



(10) **DE 10 2010 029 933 B4** 2020.02.06

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 029 933.2**  
(22) Anmeldetag: **10.06.2010**  
(43) Offenlegungstag: **15.12.2011**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **06.02.2020**

(51) Int Cl.: **F02D 41/38** (2006.01)  
**F02M 45/02** (2006.01)  
**F02D 1/06** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

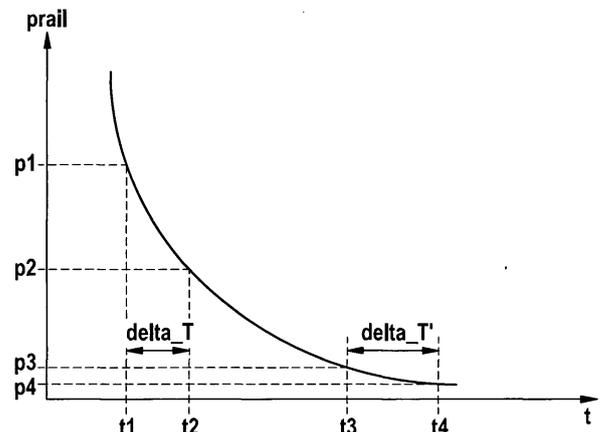
(72) Erfinder:  
**Sommerer, Andreas, 71394 Kernen, DE; Amann,  
Patrick, 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 20 629	A1
DE	100 56 477	A1
DE	10 2007 032 509	A1
DE	10 2010 016 078	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems (130), insbesondere einer Brennkraftmaschine (1), bei dem unter Druck stehender Kraftstoff in einem Druckspeicher (13) bereitgestellt wird und ein in dem Druckspeicher (13) herrschender Kraftstoffdruck ( $p_{\text{raill}}$ ) mittels eines Drucksensors (14) ermittelbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass über einen vorgebbaren Druckabbauzeitraum ( $\Delta T$ ) hinweg Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) entnommen wird, dass zu mindestens zwei voneinander verschiedenen Zeitpunkten ( $t_1$ ,  $t_2$ ) während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) Druckmesswerte ( $p_1$ ,  $p_2$ ) mittels des Drucksensors (14) ermittelt werden, und dass aus den während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelten Druckmesswerten ( $p_1$ ,  $p_2$ ) auf einen tatsächlichen Kraftstoffdruck zu Beginn des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) geschlossen wird.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems, insbesondere einer Brennkraftmaschine, bei dem unter Druck stehender Kraftstoff in einem Druckspeicher bereitgestellt wird und ein in dem Druckspeicher herrschender Kraftstoffdruck mittels eines Drucksensors ermittelbar ist.

**[0002]** Die Erfindung betrifft auch eine entsprechende Vorrichtung zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems.

**[0003]** Aus der DE 10 2007 032 509 A1 sind bereits ein derartiges Verfahren und eine Vorrichtung bekannt. Das bekannte Verfahren sieht vor, mindestens eine von dem in dem Druckspeicher herrschenden Kraftstoffdruck abhängige Betriebsgröße eines Einspritzventils des Kraftstoffeinspritzsystems auszuwerten, um auf den Kraftstoffdruck zu schließen. Dadurch ist es möglich, einen ordnungsgemäßen Betrieb eines dem Druckspeicher zugeordneten Drucksensors zu überwachen.

**[0004]** Aus der Offenlegungsschrift DE 100 20 629 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei einem Kraftstoffversorgungssystem ein Drucksteuerventil vollständig zu öffnen und einen gemessenen Druck in einem Druckspeicher mit einem erwarteten Druck zu vergleichen.

**[0005]** Aus der Offenlegungsschrift DE 10 2010 016 078 A1 ist ein Verfahren bekannt, um einen tatsächlichen Kraftstoffeinspritzungs-Startzeitpunkt, basierend auf einem abfallenden Kurvenverlauf des Kraftstoffdrucks, zu ermitteln. Hierzu wird der Druck durch einen Kraftstoffsensoren während einer Dauer erfasst, in welcher der Kraftstoffdruck aufgrund eines Kraftstoffeinspritzratenanstiegs abfällt.

**[0006]** Aus der Offenlegungsschrift DE 100 56 477 A1 ist ein Verfahren bekannt, um eine Differenz zwischen einer berechneten Befehls-einspritzmenge und einer tatsächlichen Einspritzmenge in einem Drucksammelungs-Brennstoffeinspritzsystem zu vermindern. Dabei wird unter anderem eine Korrektur auf der Basis des Einspritzzeitbrennstoffdrucks berechnet. Ein Druck wird auf der Basis der Korrektur berechnet und damit vorausgesagt, und die Einspritzperiode wird auf der Basis des vorausgesagten Drucks berechnet.

## Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass eine

präzise Überwachung beziehungsweise Plausibilisierung des dem Druckspeicher zugeordneten Drucksensors möglich ist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass über einen vorgebbaren Druckabbauzeitraum hinweg Kraftstoff aus dem Druckspeicher entnommen wird, dass zu mindestens zwei voneinander verschiedenen Zeitpunkten während des Druckabbauzeitraums Druckmesswerte mittels des Drucksensors ermittelt werden, und dass aus den während des Druckabbauzeitraums ermittelten Druckmesswerten auf einen tatsächlichen Kraftstoffdruck zu Beginn des Druckabbauzeitraums geschlossen wird.

