

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50826/2016  
(22) Anmeldetag: 15.09.2016  
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2018

(51) Int. Cl.: **F02M 65/00** (2006.01)  
**G01M 11/00** (2006.01)

(30) Priorität:  
18.09.2015 DE 102015217940.0 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102011007611 A1  
DE 102013000759 B3  
US 2011239751 A1  
US 6234002 B1  
WO 2014195326 A1  
EP 2625492 A1

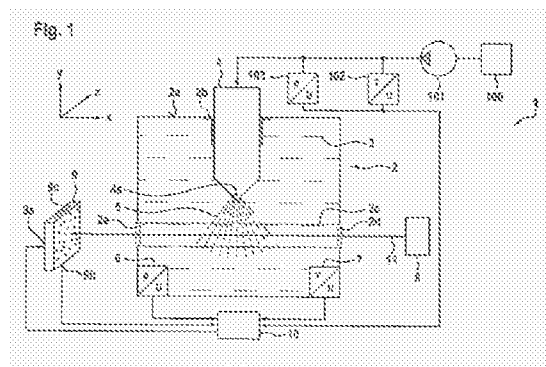
(73) Patentinhaber:  
Robert Bosch GmbH  
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:  
Majer Clemens  
74379 Ingersheim (DE)  
Lafrenz Fabian  
74321 Bietigheim-Bissingen (DE)  
Muelders Stefan  
70825 Muenchingen (DE)  
Fischer Thomas  
70499 Stuttgart (DE)

(74) Vertreter:  
Puchberger & Partner Patentanwälte  
Wien (AT)

(54) **Prüfvorrichtung für einen Gasinjektor**

(57) Prüfvorrichtung (1) für einen Injektor (4), umfassend eine Messkammer (2), welche mit einem Prüfgas (3) druckbeaufschlagbar ist, wobei die Wandung (2a) der Messkammer (2) eine Aufnahme (2b) für den Injektor (4) aufweist, so dass dieser ein Gas (5) in die Messkammer (2) einzublasen vermag, weiterhin umfassend Mittel (6) zur direkten oder indirekten Messung des Drucks  $p$  in der Messkammer (2) sowie Mittel (7) zur direkten oder indirekten Messung der Temperatur  $T$  in der Messkammer (2), wobei zusätzlich eine optische Messvorrichtung (8, 9, 10) zur Ermittlung der zwei- oder dreidimensionalen ortsabhängigen Verteilung  $n(x,y)$  bzw.  $n(x,y,z)$  des Brechungsindex  $n$  in mindestens einem zwei- oder dreidimensionalen Teilgebiet (2c) der Messkammer (2) vorgesehen ist.



## Beschreibung

### PRÜFVORRICHTUNG FÜR EINEN GASINJEKTOR

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Prüfvorrichtung, mit der das Einblasverhalten eines Gasinjektors zwecks Optimierung und Funktionsprüfung desselben studiert werden kann.

### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Bei Injektoren für Fahrzeugkraftstoffe kommt es darauf an, dass eine genau definierte Menge des Kraftstoffs zu einem genau definierten Zeitpunkt einem Zylinderraum zugeführt wird. Daher besteht ein Bedarf, sowohl den tatsächlichen Zeitpunkt der Zuführung als auch die zugeführte Kraftstoffmenge genau zu erfassen. Für die diesbezügliche Prüfung von Injektoren, die Kraftstoff in flüssiger Form einspritzen, ist eine derartige Prüfapparatur beispielsweise aus der US 8 205 491 B2 bekannt. Der eingespritzte Kraftstoff bewirkt in einer Messkammer einen Druckanstieg, der mit einem Drucksensor gemessen wird. Der Zeitpunkt, zu dem Kraftstoff aus dem Injektor in die Messkammer eintritt, wird mit einem optischen Sensor registriert. Weitere Prüfvorrichtungen für derartige Injektoren sind aus der US 6 234 002 B1 sowie aus der WO 2014 195 326 A1 bekannt.

**[0003]** Herkömmliche Prüfvorrichtungen für einen Injektor sind aus der DE 102011007611 A1 und der DE 102013000759 B3 bekannt. Aus der angeführten DE 102011007611 A1 ist eine Vorrichtung zur Ermittlung einer Spritzmenge und/oder einer Spritzrate einer mit einem Ventil verspritzten Flüssigkeit bekannt. Aus der DE 102013000759 B3 ist ein Verfahren zum Überprüfen eines Strahlbilds eines Einspritzelements bekannt.

**[0004]** Für die Funktionsprüfung von Injektoren, die den Kraftstoff in gasförmiger Form einblasen, haben sich Durchflussmessgeräte nach dem Coriolis-Messprinzip bewährt. Solche Messgeräte sind beispielsweise aus der EP 2 625 492 B1 bekannt. Die eingeblasene Gasmenge, die auf verschiedene Teileinblasungen pro Arbeitszyklus verteilt werden kann, wird in ein schwingendes Messrohr geleitet. Die Schwingung des Messrohrs wird hierdurch gegenüber dem Zustand, in dem das Messrohr nicht durchströmt ist, phasenverschoben. Diese Phasenverschiebung ist proportional zum Massenstrom durch das Messrohr.

### OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

**[0005]** Im Rahmen der Erfindung wurde eine Prüfvorrichtung für einen Injektor entwickelt. Diese Prüfvorrichtung weist eine Messkammer auf, welche mit einem Prüfgas beaufschlagbar ist. Dabei ist der Druck des Prüfgases beliebig wählbar. Dieser Druck kann beispielsweise dem Umgebungsdruck außerhalb der Messkammer entsprechen, aber beispielsweise auch höher sein. Es kann aber beispielsweise auch vorteilhaft sein, einen gegenüber dem Umgebungsdruck niedrigeren Druck des Prüfgases zu wählen. Der Druck des Prüfgases kann insbesondere um bis zu 0,5 bar niedriger sein als der Umgebungsdruck.

**[0006]** Die Wandung der Messkammer weist eine Aufnahme für den Injektor auf, so dass dieser ein Gas in die Messkammer einzublasen vermag. Dabei kann dieses Gas insbesondere ein Fahrzeugkraftstoff sein. Weiterhin sind Mittel zur direkten oder indirekten Messung des Drucks  $p$  in der Messkammer sowie Mittel zur direkten oder indirekten Messung der Temperatur  $T$  in der Messkammer vorgesehen.

**[0007]** Dabei kann insbesondere die Temperatur in der Messkammer indirekt gemessen werden, beispielsweise mit einem Ultraschallsensor. Derartige Messungen sind häufig schneller als direkte Messungen, bei denen sich erst ein Temperaturgleichgewicht zwischen dem Gas in der Messkammer und dem Sensor einstellen muss. Sind Druck  $p$  und Temperatur  $T$  in der Messkammer bekannt, so kann über die ideale Gasgleichung die eingeblasene Kraftstoffmenge berechnet werden.

**[0008]** Erfindungsgemäß ist zusätzlich eine optische Messvorrichtung zur Ermittlung der zwei-

oder dreidimensionalen ortsabhängigen Verteilung  $n(x, y)$  bzw.  $n(x, y, z)$  des Brechungsindex  $n$ , und/oder eines Gradienten  $\nabla n(x, y)$  bzw.  $\nabla n(x, y, z)$  dieser Verteilung  $n(x, y)$  bzw.  $n(x, y, z)$ , in mindestens einem zwei- oder dreidimensionalen Teilgebiet der Messkammer vorgesehen.

**[0009]** Es wurde erkannt, dass auf diese Weise simultan die Einblasmenge, die Einblasrate (Einblasmenge pro Zeiteinheit) und das Strahlbild der Einblasung erfassbar sind. Wenn die Einblasmenge, die Einblasrate oder der zeitliche Verlauf einer dieser Größen den Erwartungen nicht entspricht bzw. innerhalb einer Serie von Injektoren von der Norm abweicht, so ist der nächste wichtige Schritt, die Ursache für diese Abweichung zu ermitteln. Indem simultan mit der quantitativen Erfassung des Einblasvorgangs auch das Strahlbild erfassbar ist, kann überprüft werden, ob die quantitative Abweichung mit einer gleichzeitigen, oder mit dieser Abweichung im zeitlichen Zusammenhang stehenden, Auffälligkeit im Strahlbild korreliert ist. Hierdurch wird insbesondere die Diagnose sporadisch auftretender Störeffekte, die nicht in regelmäßigen Zeitabständen auftreten und auch nicht unbedingt reproduzierbar sind, wesentlich vereinfacht.

**[0010]** Korrelationen zwischen quantitativen Auffälligkeiten und Auffälligkeiten im Strahlbild lassen sich nur schwer in belastbarer Weise ableiten, wenn die Einblasmenge und das Strahlbild nacheinander erfasst werden. Insbesondere eine sporadisch auftretende Störung zeigt sich dann eventuell nur in einer der beiden Messungen, während sie in Wahrheit sowohl die Einblasmenge als auch das Strahlbild ändert. Weiterhin ist es nur sehr schwer möglich, die beiden Messungen nacheinander unter exakt gleichen Randbedingungen durchzuführen. Wird beispielsweise der Injektor nach der ersten Messung in einen anderen Prüfstand umgebaut und dann die zweite Messung durchgeführt, entsteht durch unterschiedliche, prüfstandsspezifische Randbedingungen eine Unsicherheit.

**[0011]** In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die optische Messvorrichtung eine Lichtquelle und einen orts aufgelösten Detektor auf. Es ist mindestens ein Strahlengang von der Lichtquelle durch die Messkammer zum orts aufgelösten Detektor vorgesehen. Durch den orts aufgelösten Detektor kann die qualitative Information über das Strahlbild zumindest teilweise quantifiziert und somit objektiviert werden.

