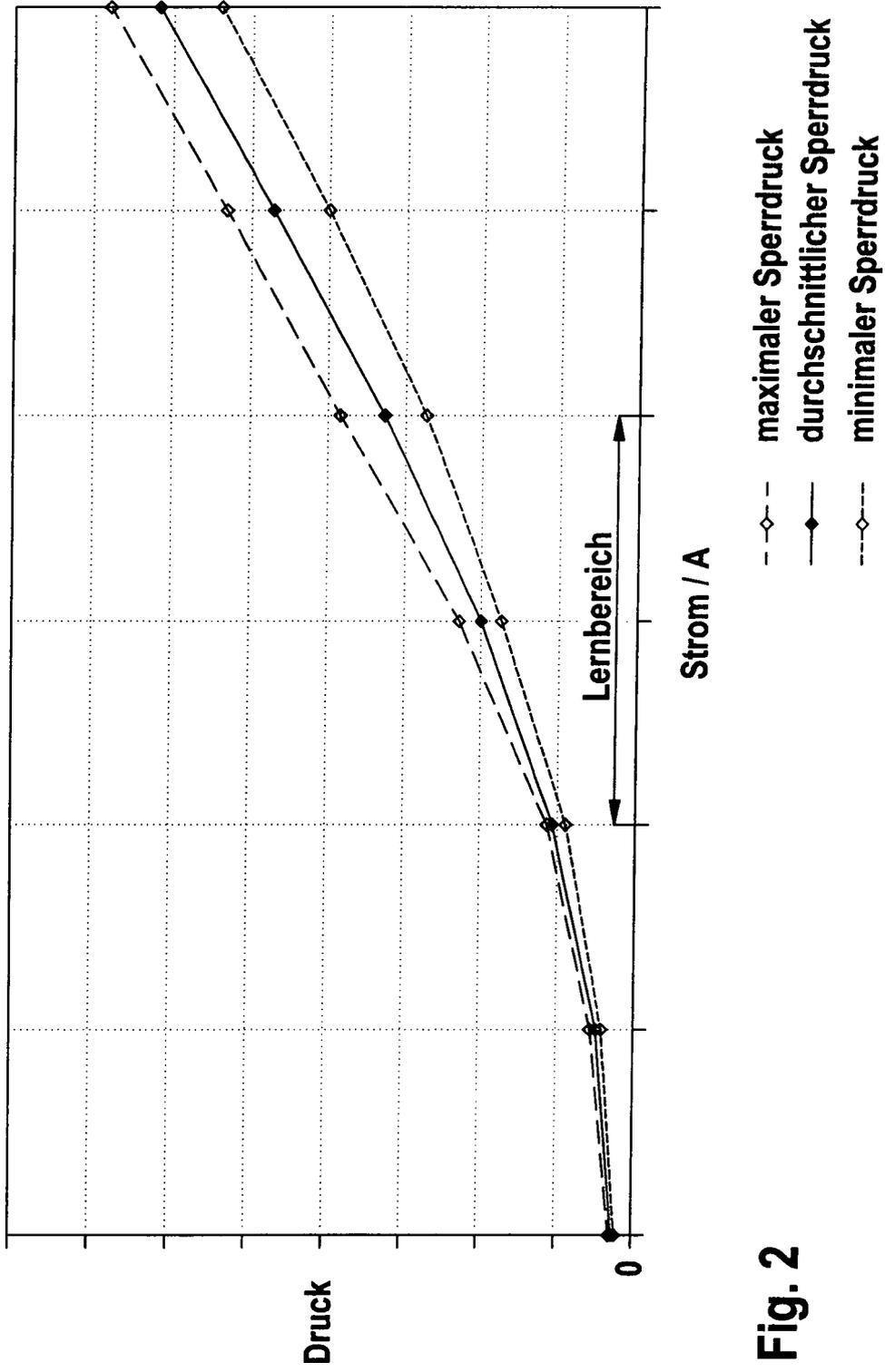