**[0009]** Erfindungsgemäß wird ausgenutzt, dass ein Zusammenhang besteht zwischen der Kraftstoffentnahme während des Druckabbauzeitraums und einem sich tatsächlich einstellenden Druckabbau in dem Druckspeicher. Insbesondere kann ein unter Berücksichtigung der erfindungsgemäß ermittelten Druckmesswerte bestimmter Druckabbau vorteilhaft dazu verwendet werden, auf den tatsächlichen Kraftstoffdruck in dem Druckspeicher zu Beginn des Druckabbauzeitraums zu schließen. Dadurch kann vorteilhaft der Drucksensor überwacht beziehungsweise plausibilisiert werden, beispielsweise indem ein erfindungsgemäß ermittelter Druckwert zu Beginn des Druckabbauzeitraums verglichen wird mit einem Druckmesswert desselben Betriebszeitpunkts.

**[0010]** Eine besonders wenig rechenaufwändige und effiziente Ermittlung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks ist einer vorteilhaften Ausführungsform zufolge dadurch gegeben, dass zwei Druckmesswerte während des Druckabbauzeitraums ermittelt werden, wobei ein erster Druckmesswert zu Beginn des Druckabbauzeitraums und ein zweiter Druckmesswert bei dem Ende des Druckabbauzeitraums ermittelt wird. Ein der Differenz zwischen den beiden Druckmesswerten entsprechender Druckabbau korreliert mit einem tatsächlichen absoluten Druck in dem Druckspeicher zu Beginn des Druckabbauzeitraums, so dass aus dem Druckabbau auf den tatsächlichen absoluten Druck geschlossen werden kann.

**[0011]** Eine noch präzisere Ermittlung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks ist einer weiteren Ausführungsform zufolge dann gegeben, wenn mehr als zwei Druckmesswerte für die Ermittlung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks ermittelt und berücksichtigt werden. In diesem Fall kann beispielsweise ein Zeitverlauf des Drucks in dem Druckspeicher, wie er sich während des Druckabbauzeitraums ergibt, approximiert werden durch eine geeignete Näherungsfunktion (z.B. Hyperbel), der die Druckmesswerte als Stützstellen zugeordnet werden. Anschließend kann aus einem

Referenz-Zeitverlauf und der Näherungsfunktion wiederum ein absoluter Druckwert ermittelt werden, beispielsweise indem derjenige Bereich des Referenz-Zeitverlaufs gesucht wird, der nach einem vorgebbaren Ähnlichkeitsmaß besonders gut mit der Näherungsfunktion übereinstimmt. Bei der Verwendung entsprechender Näherungsfunktionen kann die vorstehend beschriebene Variante auch mit nur zwei Druckmesswerten ausgeführt werden.

**[0012]** Einer besonders vorteilhaften Variante der Erfindung zufolge kann während des Druckabbauzeitraums Kraftstoff aus dem Druckspeicher entnommen werden, indem mindestens ein Einspritzventil des Kraftstoffeinspritzsystems angesteuert wird.

**[0013]** Um einen Betrieb der das Kraftstoffeinspritzsystem enthaltenden Brennkraftmaschine durch den erfindungsgemäßen Druckabbau nicht zu beeinträchtigen, sieht eine weitere besonders bevorzugte Ausführungsform vor, dass das mindestens eine Einspritzventil so angesteuert wird, dass nicht bereits eine Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum der Brennkraftmaschine erfolgt. Vielmehr kann die Ansteuerung erfindungsgemäß insbesondere so ausgeführt werden, dass nur eine sogenannte Steuermenge an Kraftstoff dem Druckspeicher entnommen wird. Die Steuermenge ist beispielweise für einen Betrieb des Einspritzventils, insbesondere eines Steuerventils des Einspritzventils, vorgesehen, sie wird insbesondere nicht in den Brennraum eingespritzt. Über eine entsprechende Ansteuerung eines Einspritzventils so, dass keine Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum bewirkt wird, sondern dass vielmehr nur die Entnahme einer Steuermenge aus dem Druckspeicher erfolgt, kann der erfindungsgemäße Druckabbau vorteilhaft betrieben werden, ohne zu unbeabsichtigten Verbrennungen zu führen.

**[0014]** Neben der Ansteuerung eines einzigen Einspritzventils zur Bewirkung des erfindungsgemäßen Druckabbaus können auch mehrere Einspritzventile in koordinierter Weise angesteuert werden, um den Druckabbau zu realisieren.

**[0015]** Einer weiteren Erfindungsvariante zufolge ist es auch denkbar, während des Druckabbauzeitraums Kraftstoff aus dem Druckspeicher zu entnehmen, indem mindestens ein Druckregelventil des Kraftstoffeinspritzsystems angesteuert wird, das dazu vorgesehen ist, Kraftstoff aus dem Druckspeicher zu entnehmen. Sofern das Kraftstoffeinspritzsystem über weitere, eine Druckentnahme aus dem Druckspeicher ermöglichende Stellglieder verfügt, können diese ebenfalls alternativ oder ergänzend für den Druckabbau eingesetzt werden.

**[0016]** Einer weiteren Erfindungsvariante zufolge, wird während des Druckabbauzeitraums Kraftstoff aus dem Druckspeicher entnommen, indem mindes-

tens ein Stellglied, das dazu ausgebildet ist, Kraftstoff aus dem Druckspeicher zu entnehmen, mindestens einmal, vorzugsweise jedoch mehrmals, für einen vorgebbaren Ansteuerzeitraum, während des Druckabbauzeitraums angesteuert.