**[0012]** Dies gilt im besonderen in einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung. In dieser Ausgestaltung ist eine Auswerteeinheit vorgesehen, die aus der Ortsabhängigkeit  $I(x, z)$  der Intensität  $I$  und/oder aus der Ortsabhängigkeit  $\varphi(x, z)$  der Phase  $\varphi$  des vom Detektor registrierten Lichts des Strahlengangs die ortsabhängige Verteilung  $n(x, y)$  bzw.  $n(x, y, z)$  des Brechungsindex  $n$  zumindest näherungsweise zu ermitteln vermag. In der Ortsabhängigkeit  $I(x, z)$  der Intensität  $I$  und/oder in der Ortsabhängigkeit  $\varphi(x, z)$  der Phase  $\varphi$ , die vom Detektor registriert wird, sind jeweils Informationen über den Brechungsindex  $n$  entlang des gesamten Weges, den das an diesem Ort auf den Detektor treffende Licht innerhalb der Messkammer durchquert hat, überlagert. Da der physikalische Mechanismus für diese Überlagerung bekannt ist, kann aus der Ortsabhängigkeit auf die Verteilung des Brechungsindex  $n$  zurückgerechnet werden.

**[0013]** Dabei bewirkt das aus dem Injektor in die Messkammer eingeblasene Gas auf zwei verschiedene Weisen einen Kontrast im Brechungsindex  $n$ : ist das eingeblasene Gas stofflich vom Prüfgas in der Messkammer verschieden, hat es bei ansonsten gleichen physikalischen Bedingungen in der Regel einen anderen Brechungsindex  $n$  als das Prüfgas. Flankierend hierzu ist der Brechungsindex  $n$  von Gasen druckabhängig, und zumindest im Moment der Einblasung hat das aus dem Injektor eingeblasene Gas einen anderen Druck  $p$  als das Prüfgas in der Messkammer. Auf diese Weise ergibt sich selbst dann ein Kontrast im Brechungsindex  $n$ , wenn das aus dem Injektor eingeblasene Gas stofflich mit dem Prüfgas in der Messkammer identisch ist. Der Begriff des Brechungsindex  $n$  ist im Kontext der Erfindung nicht auf dessen Realteil beschränkt, sondern umfasst auch dessen Imaginärteil, der für eine Absorption des Lichts aus der Lichtquelle verantwortlich ist.

**[0014]** Die optische Messvorrichtung kann sich insbesondere zu Nutze machen, dass der Lichtweg von der Lichtquelle zum orts aufgelösten Detektor durch Gradienten  $\nabla n$  des Brechungsindex  $n$  beeinflusst wird, welche beispielsweise durch lokale Druck- und/oder Dichteun-

terschiede verursacht sein können. Beispielsweise kann der orts aufgelöste Detektor ein Bild nach Art der Schlierenfotografie aufnehmen.

**[0015]** In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung emittiert die Lichtquelle ein paralleles Lichtbündel. Die Lichtquelle kann beispielsweise ein Laser sein. Ein paralleles Lichtbündel kann jedoch auch beispielsweise durch eine Punktlichtquelle, etwa eine Lampe, mit nachgeschaltetem Kollimator erreicht werden. Das Lichtbündel wird nach dem Passieren der Messkammer durch einen Konzentrator auf eine zwischen dem Konzentrator und dem Detektor angeordnete Blende fokussiert mit Ausnahme eines Anteils, der durch das Gas in der Messkammer abgelenkt wurde. Im Betrieb der Prüfvorrichtung ist das Gas in der Messkammer zum Zeitpunkt der Messung ein Gemisch aus dem Prüfgas und dem Gas, das aus dem Injektor in die Messkammer eingeblasen wurde.

**[0016]** Je nach Anwendung kann der Kontrast im Brechungsindex, der durch das Einblasen des Gases aus dem Injektor bewirkt wird, sehr gering sein. Die Genauigkeit und Auflösung, mit der dieser geringe Kontrast erfasst wird, kann beispielsweise verbessert werden, indem die Apparatur vor der Einblasung so justiert wird, dass praktisch das gesamte Licht aus der Lichtquelle auf die Blende fokussiert wird und nicht zum Detektor gelangt. Der Detektor registriert dann zunächst ein Signal nahe Null. Der Ausschlag in seinem Signal ab dem Beginn des Einblasvorgangs ist dann fast vollständig auf die Änderung des Brechungsindex  $n$  zurückzuführen, die durch den Einblasvorgang bewirkt wurde.

**[0017]** Sowohl die Lichtquelle als auch der Detektor können prinzipiell in die Messkammer integriert sein. Vorteilhaft sind jedoch sowohl die Lichtquelle als auch der Detektor außerhalb der Messkammer angeordnet. Der konstruktive Aufbau und die Justage des Strahlengangs sind dann vereinfacht, und die optischen Flächen sowohl der Lichtquelle als auch des Detektors kommen weder mit dem Prüfgas noch mit dem aus dem Injektor eingeblasenen Gas in Kontakt.

**[0018]** In einer Ausgestaltung der Erfindung weist die Wandung der Messkammer mindestens einen ersten transparenten Bereich für den Eintritt des Strahlengangs und mindestens einen zweiten transparenten Bereich für den Austritt des Strahlengangs auf. Diese transparenten Bereiche können beispielsweise als Fenster ausgebildet sein. Derartige Fenster sollten den Kammerdrücken von bis zu 150 bar standhalten, und die Messkammer sollte dicht verschlossen bleiben, damit das Messergebnis für den Druck  $p$  in der Messkammer nicht verfälscht wird.