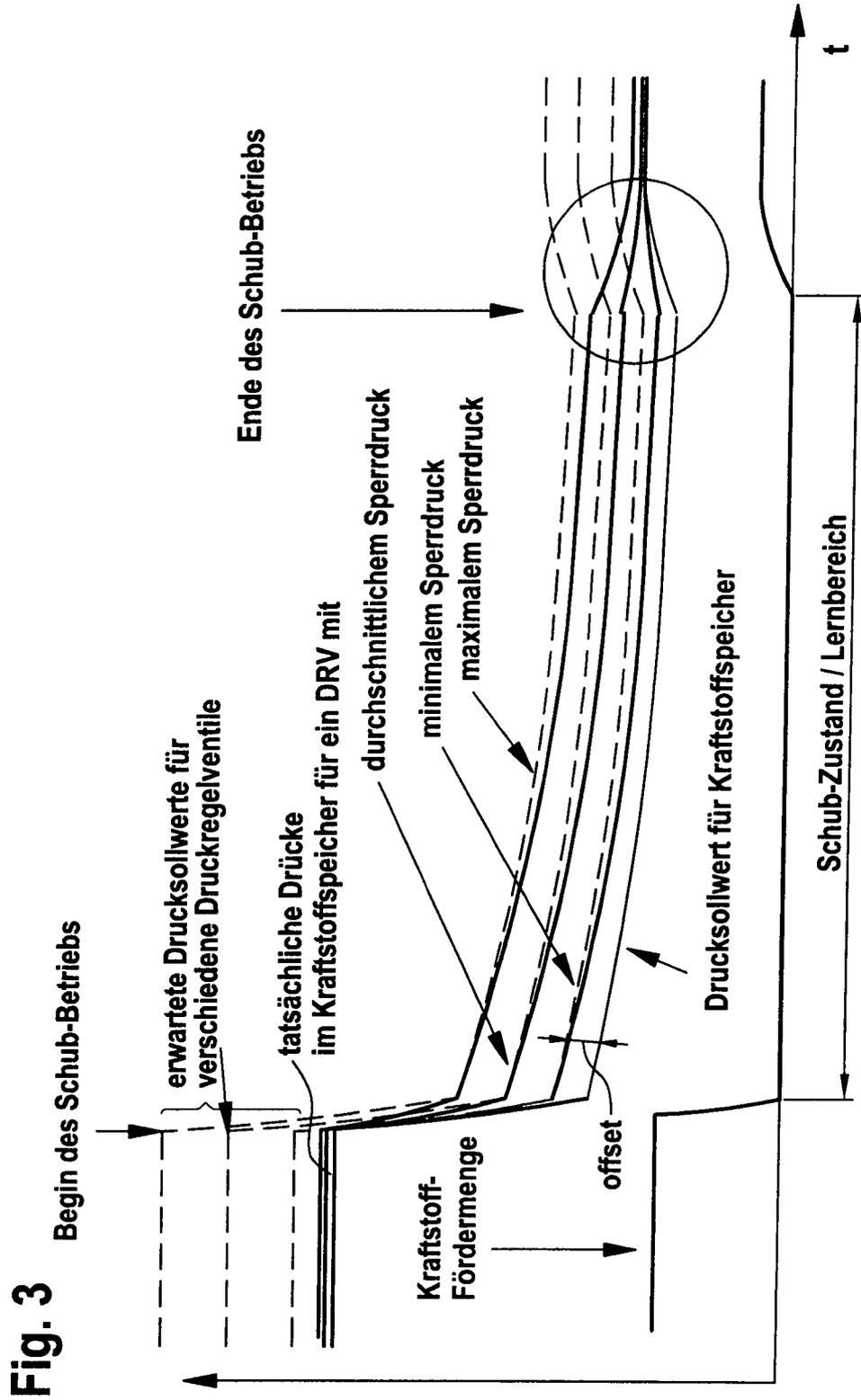