**[0017]** Sofern beispielsweise die Kraftstoffentnahme dadurch bewerkstelligt wird, dass ein Einspritzventil so angesteuert wird, dass es unter der Ansteuerung lediglich die Steuermenge aus dem Druckspeicher entnimmt („Blankshot“), kann für den erfindungsgemäßen Druckabbauzeitraum vorgesehen sein, eine derartige Blankshot-Ansteuerung des Einspritzventils für eine vorgebbare Anzahl, beispielsweise 1000 Blankshots, durchzuführen, um den erfindungsgemäßen Druckabbau zu erzielen.

**[0018]** Eine besonders präzise Ermittlung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks ist einer weiteren Ausführungsform entsprechend dadurch gegeben, dass eine Kraftstoffentnahme während des Druckabbauzeitraums und/oder eine Festlegung der Länge des Druckabbauzeitraums in Abhängigkeit eines zu Beginn des Druckabbauzeitraums ermittelten Kraftstoffdrucks erfolgt. Das bedeutet, je nach einem tatsächlich vorliegenden Kraftstoffdruck wird das erfindungsgemäße Druckabbauverfahren möglicherweise in unterschiedlicher Weise (Länge des Druckabbauzeitraums, Anzahl der einzelnen Kraftstoffentnahmen, beispielsweise mittels Blankshots) durchgeführt.

**[0019]** Besonders bevorzugt kann der Druckabbauzeitraum so festgelegt werden, dass er in einen Schubbetrieb oder einen Nachlaufbetrieb der Brennkraftmaschine fällt. Einer weiteren Erfindungsvariante zufolge ist es ferner möglich, dass eine den Kraftstoffdruck in dem Druckspeicher beeinflussende Steuerung und/oder Regelung, beispielsweise ein Raildruckregler, während des Druckabbaus im Rahmen des Druckabbauzeitraums zumindest teilweise deaktiviert wird, um die erfindungsgemäße Ermittlung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks nicht zu verfälschen. Ein erfindungsgemäßer Druckabbau kann beispielsweise auch trotz eines aktiven Raildruckreglers betrieben werden, solange eine entsprechende Regelabweichung positive Werte aufweist, d.h. der aktuelle Raildruck größer als ein Solldruck ist. In diesem Fall trägt der erfindungsgemäße Druckabbau neben seinem Hauptzweck, der Ermittlung des tatsächlichen Raildrucks, gleichzeitig auch zur Raildruckregelung bei.

**[0020]** Einer weiteren vorteilhaften Variante zufolge kann ferner vorgesehen sein, dass eine Kraftstoffentnahme aus dem Druckspeicher im Rahmen des Druckabbauzeitraums so lange erfolgt, bis der mittels des Drucksensors ermittelte Kraftstoffdruck und/oder seine zeitliche Änderung einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet. Beispielsweise kann der Druckspeicher im Rahmen des erfindungsgemäßen Druck-

abbaus auch vollständig entleert werden, was daran erkannt werden kann, dass der Drucksensor einen verschwindenden Raildruckwert anzeigt, oder auch dass ein zeitlicher Gradient des Raildruckwerts einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet.

**[0021]** Als eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 12 angegeben.

**[0022]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

**[0023]** In der Zeichnung zeigt:

**Fig. 1** ein schematisches Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

**Fig. 2** einen zeitlichen Verlauf von Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine gemäß **Fig. 1**, und

**Fig. 3** ein vereinfachtes Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0024]** In der **Fig. 1** ist eine Brennkraftmaschine **1** eines Kraftfahrzeugs dargestellt, bei der ein Kolben **2** in einem Zylinder **3** hin- und herbewegbar ist. Der Zylinder **3** ist mit einem Brennraum **4** versehen, der unter anderem durch den Kolben **2**, ein Einlassventil **5** und ein Auslassventil **6** begrenzt ist. Mit dem Einlassventil **5** ist ein Ansaugrohr **7** und mit dem Auslassventil **6** ist ein Abgasrohr **8** gekoppelt.

**[0025]** Im Bereich des Einlassventils **5** und des Auslassventils **6** ragen ein Einspritzventil **9** und eine Zündkerze **10** in den Brennraum **4**. Über das Einspritzventil **9** kann Kraftstoff in den Brennraum **4** eingespritzt werden. Mit der Zündkerze **10** kann der Kraftstoff in dem Brennraum **4** entzündet werden. Ein Kraftstoffeinspritzsystem der Brennkraftmaschine **1** ist mit dem Bezugszeichen **130** bezeichnet.

**[0026]** In dem Ansaugrohr **7** ist eine drehbare Drosselklappe **11** untergebracht, über die dem Ansaugrohr **7** Luft zuführbar ist. Die Menge der zugeführten Luft ist abhängig von der Winkelstellung der Drosselklappe **11**. In dem Abgasrohr **8** ist ein Katalysator **12** untergebracht, der der Reinigung der durch die Verbrennung des Kraftstoffs entstehenden Abgase dient.