**[0019]** In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung weist die Wandung der Messkammer mindestens einen transparenten Bereich für den Eintritt und Austritt des Strahlengangs auf. Zugleich ist mindestens ein diesen transparenten Bereich gegenüberliegender Bereich an einem Innenumfang der Wandung der Messkammer spekulär reflektierend für das Licht des Strahlengangs. Es ist dann nur ein einziger Durchbruch zur Realisierung eines transparenten Bereichs (beispielsweise Fenster) erforderlich. Zugleich durchquert der Strahlengang das Volumen der Messkammer gleich zweimal, so dass die gleiche Veränderung im Brechungsindex  $n$  zu einer stärkeren Änderung des Signals am Detektor führt. Der spekulär reflektierende Bereich kann eigens für diesen Zweck am Innenumfang der Wandung der Messkammer eingebracht sein. Eine im Wesentlichen gleiche Wirkung lässt sich jedoch erzielen, wenn die Wandung der Messkammer von vorneherein so gefertigt, dass sie an ihrem Innenumfang spekulär reflektierend ist.

**[0020]** Die optische Messwerterfassung mit dem Detektor kann mindestens so schnell erfolgen wie die Erfassung von Temperatur  $T$  und Druck  $p$  in der Messkammer. Dadurch können auch Zeitverläufe der Einblasmenge bzw. der Einblasrate zeitaufgelöst simultan mit einem ebenfalls zeitaufgelösten Verlauf der Verteilung des Brechungsindex erfasst werden. Insgesamt kann die Durchlaufzeit bei der Entwicklung von Injektoren deutlich verkürzt werden, und die diesbezüglichen Kosten für Maschinen, Anlagen und Einrichtungen (MAE) können reduziert werden. Die Prüfvorrichtung kann auch in der Qualitätssicherung in der Fertigung bzw. in der Funktionsprüfung eingesetzt werden. Es können auch weitere Merkmale des Injektors erfasst werden, wie beispielsweise sein Einblaswinkel oder auch sein Schließverhalten.

**[0021]** In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Detektor einen internen Speicher für eine Zeitreihe von Messdaten auf, der nach dem Ende dieser Zeitreihe mit den Messdaten der nächsten gleichartigen Zeitreihe überschrieben wird. Dieser interne Speicher kann beispielsweise ein Ringspeicher sein. Da Einblasvorgänge von Injektoren für Fahrzeuganwendungen sehr schnell erfolgen, wird der Detektor typischerweise für die Erfassung einer hinreichend großen Anzahl von Messdaten pro Sekunde ausgelegt sein, um die verschiedenen Phasen des Einblasvorgangs noch voneinander trennen zu können. Insbesondere wenn die Ortsabhängigkeit  $I(x,z)$  bzw.  $\varphi(x, z)$  der Intensität  $I$  bzw. Phase  $\varphi$  zugleich mit sehr hoher Ortsauflösung erfasst wird, fallen hierbei sehr große Datenmengen an. Gerade bei der Diagnose sporadischer Fehler und bei der Reihenuntersuchung von Injektoren sind jedoch häufig für die weitere Auswertung nur diejenigen Messdaten relevant, die sich auf eine bei der quantitativen Messung der Einblasmaße erkannte, konkrete Störung beziehen. Insoweit ermöglicht das fortwährende Überschreiben des internen Speichers eine effiziente Verdichtung der großen Menge an Rohdaten.

**[0022]** Wird im quantitativen Einblasverhalten eine Störung erkannt, kann beispielsweise der Inhalt des internen Speichers des Detektors ausgelesen und an anderer Stelle, etwa auf einer Festplatte, gesichert werden. Er steht dann zur näheren Diagnose der Störung zur Verfügung. Der Detektor kann aber auch beispielsweise erst beim Auftreten einer Störung zur Aufnahme von Messdaten veranlasst werden.

**[0023]** Daher weist der Detektor in einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung einen Steuereingang auf, über den die Aufnahme von Messdaten veranlasst und/oder das Überschreiben von Messdaten mit neueren Messdaten gestoppt werden kann.

**[0024]** Vorteilhaft erhält die Auswerteeinheit zusätzlich die gleichzeitig mit dem vom Detektor registrierten Licht des Strahlengangs aufgenommenen Messwerte für die Temperatur  $T$  und den Druck  $p$  in der Messkammer als Eingaben. Dann kann eine Störung unmittelbar in der Auswerteeinheit erkannt und beispielsweise die Aufnahme oder Sicherung optischer Messdaten veranlasst werden. Zu diesem Zweck ist die Auswerteeinheit in einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung dazu ausgebildet, eine Abweichung der Temperatur  $T$ , und/oder des Drucks  $p$  in der Messkammer, und/oder einer Ableitung  $dp/dt$  des Drucks  $p$  in der Messkammer nach der Zeit  $t$ , von einem jeweiligen Normalwert zu identifizieren. Dabei kann diese Ableitung  $dp/dt$  des Drucks  $p$  nach der Zeit  $t$  von erster oder auch von höherer Ordnung sein. Anhand dieser Ableitung können insbesondere Auffälligkeiten hinsichtlich der Einblasrate erkannt und studiert werden.