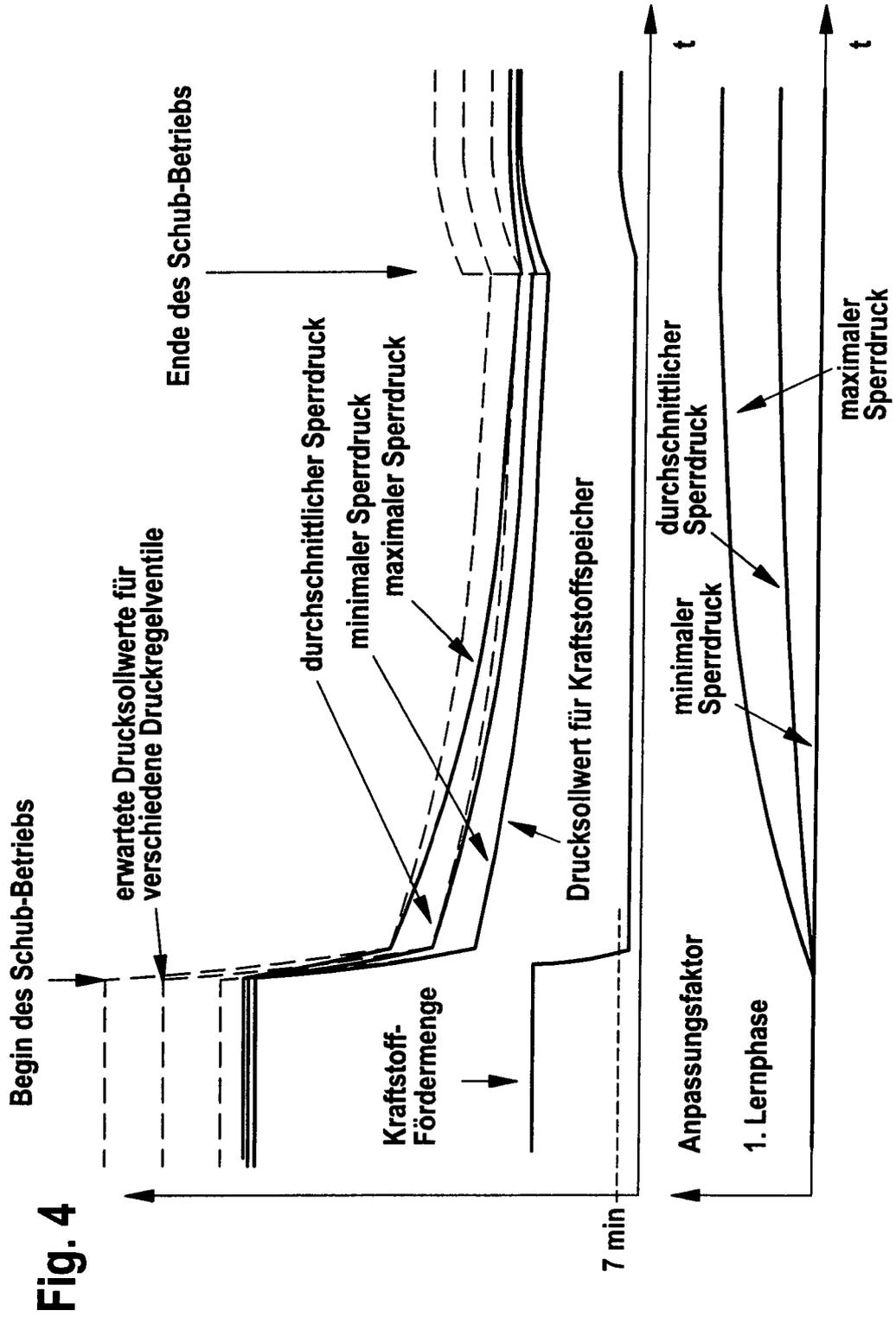