**[0027]** Das Einspritzventil **9** ist über eine Druckleitung mit einem Kraftstoffspeicher **13** verbunden. In entsprechender Weise sind auch die Einspritzventile der anderen Zylinder der Brennkraftmaschine **1**

mit dem Kraftstoffspeicher **13** verbunden. Der Kraftstoffspeicher **13** wird über eine Zuführleitung mit Kraftstoff versorgt. Hierzu ist eine elektrische und/oder mechanische Kraftstoffpumpe vorgesehen, die dazu geeignet ist, den erwünschten Druck in dem Kraftstoffspeicher **13** aufzubauen.

**[0028]** Weiterhin ist an dem Kraftstoffspeicher **13** ein Drucksensor **14** angeordnet, mit dem der Druck in dem Kraftstoffspeicher **13** messbar ist. Bei diesem Druck handelt es sich um denjenigen Druck, der auf den Kraftstoff ausgeübt wird, und mit dem deshalb der Kraftstoff über das Einspritzventil **9** in den Brennraum **3** der Brennkraftmaschine **1** eingespritzt wird. Das Kraftstoffsystem **130** kann auch über ein Druckregelventil **14a** verfügen, das dazu ausgebildet ist, Kraftstoff aus dem Druckspeicher **13** zu entnehmen.

**[0029]** Im Betrieb der Brennkraftmaschine **1**, wird Kraftstoff in den Kraftstoffspeicher **13** gefördert. Dieser Kraftstoff wird über die Einspritzventile **9** der einzelnen Zylinder **3** in die zugehörigen Brennräume **4** eingespritzt. Mit Hilfe der Zündkerzen **10** werden Verbrennungen in den Brennräumen **3** erzeugt, durch die die Kolben **2** in eine Hin- und Herbewegung versetzt werden. Diese Bewegungen werden auf eine nicht-dargestellte Kurbelwelle übertragen und üben auf diese ein Drehmoment aus.

**[0030]** Ein Steuergerät **15** ist von Eingangssignalen **16** beaufschlagt, die mittels Sensoren gemessene Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine **1** darstellen. Beispielsweise ist das Steuergerät **15** mit dem Drucksensor **14**, einem Luftmassensensor, einem Lambda-Sensor, einem Drehzahlsensor und dergleichen verbunden. Des Weiteren ist das Steuergerät **15** mit einem Fahrpedalsensor verbunden, der ein Signal erzeugt, das die Stellung eines von einem Fahrer betätigbaren Fahrpedals und damit das angeforderte Drehmoment angibt. Das Steuergerät **15** erzeugt Ausgangssignale **17**, mit denen über Aktoren bzw. Steller das Verhalten der Brennkraftmaschine **1** beeinflusst werden kann. Beispielsweise ist das Steuergerät **15** mit dem Einspritzventil **9**, der Zündkerze **10** und der Drosselklappe **11** und dergleichen verbunden und erzeugt die zu deren Ansteuerung erforderlichen Signale.

**[0031]** Unter anderem ist das Steuergerät **15** dazu vorgesehen, die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine **1** zu steuern und/oder zu regeln. Beispielsweise wird die von dem Einspritzventil **9** in den Brennraum **4** eingespritzte Kraftstoffmasse von dem Steuergerät **15** insbesondere im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder eine geringe Schadstoffentwicklung gesteuert und/oder geregelt. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät **15** mit einem Mikroprozessor versehen, der in einem Speichermedium, insbesondere in einem Flash-Memory ein Computerprogramm abgespeichert hat, das dazu ge-

eignet ist, die genannte Steuerung und/oder Regelung durchzuführen.

**[0032]** Um die Funktion des Drucksensors **14** zu überprüfen beziehungsweise entsprechende Druckmesswerte zu plausibilisieren, ist das nachfolgend unter Bezugnahme auf das Flussdiagramm gemäß **Fig. 3** beschriebene Verfahren vorgesehen.

**[0033]** In einem ersten Schritt **200** wird über einen vorgebbaren Druckabbauzeitraum hinweg Kraftstoff aus dem Druckspeicher **13** (**Fig. 1**) entnommen, um den Kraftstoffdruck gezielt zu verringern.

**[0034]** Der nachfolgende Schritt **210** hat zum Gegenstand, zu mindestens zwei voneinander verschiedenen Zeitpunkten während des Druckabbauzeitraums Druckmesswerte mittels des Drucksensors **14** (**Fig. 1**) zu ermitteln.

**[0035]** Schließlich wird im Schritt **220** des erfindungsgemäßen Verfahrens aus dem während des Druckabbauzeitraums ermittelten Druckmesswerten (Schritt **210**) auf den tatsächlichen Kraftstoffdruck zu Beginn des Druckabbauzeitraums geschlossen.

**[0036]** Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein definierter Druckabbau in dem Druckspeicher **13** (**Fig. 1**), wie er vorliegend durch Schritt **200** des Verfahrens nach **Fig. 3** erzielt wird, einen Rückschluss auf den tatsächlichen Kraftstoffdruck zu Beginn der Druckabbauphase **200** zulässt.

**[0037]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird die Länge des Druckabbauzeitraums konstant gewählt. Die Druckdifferenz zwischen den beiden in Schritt **210** ermittelten Druckmesswerten enthält Informationen über einen absoluten Kraftstoffdruck zu dem Beginn der Druckabbauphase **200**.