**[0025]** Der Detektor kann insbesondere ein Kameramodul sein, dass die Ortsabhängigkeit der Intensität und/oder der Phase in Bildform aufzeichnet.

**[0026]** Dabei kann insbesondere ein Phasenkontrast durch weitere optische Mittel in einen Intensitätskontrast umgewandelt werden. Die Bilderfassung kann entweder auf konkrete Veranlassung, beispielsweise durch die Auswerteeinheit, oder auch ständig in schneller Folge (High-Speed-Kamera) erfolgen.

**[0027]** Die optische Beobachtung durch den Strahlengang kann je nach Anwendung im Wesentlichen senkrecht zu der Richtung erfolgen, in der der Injektor das Gas in die Messkammer einbläst. Die Richtung des Strahlengangs kann aber auch der Austrittsrichtung des Gases aus dem Injektor im Wesentlichen entgegengesetzt sein, so dass der Strahlengang auf den Injektor zuweist.

**[0028]** Weitere, die Erfindung verbessernde Maßnahmen werden nachstehend gemeinsam mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Figuren näher dargestellt.

## AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0029] Es zeigt:

[0030] Figur 1 Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung 1 mit einem Strahlengang 11, der die Messkammer 2 einmal durchquert.

[0031] Figur 2 Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung 1 mit einem Strahlengang 11, der die Messkammer 2 zweimal durchquert.

[0032] Figur 3 Verbesserung der Empfindlichkeit mit einem parallelen Lichtbündel 11a, das durch einen Konzentrator 12 auf eine Blende 13 abgebildet wird.

[0033] Nach Figur 1 weist die Wandung 2a der Messkammer 2 eine Aufnahme 2b für den Injektor 4 auf. Der Injektor 4 ragt mit seiner Einblasöffnung 4a in die Messkammer 2 hinein. Die Messkammer 2 ist mit einem Prüfgas 3 gefüllt. Der Injektor 4 wird aus einem Vorratsbehälter 100 über eine Hochdruckpumpe 101 mit Kraftstoff versorgt, den er als Gas 5 in die Messkammer 2 einzublasen vermag. Über einen Temperatursensor 102 bzw. einen Drucksensor 103 werden die Temperatur  $T$  bzw. der Druck  $p$  des Kraftstoffs vor dem Eintritt in den Injektor 4 erfasst. Der Druck  $p$  und die Temperatur  $T$  in der Messkammer 2 werden über Sensoren 6 bzw. 7 erfasst.

[0034] Wenn der Injektor 4 Gas 5, bei dem es sich um gasförmigen Kraftstoff handelt, in die Messkammer 2 einbläst, ändert sich in der Messkammer 2 die ortsabhängige Zusammensetzung des vorhandenen Gases. Durch die Einblasung aus dem Injektor 4 wird in einem gewissen Raumgebiet um die Einblasöffnung 4a des Injektors 4 das Prüfgas 3 vorübergehend zumindest teilweise durch das eingeblasene Gas 5 verdrängt. Dieses Strahlbild wird durch die erfindungsgemäß vorgesehene optische Messvorrichtung 8,9,10 erfasst.

[0035] Hierzu emittiert eine Lichtquelle 8 Licht, dass auf einem Strahlengang 11 zunächst durch ein erstes Fenster 2d in die Messkammer 2 eintritt. Das Licht durchquert sowohl Bereiche, in denen das Prüfgas 3 vorherrschend ist, als auch Bereiche, in denen das aus dem Injektor 4 eingeblasene Gas 5 vorherrschend ist. An jedem Ort, den das Licht passiert, werden seine Intensität und/oder seine Phase durch den jeweils vorherrschenden lokalen Brechungsindex  $n(x, y, z)$  beeinflusst. Das Licht tritt durch ein zweites Fenster 2e wieder aus der Messkammer 2 aus und gelangt auf den orts aufgelösten Detektor 9. Eine Änderung der Verteilung  $n(x, y, z)$  des Brechungsindex  $n$  in der Messkammer 2 ändert nun zum Einen die Intensität  $I$  und/oder die Phase  $\phi$ , mit der das Licht auf den Detektor 9 auftrifft. Zum Anderen kann das Licht durch diese Änderung auch abgelenkt worden sein und an einem anderen Ort auf den Detektor 9 auftreffen. Die Auswerteeinheit 10, die die Messdaten des Detektors 9 über einen Ausgang 9b des Detektors 9 erhält, führt diese Änderungen zusammen und rechnet auf die ortsabhängige Verteilung  $n(x, y)$  bzw.  $n(x, y, z)$  des Brechungsindex  $n$  mindestens in einem Teilgebiet 2c der Messkammer 2 zurück.

[0036] Der Detektor 9 ist eine Hochgeschwindigkeitskamera, nimmt also die Verteilung der Phase bzw. Intensität auf seiner wirksamen Oberfläche in sehr schneller Folge in Bildform auf. Diese Messdaten werden in einem internen Speicher 9c des Detektors 9 abgelegt und nur bei Bedarf von der Auswerteeinheit 10 ausgelesen. Diesen Bedarf meldet die Steuereinheit 10 über den Steuereingang 9a an den Detektor 9.