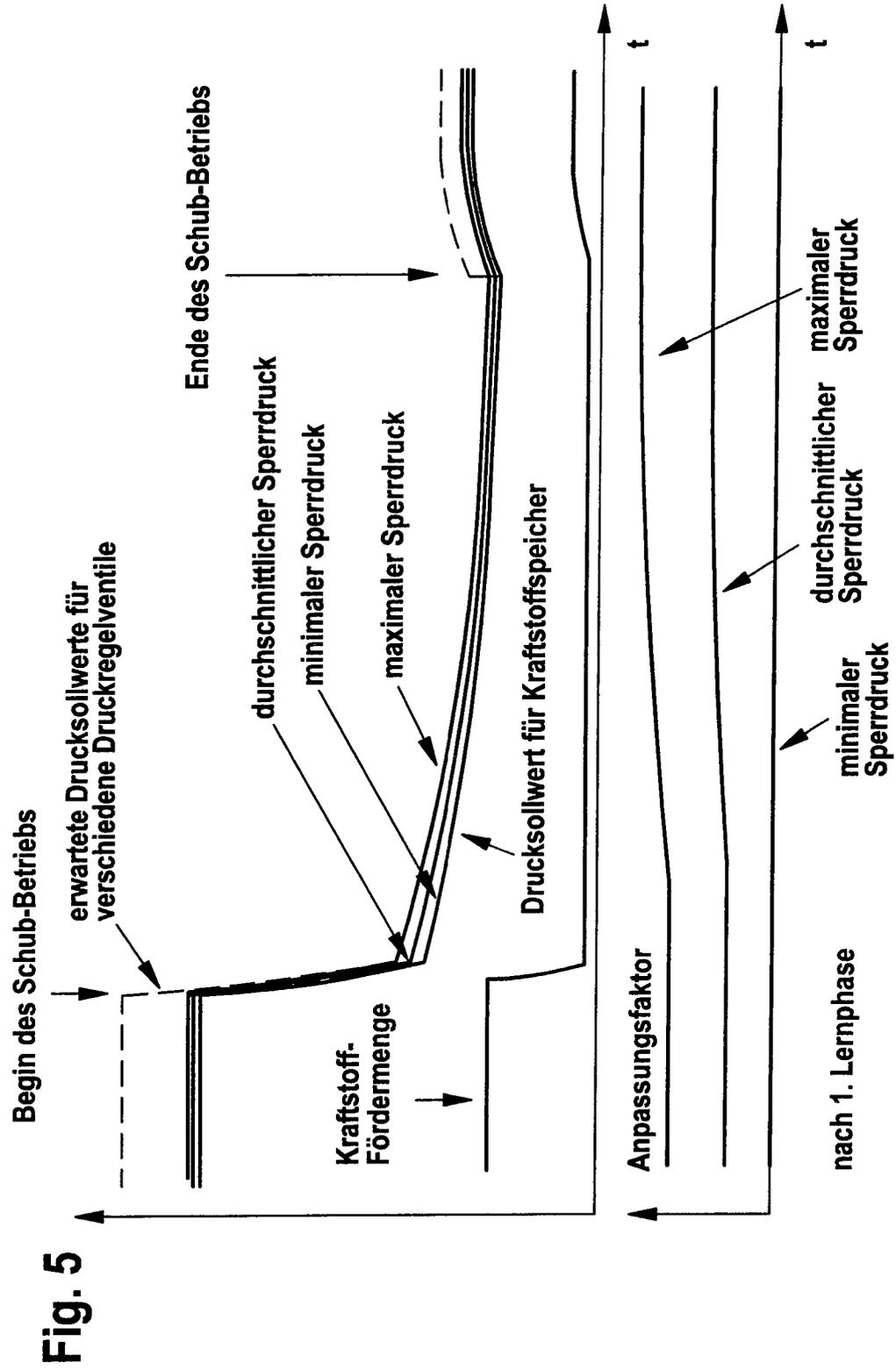


Fig. 2