**[0038]** Wie in dem Druck-Zeit-Diagramm (Raildruck  $p_{\text{rail}}$  aufgetragen über der Zeit  $t$ ) von **Fig. 2** veranschaulicht ist, ist bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, einen ersten Druckmesswert **p1** zu Beginn **t1** des Druckabbauzeitraums **delta\_T** zu ermitteln.

**[0039]** Bei dem Ende des erfindungsgemäßen Druckabbauzyklus, nämlich zu dem Zeitpunkt **t2**, wird schließlich ein zweiter Druckmesswert **p2** ermittelt. Aus den beiden mittels des Drucksensors **14** (**Fig. 1**) ermittelten Druckmesswerten **p1**, **p2** kann erfindungsgemäß vorteilhaft eine Druckdifferenz **p1 - p2** gebildet werden, die Rückschlüsse auf den tatsächlichen Kraftstoffdruck zu dem Zeitpunkt **t1** zulässt. Eine entsprechende Auswertung wird in dem bereits beschriebenen Schritt **220** des erfindungsgemäßen Verfahrens (**Fig. 3**) durchgeführt.

**[0040]** Beispielsweise kann für eine bekannte Druckabbauzeitdauer **delta\_T** ein Zusammenhang zwischen der Druckdifferenz **p1 - p2** und einem tatsächlichen Raildruck zu Beginn **t1** des Druckabbauzeitraums **delta\_T** in dem Steuergerät **15** (**Fig. 1**), beispielsweise in Form einer Kennlinie oder eines Kennfelds, hinterlegt werden.

**[0041]** Im Rahmen der erfindungsgemäßen Auswertung (Schritt **220**) kann vorgesehen sein, einen tatsächlichen Kraftstoffdruckwert (Raildruckwert) zu dem Zeitpunkt **t1** mit dem messtechnisch mittels des Drucksensors **14** erfassten Druckmesswert **p1** zu vergleichen. Sofern sich diese beiden Größen nicht über ein vorgegbares Toleranzmaß hinaus unterscheiden, kann darauf geschlossen werden, dass der Drucksensor **14** ordnungsgemäß arbeitet.

**[0042]** Sofern jedoch ein verhältnismäßig großer Unterschied zwischen den betrachteten Größen besteht, kann darauf geschlossen werden, dass der Drucksensor **14** nicht ordnungsgemäß arbeitet, mithin die Druckmesswerte **p1**, **p2** nicht zuverlässig den tatsächlichen Kraftstoffdruck in dem Druckspeicher **13** wiedergeben. In diesem Fall kann eine Fehlerreaktion, wie beispielsweise ein Notlauf der Brennkraftmaschine **1** (**Fig. 1**), eingeleitet werden.

**[0043]** Eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, den erfindungsgemäßen Druckabbau (Schritt **200** aus **Fig. 3**) hinsichtlich der Länge des Druckabbauzeitraums **delta\_T** und/oder der Art und Weise der Kraftstoffentnahme aus dem Druckspeicher **13** in Abhängigkeit eines zu Beginn des Druckabbauzeitraums ermittelten Kraftstoffdrucks **p1** auszuführen. Dadurch kann vorteilhaft der Tatsache Rechnung getragen werden, dass der im Wesentlichen etwa hyperbelförmige Zeitverlauf des Kraftstoffdrucks  $p_{\text{rail}}$  bei einer kontinuierlichen Kraftstoffentnahme ausgehend von einem geringeren tatsächlichen Kraftstoffdruck zu Beginn **t3** des Druckabbauzeitraums **delta\_T'** eine verhältnismäßig geringe Druckdifferenz **p3 - p4** liefert, während bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Bereich eines höheren tatsächlichen Kraftstoffdrucks, beispielsweise zwischen den Zeitpunkten **t1** und **t2**, eine größere Druckdifferenz der Druckmesswerte **p1**, **p2** erhalten wird, die eine präzisere Bestimmung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks zu dem Beginn **t1** des Druckabbauzeitraums **delta\_T** ermöglichen.

**[0044]** Das bedeutet, die Präzision des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorteilhaft an den Betriebspunkt, insbesondere einen tatsächlichen Kraftstoffdruck beziehungsweise einen messtechnisch erfassten Kraftstoffdruck **p1**, **p3** zu dem Beginn **t1**, **t3** des Druckabbauzeitraums **delta\_T**, **delta\_T'** angepasst werden. Es ist denkbar, für unterschiedliche lange Druckabbauzeiträume **delta\_T**, **delta\_T'** unter-

schiedliche Kennlinien oder Kennfelder vorzusehen, die es ermöglichen, aus der in Schritt **210** erhaltenen Differenz von Druckmesswerten, auf einen tatsächlichen Druck zu schließen, Schritt **220**.

**[0045]** Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, während des Druckabbauzeitraums **delta\_T** mindestens ein Stellglied **9**, **14a** (**Fig. 1**), das dazu ausgebildet ist, Kraftstoff aus dem Druckspeicher **13** zu entnehmen, mindestens einmal, vorzugsweise jedoch mehrmals, für einen vorgebbaren Ansteuerzeitraum, während des Druckabbauzeitraums **delta\_T** anzusteuern.