[0037] Die Auswerteeinheit 10 erhält zusätzlich den vom Drucksensor 6 gemessenen Druck  $p$  in der Messkammer 2, die vom Temperatursensor 7 gemessene Temperatur  $T$  in der Messkammer 2, die vom Temperatursensor 102 gemessene Temperatur  $T$  des Kraftstoffs vor dem Eintritt in den Injektor 4 sowie den vom Drucksensor 103 gemessenen Druck  $p$  des Kraftstoffs vor dem Eintritt in den Injektor 4 als Eingaben. Die Auswerteeinheit 10 ist also in der Lage, das quantitative Einblasverhalten des Injektors 4 (Einblasmenge, Einblasverlauf, Einblasrate) vollständig zu charakterisieren. Wird im quantitativen Einblasverhalten eine Störung erkannt, so wird über den Steuereingang 9a des Detektors 9 die Sicherung optischer Messdaten für die weitere Auswertung getriggert.

**[0038]** Das in Figur 2 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich vom in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel dahingehend, dass die Messkammer 2 nur noch ein einziges Fenster 2d aufweist. Der von der Lichtquelle 8 ausgehende Strahlengang 11 führt durch dieses Fenster 2d in die Messkammer 2 hinein und durchquert diese bis zu einem spekulär reflektierenden Bereich 2f an einem Innenumfang der Wandung 2a der Messkammer 2, der dem Fenster 2d gegenüberliegt. Hier wird der Strahlengang 11 durch das Innere der Messkammer 2 zurückreflektiert, so dass er aus dem Fenster 2d wieder austritt. Das Licht des Strahlengangs 11 erreicht, analog zum Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1, den Detektor 9 und wird ausgewertet.

**[0039]** In den Ausführungsbeispielen gemäß den Figuren 1 und 2 verläuft der Strahlengang 11 im Wesentlichen senkrecht zu der Richtung, in der das Gas 5 aus der Einblasöffnung 4a des Injektors 4 austritt. Am grundlegenden Messprinzip ändert sich nichts, wenn der Strahlengang 11 um 90° im Uhrzeigersinn gedreht wird, so dass er an der Unterseite der Messkammer 2 eintritt auf den Injektor 4 zuweist.

**[0040]** Figur 3 verdeutlicht, wie der Kontrast in den optischen Messdaten gesteigert werden kann. Die Lichtquelle 8 emittiert ein paralleles Lichtbündel 11a, das analog zu Figur 1 die Messkammer 2 über die Fenster 2d und 2e durchquert.

**[0041]** Das Lichtbündel wird anschließend durch einen Konzentrator 12, der hier als Linse ausgebildet ist, auf eine zwischen diesem Konzentrator 12 und dem Detektor 9 angeordnete Blende 13 fokussiert. Der größte Anteil des Lichts erreicht den Detektor 9 also nicht mehr. Nur derjenige Anteil 11b des Lichts, der durch eine Änderung der Brechungsindexverteilung  $n(x,z)$  bzw.  $n(x,y,z)$  in der Messkammer 2 abgelenkt wurde, wird als Strahl 11c um die Blende 13 herumgelenkt und erreicht den Detektor 9. Der optische Aufbau kann beispielsweise vor einer Einblasung auf ein Nullsignal justiert werden, so dass der volle Dynamikumfang des Detektors 9 für Änderungen des Signals aufgrund des Einblasvorgangs zur Verfügung steht.