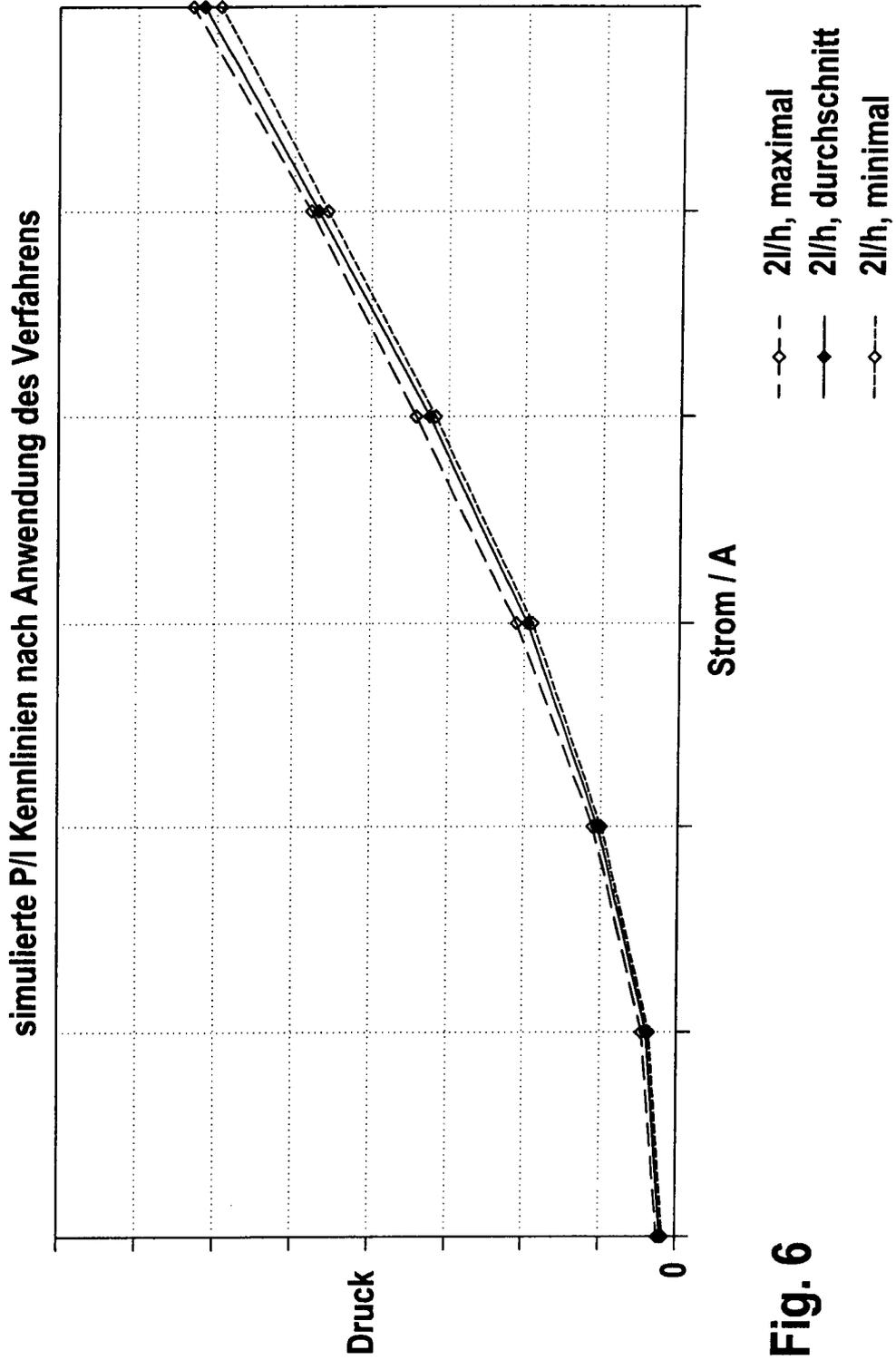


Fig. 6