**[0046]** Besonders bevorzugt kann hierzu beispielsweise das Einspritzventil **9** so angesteuert werden, dass durch die Ansteuerung nicht bereits eine Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum **4** der Brennkraftmaschine **1** bewirkt wird, wodurch unerwünschte Verbrennungen vermieden werden. Vielmehr kann die Ansteuerung des Einspritzventils **9** für die Druckabbaubetriebsart (Schritt **200**) derart erfolgen, dass das Einspritzventil **9** infolge der Ansteuerung nur eine Steuermenge an Kraftstoff aus dem Druckspeicher **13** entnimmt, wie sie - in dem Fachmann bekannter Weise - für einen internen Betrieb des Einspritzventils **9**, beispielsweise für einen Betrieb eines Steuerventils des Einspritzventils **9**, benötigt wird. Durch die Entnahme einer Steuermenge im Rahmen der Ansteuerung wird daher vorteilhaft einerseits eine definierte Kraftstoffentnahme aus dem Druckspeicher **13** bewirkt, während nicht bereits Kraftstoff in den Brennraum **4** eingespritzt wird.

**[0047]** Die vorstehend beschriebene Ansteuerung des Einspritzventils **9** wird auch als Blankshot-Ansteuerung bezeichnet und kann bevorzugt für die Realisierung des erfindungsgemäßen Druckabbaus in dem Druckspeicher **13** verwendet werden. Beispielsweise kann der erfindungsgemäße Druckabbau über den Druckabbauzeitraum **delta\_T** etwa 1000 Blankshot-Ansteuerungen des Einspritzventils **9** umfassen, so dass während des Druckabbauzeitraums **delta\_T** insgesamt etwa eine 1000-fache Steuermenge an Kraftstoff aus dem Druckspeicher **13** entnommen wird.

**[0048]** Es kann ebenso vorgesehen sein, gleichzeitig oder alternierend Kraftstoff, insbesondere jeweils wiederum nur eine Steuermenge, mittels weiterer nicht in **Fig. 1** abgebildeter Einspritzventile der Brennkraftmaschine **1**, zu entnehmen.

**[0049]** Alternativ oder ergänzend zu der Kraftstoffentnahme aus dem Druckspeicher **13** über die Einspritzventile **9**, kann auch ein weiteres zur Kraftstoffentnahme geeignetes Stellglied, beispielsweise das Druckregelventil **14a**, dazu verwendet werden, Kraftstoff für den erfindungsgemäßen Druckabbau aus dem Druckspeicher **13** zu entnehmen.

**[0050]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, mehr als zwei Druckmesswerte **p1**, **p2** während des Druckabbauzeitraums **delta\_T** zu erfassen. Dadurch kann beispielsweise mit verhältnismäßig großer Präzision ein Ort der Raildruckhyperbel  $p_{rail}(t)$  aus **Fig. 2**, das heißt ein tatsächlicher Raildruck zu Beginn **t1** des Druckabbauzeitraums **delta\_T** ermittelt werden.

**[0051]** Um einen Betrieb einer das Kraftstoffeinspritzsystem **130** enthaltenden Brennkraftmaschine **1** nicht zu beeinträchtigen, kann vorgesehen sein, den erfindungsgemäßen Druckabbauzeitraum **delta T** in einen Schubetrieb oder einen Nachlauf der Brennkraftmaschine **1** zu legen.

**[0052]** Es ist einer weiteren Ausführungsform zufolge auch möglich, die Kraftstoffentnahme (Schritt **200**) aus dem Druckspeicher **13** im Rahmen des Druckabbauzeitraums **delta\_T** so lange durchzuführen, bis der mittels des Drucksensors **14** ermittelte Kraftstoffdruck und/oder seine zeitliche Änderung einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet, beispielsweise bis ein Kraftstoffdruckmesswert einen Wert von etwa 0 bar aufweist oder keine wesentliche zeitliche Änderung mehr erfolgt.

**[0053]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht vorteilhaft eine präzise Ermittlung eines tatsächlichen Kraftstoffdrucks  $p_{rail}$  in dem Druckspeicher **13**, wobei eine besonders hohe Präzision bei solchen Kraftstoffsystemen **130** erzielt wird, welche nur eine minimale beziehungsweise verschwindende Hochdruckleckage aufweisen. Gegebenenfalls auftretende Toleranzen bei dem Blankshot-Betrieb der Einspritzventile können vorteilhaft mit Hilfe von dem Fachmann bekannten Kleinstmengen-Korrekturfunktionen reduziert werden.

**[0054]** Einer weiteren Ausführungsform zufolge können Variationen des Kompressionsmoduls des Kraftstoffs durch Vergleichsmessungen an einem Referenzsystem berücksichtigt werden. Entsprechende Abgleichparameter können in dem Steuergerät **15** vorgehalten werden.

**[0055]** Durch die erfindungsgemäße Auswertung **220** (**Fig. 3**) kann der tatsächliche Kraftstoffdruck zu Beginn **t1** des Druckabbauzeitraums **delta\_T** mit hoher Präzision ermittelt werden und ermöglicht somit vorteilhaft eine Plausibilisierung der von dem Drucksensor **14** gelieferten Druckmesswerte **p1**.