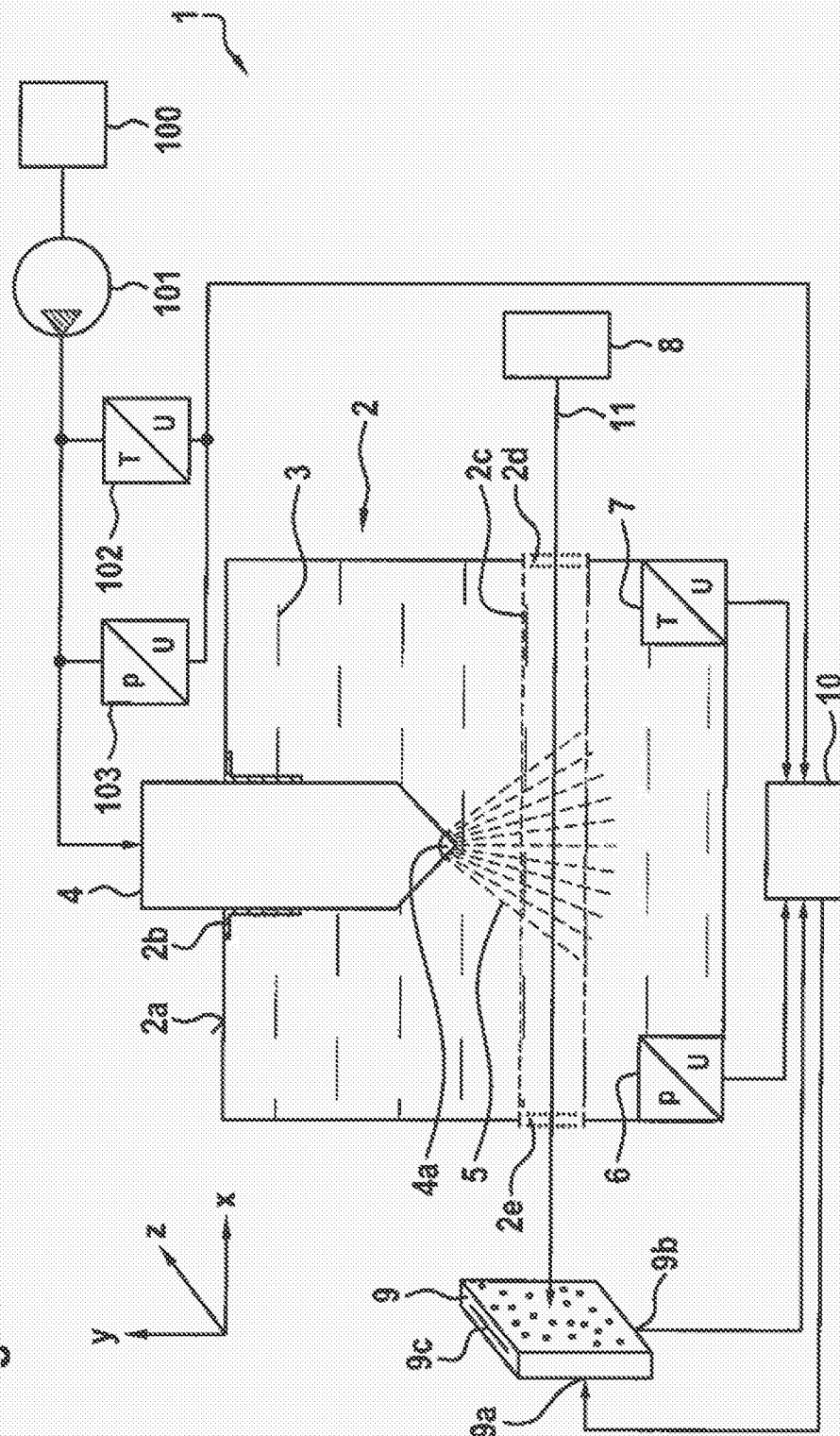
## Patentansprüche

1. Prüfvorrichtung (1) für einen Injektor (4), umfassend eine Messkammer (2), welche mit einem Prüfgas (3) beaufschlagbar ist, wobei die Wandung (2a) der Messkammer (2) eine Aufnahme (2b) für den Injektor (4) aufweist, so dass dieser ein Gas (5) in die Messkammer (2) einzublasen vermag, weiterhin umfassend Mittel (6) zur direkten oder indirekten Messung des Drucks  $p$  in der Messkammer (2) sowie Mittel (7) zur direkten oder indirekten Messung der Temperatur  $T$  in der Messkammer (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich eine optische Messvorrichtung (8,9,10) zur Ermittlung der zwei- oder dreidimensionalen ortsabhängigen Verteilung  $n(x,y)$  bzw.  $n(x,y,z)$  des Brechungsindex  $n$ , und/oder eines Gradienten  $\nabla n(x,y)$  bzw.  $\nabla n(x,y,z)$  dieser Verteilung  $n(x,y)$  bzw.  $n(x,y,z)$ , in mindestens einem zwei- oder dreidimensionalen Teilgebiet (2c) der Messkammer (2) vorgesehen ist.
2. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Messvorrichtung (8, 9, 10) eine Lichtquelle (8) und einen orts aufgelösten Detektor (9) aufweist und dass mindestens ein Strahlengang (11) von der Lichtquelle (8) durch die Messkammer (2) zum orts aufgelösten Detektor (9) vorgesehen ist.
3. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Auswerteeinheit (10) vorgesehen ist, die aus der Ortsabhängigkeit  $I(x,z)$  der Intensität  $I$  und/oder aus der Ortsabhängigkeit  $\phi(x,z)$  der Phase  $\phi$  des vom Detektor (9) registrierten Lichts des Strahlengangs (11) die ortsabhängige Verteilung  $n(x,y)$  bzw.  $n(x,y,z)$  des Brechungsindex  $n$  zumindest näherungsweise zu ermitteln vermag.
4. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquelle (8) ein paralleles Lichtbündel (11a) emittiert und dass ein Konzentrator (12) vorgesehen ist, der dieses Lichtbündel (11a) nach dem Passieren der Messkammer (2) auf eine zwischen dem Konzentrator (12) und dem Detektor (9) angeordnete Blende (13) fokussiert mit Ausnahme eines Anteils (11c), der durch das Gas (3, 5) in der Messkammer abgelenkt wurde.
5. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl die Lichtquelle (8) als auch der Detektor (9) außerhalb der Messkammer (2) angeordnet sind.
6. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandung (2a) der Messkammer (2) mindestens einen ersten transparenten Bereich (2d) für den Eintritt des Strahlengangs (11) und mindestens einen zweiten transparenten Bereich (2e) für den Austritt des Strahlengangs (11) aufweist.
7. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandung (2a) der Messkammer (2) mindestens einen transparenten Bereich (2d) für den Eintritt und Austritt des Strahlengangs (11) aufweist und dass mindestens ein diesem transparenten Bereich gegenüber liegender Bereich (2f) an einem Innenumfang der Wandung (2a) der Messkammer (2) spekulär reflektierend für das Licht des Strahlengangs (11) ist.
8. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Detektor (9) einen internen Speicher (9c) für eine Zeitreihe von Messdaten aufweist, der nach dem Ende dieser Zeitreihe mit den Messdaten der nächsten gleichartigen Zeitreihe überschrieben wird.
9. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Detektor (9) einen Steuereingang (9a) aufweist, über den die Aufnahme von Messdaten veranlasst und/oder das Überschreiben von Messdaten mit neueren Messdaten gestoppt werden kann.
10. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (10) zusätzlich die gleichzeitig mit dem vom Detektor (9) registrierten Licht des Strahlengangs (11) aufgenommenen Messwerte für die Temperatur  $T$  und den Druck  $p$  in der Messkammer (2) als Eingaben erhält.

11. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (10) dazu ausgebildet ist, eine Abweichung der Temperatur  $T$ , und/oder des Drucks  $p$  in der Messkammer (2), und/oder einer Ableitung  $dp/dt$  des Drucks  $p$  in der Messkammer (2) nach der Zeit  $t$ , von einem jeweiligen Normalwert zu identifizieren.

**Hierzu 3 Blatt Zeichnungen**

Fig. 1



200

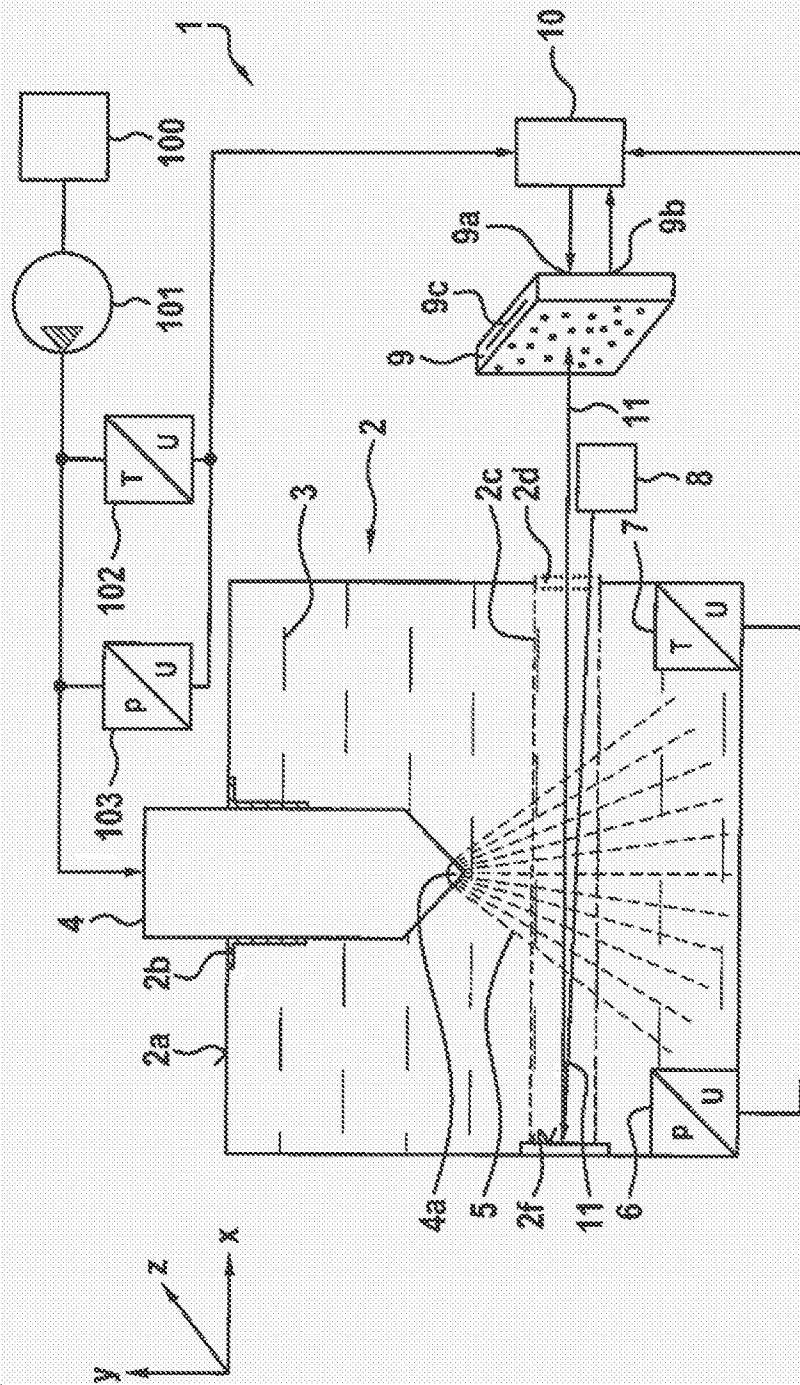


Fig. 3