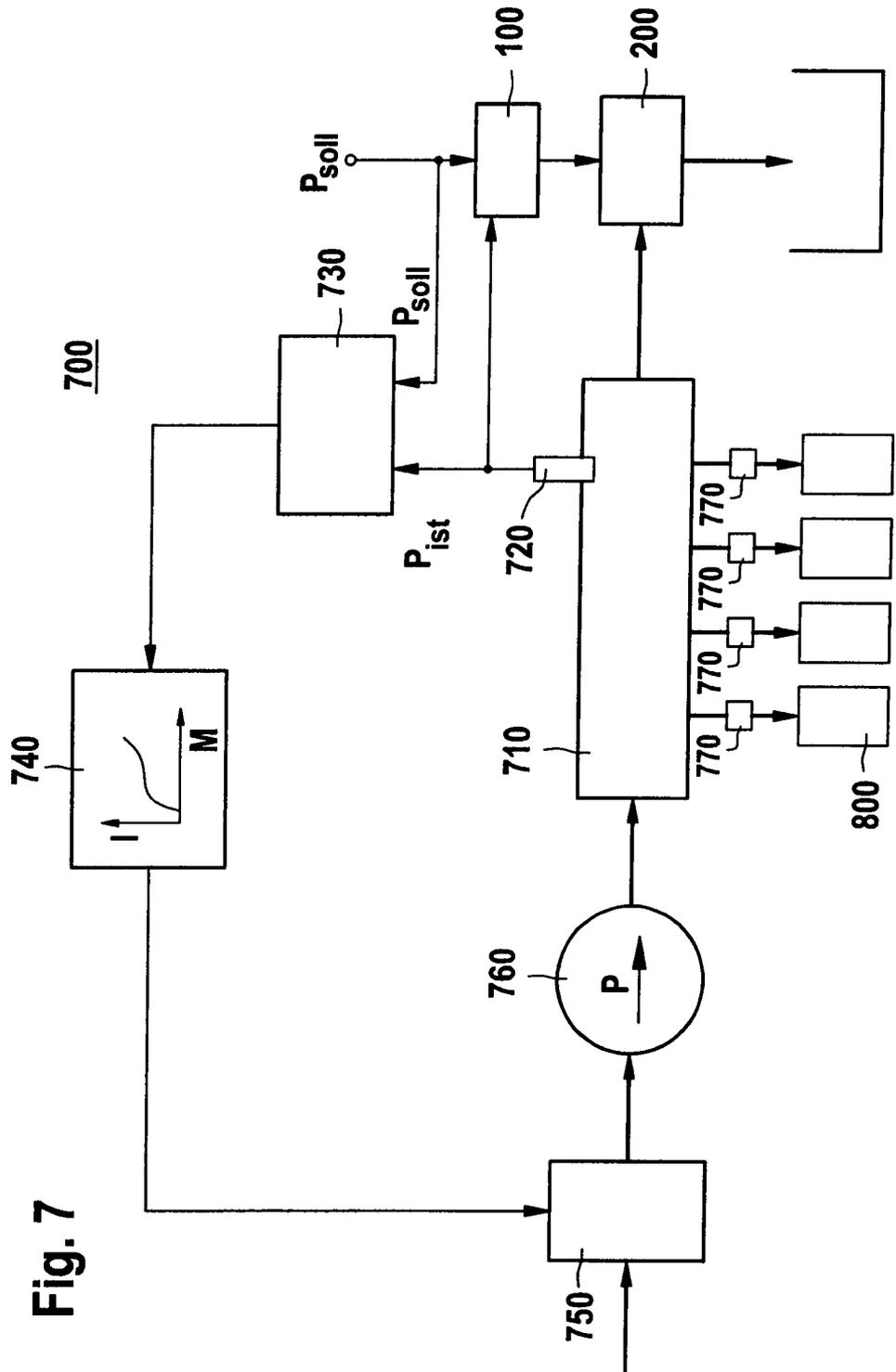


Fig. 7