**[0056]** Das erfindungsgemäße Prinzip ist generell bei allen Kraftstoffsystemen mit Druckspeicher einsetzbar, insbesondere bei Kraftstoffsystemen für selbstzündende und/oder fremdgezündete Brennkraftmaschinen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems (130), insbesondere einer Brennkraftmaschine (1), bei dem unter Druck stehender Kraftstoff in einem Druckspeicher (13) bereitgestellt wird und ein in dem Druckspeicher (13) herrschender Kraftstoffdruck (prail) mittels eines Drucksensors (14) ermittelbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass über einen vorgebbaren Druckabbauzeitraum ( $\Delta T$ ) hinweg Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) entnommen wird, dass zu mindestens zwei voneinander verschiedenen Zeitpunkten ( $t_1$ ,  $t_2$ ) während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) Druckmesswerte ( $p_1$ ,  $p_2$ ) mittels des Drucksensors (14) ermittelt werden, und dass aus den während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelten Druckmesswerten ( $p_1$ ,  $p_2$ ) auf einen tatsächlichen Kraftstoffdruck zu Beginn des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) geschlossen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Druckmesswerte ( $p_1$ ,  $p_2$ ) während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelt werden, wobei ein erster Druckmesswert ( $p_1$ ) zu Beginn ( $t_1$ ) des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) und ein zweiter Druckmesswert ( $p_2$ ) bei dem Ende ( $t_2$ ) des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehr als zwei Druckmesswerte ( $p_1$ ,  $p_2$ ) während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelt und für eine Ermittlung des tatsächlichen Kraftstoffdrucks zu Beginn des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) verwendet werden.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) entnommen wird, indem mindestens ein Einspritzventil (9) des Kraftstoffeinspritzsystems (130) angesteuert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Einspritzventil (9) so angesteuert wird, dass nicht bereits eine Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) erfolgt, wobei die Ansteuerung insbesondere so ausgeführt wird, dass nur eine Steuermenge an Kraftstoff dem Druckspeicher (13) entnommen wird, die für einen Betrieb des Einspritzventils (9), insbesondere eines Steuerventils des Einspritzventils (9), verwendet und nicht in den Brennraum (4) eingespritzt wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) entnommen wird, indem mindestens ein Druckregelventil (14a) des Kraftstoff-

feinspritzsystems (130) angesteuert wird, das dazu vorgesehen ist, Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) zu entnehmen.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) entnommen wird, indem mindestens ein Stellglied (9, 14a), das dazu ausgebildet ist, Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) zu entnehmen, mindestens einmal, vorzugsweise jedoch mehrmals für einen vorgebbaren Ansteuerzeitraum, während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) angesteuert wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kraftstoffentnahme während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) und/oder eine Festlegung der Länge des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) in Abhängigkeit eines zu Beginn ( $t_1$ ) des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelten Kraftstoffdrucks erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckabbauzeitraum ( $\Delta T$ ) in einen Schubbetrieb oder einen Nachlauf der Brennkraftmaschine (1) fällt.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine den Kraftstoffdruck in dem Druckspeicher (13) beeinflussende Steuerung und/oder Regelung während des Druckabbaus im Rahmen des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) zumindest teilweise deaktiviert wird.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kraftstoffentnahme aus dem Druckspeicher (13) im Rahmen des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) so lange erfolgt, bis der mittels des Drucksensors (14) ermittelte Kraftstoffdruck und/oder seine zeitliche Änderung einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet.

12. Vorrichtung (15) zum Betreiben eines Kraftstoffeinspritzsystems (130), insbesondere einer Brennkraftmaschine (1), bei dem unter Druck stehender Kraftstoff in einem Druckspeicher (13) bereitstellbar ist und ein in dem Druckspeicher (13) herrschender Kraftstoffdruck (prail) mittels eines Drucksensors (14) ermittelbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (15) dazu ausgebildet ist, über einen vorgebbaren Druckabbauzeitraum ( $\Delta T$ ) hinweg Kraftstoff aus dem Druckspeicher (13) zu entnehmen, zu mindestens zwei voneinander verschiedenen Zeitpunkten ( $t_1$ ,  $t_2$ ) während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) Druckmesswerte ( $p_1$ ,  $p_2$ ) mittels des Drucksensors (14) zu ermitteln, und aus den während des Druckabbauzeitraums ( $\Delta T$ ) ermittelten Druckmesswerten ( $p_1$ ,  $p_2$ ) auf einen tatsächli-

chen Kraftstoffdruck zu Beginn des Druckabbauzeit-  
raums ( $\Delta T$ ) zu schließen.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

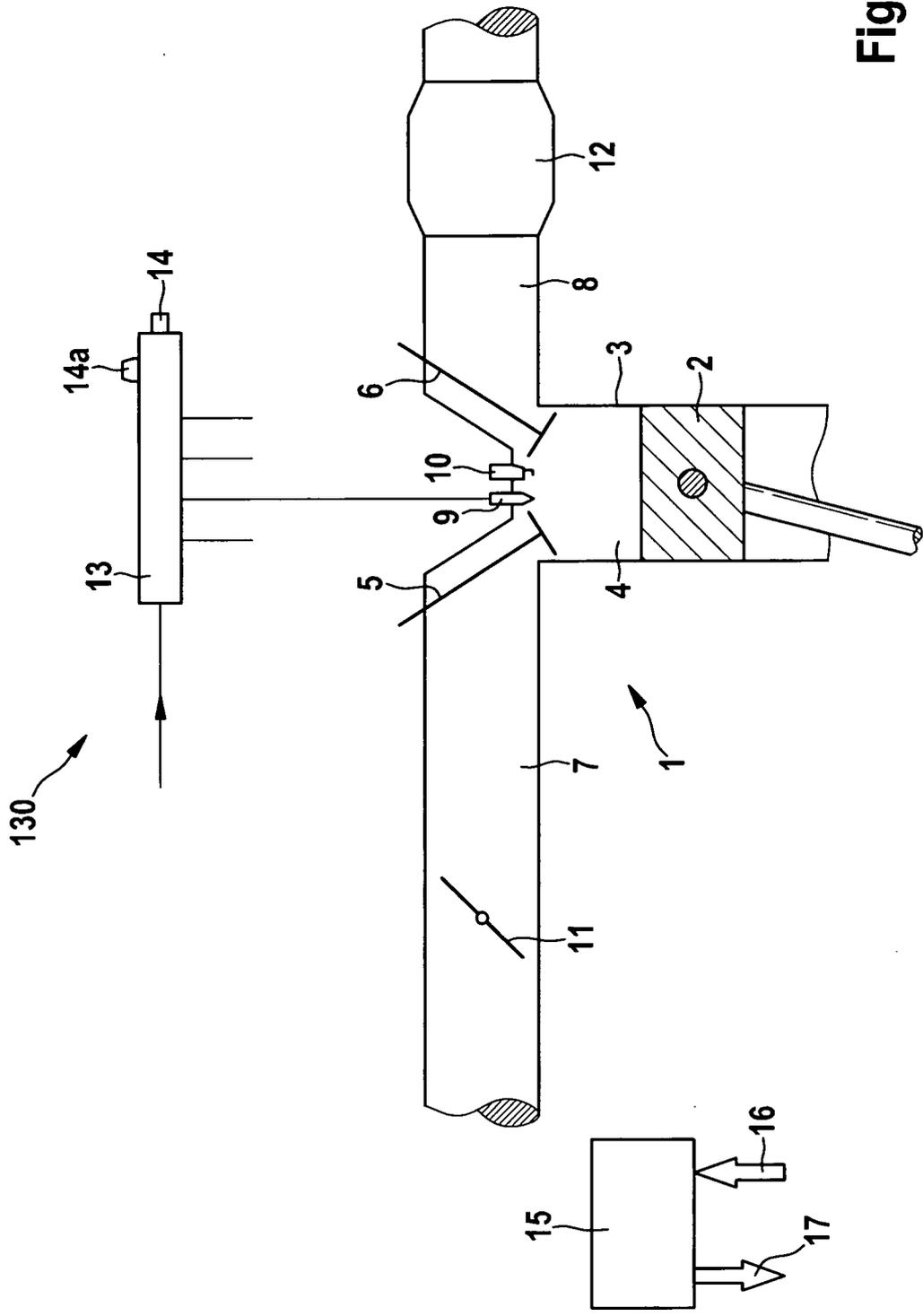
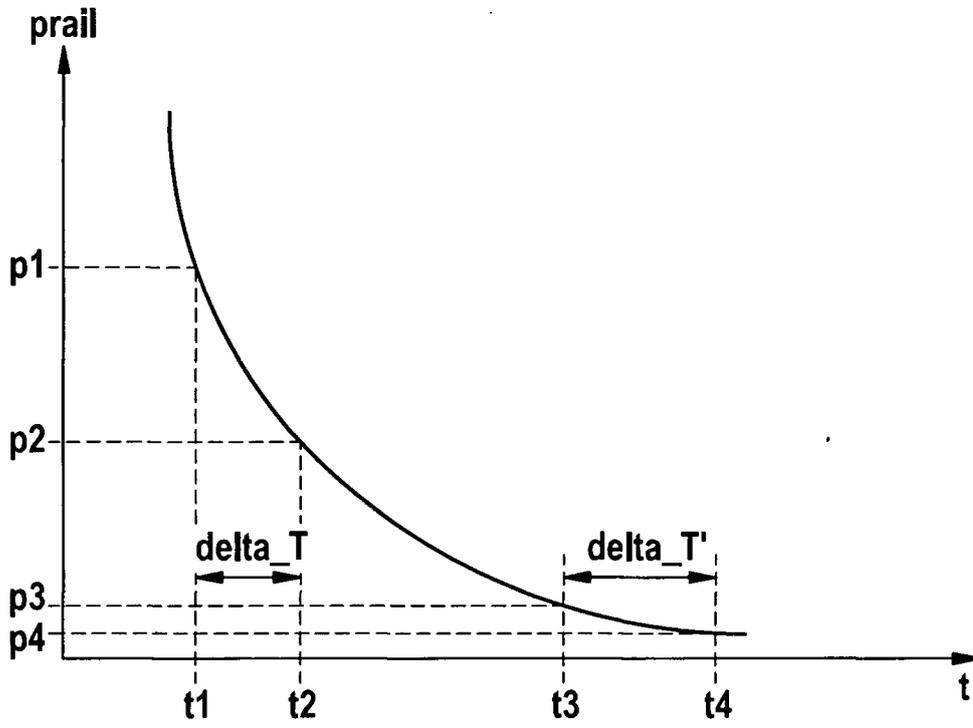
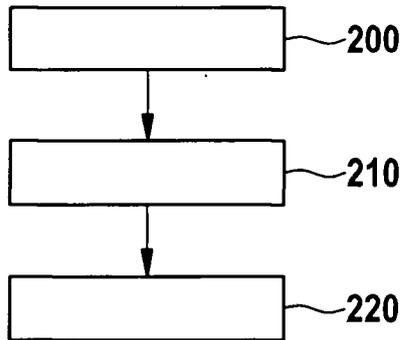


Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**